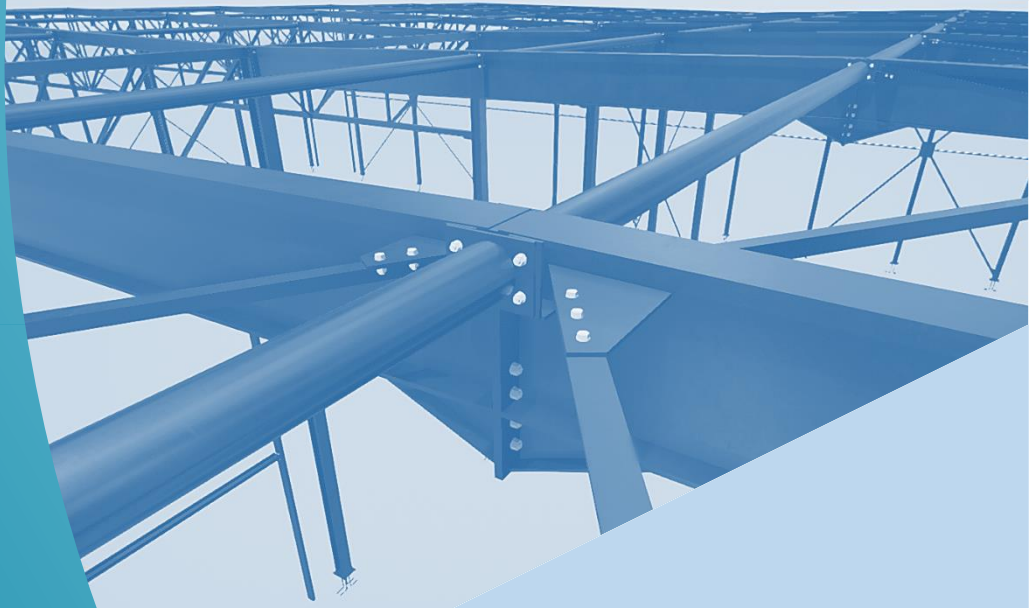


Bijlagenboek

Hoe ziet het meest geschikte en kostenefficiënte ontwerp van de stalen bovenbouwconstructie eruit voor de industriehal van een firma te Hulst, met inachtneming van alle randvoorwaarden en geldende eisen?

Datum:	**17 juni 2022**
Auteur:	**Wullems, M. (Mick)**
Studentnummer:	**00078059**
Onderwijsinstelling:	**HZ University of Applied Sciences**
Opleiding:	**Civiele Techniek (Nederlands)**
Bedrijf:	**IZV Roofing & Cladding, IBS Staalbouw**
Afstudeeropdracht:	**Staalconstructie ontwerpen, berekeningen & tekenen**
Plaats van uitgave:	**Hulst**
Studiejaar:	**2021-2022**

Inhoudsopgave

Bijlage A: Planning 1
Bijlage B: Productblad ISOVER Cladipan 31 3
Bijlage C: Productblad SAB B140/600 7
Bijlage D: Dak- en gevelsystemen 10
D.1 Isolatiematerialen 10
D.2 Sandwichpanelen 13
D.3 Binnendoos met geprofileerde plaat 14
D.4 Geprofileerde platen 15
D.5 Daksystemen 16
D.6 Dikte van de isolatie 19
D.7 Windbelastingen volgens SAB-tabellen 20
D.7.1 Optredende windzuiging platte daken 21
D.7.2 Bepalen profielen platte daken 23
D.7.3 Optredende winddruk gevel 26
D.7.4 Optredende windzuiging gevels 26
D.7.5 Bepalen profielen verticale gevels 29
Bijlage E: Windbelastingen 34
E.1 Wind op de kopgevels 34
E.2 Wind op de langsgevels 39
E.3 Wind op platte daken (gericht op de kopgevel) 41
E.4 Wind op platte daken (gericht op de langsgevel) 43
E.5 Windbelastingen in Diamonds BuildSoft 45
Bijlage F: Sneeuwbelastingen 49
F.1 Sneeuwbelastingen met handberekeningen 49
F.2 Sneeuwbelastingen in Diamonds BuildSoft 51
Bijlage G: Wateraccumulaties 53
G.1 Overstorten en waterhoogte voor afvoergebied 1 54
G.2 Hemelwaterafvoer (HWA) en noodafvoeren voor afvoergebied 2 en 3 56
G.3 Overstorten en waterhoogte voor afvoergebieden 4 58
Bijlage H: Blijvende belastingen 59
Bijlage I: Diamonds BuildSoft 60
I.1 Structuur definiëren 60
I.2 Belastingen definiëren 65
I.3 Belastinggevallen en belastingcombinaties 68
I.4 Elastisch analyseren 69
I.5 Weerstand en stabiliteitscontrole 70
I.6 Optimalisatie 71
Bijlage J: Vakwerkligger 72
J.1 Basisprincipes van een vakwerkligger 72
J.2 Vakwerkontwerp 74

J.2.1 Voorselectie 74
J.2.2 Hoogte van de ligger 75
J.2.3 Aantal velden 75
J.3 Warren vakwerkligger 76
J.3.1 Sterktecontrole bovenrandstaven 76
J.3.2 Stabiliteitscontrole bovenrandstaven 76
J.3.3 Sterktecontrole onderrandstaven 79
J.3.4 Stabiliteitscontrole onderrandstaven 80
J.3.5 Sterktecontrole diagonalen 81
J.3.6 Stabiliteitscontrole diagonalen 81
J.4 Pratt vakwerkligger 83
J.4.1 Sterktecontrole bovenrandstaven 83
J.4.2 Stabiliteitscontrole bovenrandstaven 83
J.4.3 Sterktecontrole onderrandstaven 85
J.4.4 Stabiliteitscontrole onderrandstaven 85
J.4.5 Sterktecontrole diagonalen 87
J.4.6 Stabiliteitscontrole diagonalen 87
J.4.7 Sterktecontrole verticalen 89
J.4.8 Stabiliteitscontrole verticalen 89
J.5 Howe vakwerkligger 91
J.5.1 Sterktecontrole bovenrandstaven 91
J.5.2 Stabiliteitscontrole bovenrandstaven 91
J.5.3 Sterktecontrole onderrandstaven 93
J.5.4 Stabiliteitscontrole onderrandstaven 93
J.5.5 Sterktecontrole diagonalen 95
J.5.6 Stabiliteitscontrole diagonalen 95
J.5.7 Sterktecontrole verticalen 96
J.5.8 Stabiliteitscontrole verticalen 97
J.6 Optimalisatieonderzoek deel 1: HEA-profielen als boven- en onderrandstaven 98
J.6.1 Doorsnedeclassificatie bovenrandstaven 98
J.6.2 Sterktecontrole bovenrandstaven 99
J.6.3 Stabiliteitscontrole bovenrandstaven 100
J.6.4 Doorsnedeclassificatie onderrandstaven 101
J.6.5 Sterktecontrole onderrandstaven 102
J.6.6 Stabiliteitscontrole onderrandstaven 102
J.6.7 Doorsnedeclassificatie diagonalen 104
J.6.8 Sterktecontrole diagonalen 104
J.6.9 Stabiliteitscontrole diagonalen 105
J.6.10 Doorsnedeclassificatie verticalen 106
J.6.11 Sterktecontrole verticalen 107
J.6.12 Stabiliteitscontrole verticalen 107
J.7 Optimalisatieonderzoek deel 2: HEA-profielen in staalkwaliteit S355 108

J.7.1 Doorsnedeclassificatie bovenrandstaaf 108
J.7.2 Sterktecontrole bovenrandstaaf 109
J.7.3 Stabiliteitscontrole bovenrandstaven 110
J.7.4 Doorsnedeclassificatie onderrandstaaf 111
J.7.5 Sterktecontrole onderrandstaaf 112
J.7.6 Stabiliteitscontrole onderrandstaven 112
J.7.7 Toetsing kipstabiliteit definitieve vakwerkligger 114

Bijlage K: Raatligger 117

K.1 Basisprincipes van een raatligger 117
K.2 IPE 600 raatligger (S355) 120

K.2.1 Doorsnedeclassificatie IPE 600 raatligger (h = 1100 mm) 120
K.2.2 Controle sterkte/weerstand van de doorsnede 120
K.2.3 Controle doorbuiging 122

K.3 HEA 800 raatligger (S355) 124

K.3.1 Doorsnedeclassificatie HEA 800 raatligger (h = 1185 mm) 124
K.3.2 Controle sterkte/weerstand doorsnede 124
K.3.3 Controle doorbuiging 126
K.3.4 Plooien van het lijf 128
K.3.5 Plooien van de flenzen 130
K.3.6 Toetsing kipstabiliteit 130

K.4 HEA 900 raatligger met UNP 400 (S355) 132

K.4.1 Toetsing kipstabiliteit 132
K.4.2 Doorsnedeclassificatie HEA 900 raatligger (h = 1335 mm) met UNP 400 138
K.4.3 Controle weerstand/sterkte doorsnede 138
K.4.4 Controle doorbuiging 140
K.4.5 Plooien van het lijf 142
K.4.6 Plooien van de flenzen 144

Bijlage L: Plaatligger 145

L.1 Basisprincipes van een plaatligger 145
L.2 Plaatligger (300x30 mm flenzen en 1200x8 mm lijf) (S355) 147

L.2.1 Doorsnedeclassificatie plaatligger 148
L.2.2 Controle weerstand/sterkte doorsnede 149
L.2.3 Controle doorbuiging 150
L.2.4 Plooien van het lijf 152
L.2.5 Lassen 157
L.2.6 Toetsing kipstabiliteit 157

L.3 Plaatligger (300x30 mm flenzen en 1200x8 mm lijf) met UNP 400 (S355) 160

L.3.1 Toetsing kipstabiliteit 160
L.3.2 Doorsnedeclassificatie plaatligger (h = 1260 mm) met UNP 400 167
L.3.3 Controle weerstand/sterkte doorsnede 167
L.3.4 Controle doorbuiging 169

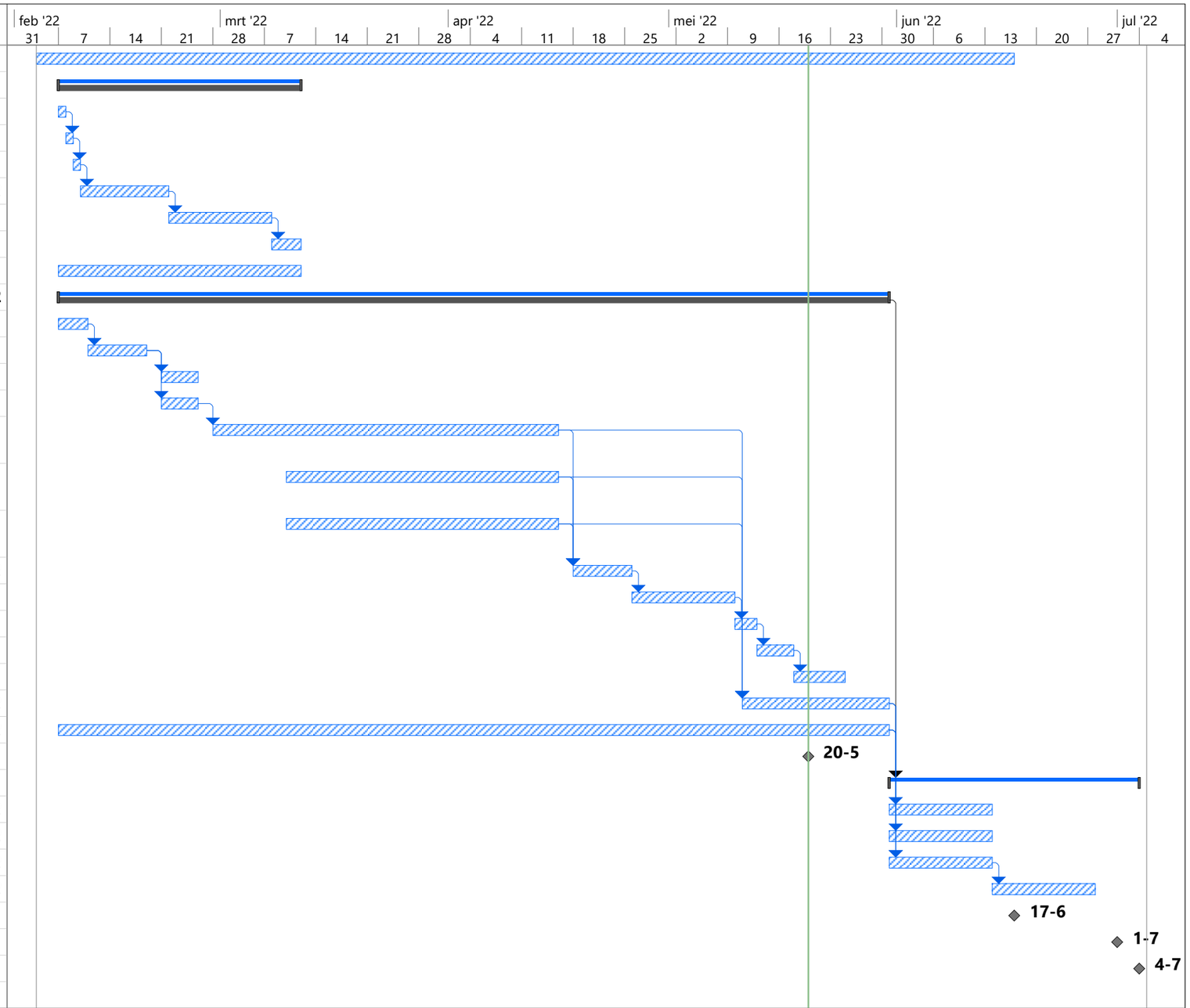
L.3.5 Plooien van het lijf 171
L.3.6 Lassen 175
Bijlage M: Calculatieoverzicht 176
Bijlage N: Standaardligger opslaghal 180
N.1 IPE 550 (S235) 180
N.1.1 Doorsnedeclassificatie IPE 550 180
N.1.2 Controle sterkte/weerstand van de doorsnede 180
N.1.3 Controle doorbuiging 182
N.1.4 Toetsing kipstabiliteit 184
Bijlage O: Kolommen 188
O.1 Kolom A (linker buitenkolom) 188
O.1.1 Doorsnedeclassificatie HEA 280 (kolom A) 188
O.1.2 Controle weerstand/sterkte doorsnede 188
O.1.3 Knikstabiliteit om de sterke as (y'-as) 191
O.1.4 Knikstabiliteit om de zwakke as (z'-as) 194
O.1.5 Toetsing kipstabiliteit 195
O.1.6 Combinatie kip- en knikstabiliteit 196
O.2 Kolom B (rechter buitenkolom) 199
O.2.1 Doorsnedeclassificatie HEA 280 (kolom B) 199
O.2.2 Knikstabiliteit om de sterke as (y'-as) 202
O.2.3 Knikstabiliteit om de zwakke as (z'-as) 203
O.2.4 Toetsing kipstabiliteit 205
O.2.5 Combinatie kip- en knikstabiliteit 205
O.3 Kolom C (middenkolom) 207
O.3.1 Doorsnedeclassificatie HEA 280 (kolom C) 207
O.3.2 Combinatie kip- en knikstabiliteit 215
Bijlage P: Rapport DB – Definitief middenportaal met wind en zonnepanelen 218
Bijlage Q: Rapport DB – Definitief middenportaal met wind, zonder zonnepanelen 260
Bijlage R: Rapport DB – Definitief middenportaal met sneeuw en zonnepanelen 300
Bijlage S: Momentvaste verbinding IPE 550 330
Bijlage T: Windliggers en windbokken 370
T.1 Sterktecontrole staaf 1, 2, 5 en 6 (windligger A) 370
T.1.1 Afschuiving bouten 370
T.1.2 Stuik plaatmateriaal 371
T.2 Sterktecontrole staaf 3, 4, 7 en 8 (windligger A) 374
T.2.1 Afschuiving bouten 374
T.2.2 Stuik plaatmateriaal 375
T.3 Sterktecontrole staaf 1, 2, 5 en 6 (windligger B) 378
T.3.1 Afschuiving bouten 378

T.3.2 Stuik plaatmateriaal 379
T.4 Sterktecontrole staaf 3, 4, 7 en 8 (windligger B) 382
T.4.1 Afschuiving bouten 382
T.4.2 Stuik plaatmateriaal 383
T.5 Sterktecontrole diagonaalstaven (windbokken A) 386
T.5.1 Afschuiving bouten 386
T.5.2 Stuik plaatmateriaal 387
T.6 Sterktecontrole diagonaalstaven (windbokken B) 390
T.6.1 Afschuiving bouten 390
T.6.2 Stuik plaatmateriaal 391
T.7 Sterktecontrole staaf 1, 2, 4 en 5 (windligger C en D) 394
T.7.1 Afschuiving bouten 394
T.7.2 Stuik plaatmateriaal 395
T.8 Sterktecontrole staaf 3 en 6 (windligger C en D) 398
T.8.1 Afschuiving bouten 398
T.8.2 Stuik plaatmateriaal 399
T.9 Sterktecontrole staaf 7, 8, 9 en 10 (windligger C en D) 402
T.9.1 Afschuiving bouten 402
T.9.2 Stuik plaatmateriaal 403
T.10 Sterktecontrole diagonaalstaven (windbokken C) 406
T.10.1 Afschuiving bouten 406
T.10.2 Stuik plaatmateriaal 407
T.11 Sterktecontrole diagonaalstaven (windbok D) 410
T.11.1 Afschuiving bouten 410
T.11.2 Stuik plaatmateriaal 411
T.12 Sterktecontrole diagonaalstaven (windbokken E) 414
T.12.1 Afschuiving bouten 414
T.12.2 Stuik plaatmateriaal 415
Bijlage U: Tweede controle bovenrandstaven 418
U.1 Sterktecontrole bovenrandstaven 418
U.2 Stabiliteitscontrole bovenrandstaven 418
Bijlage V: Analyse kopgevels 420
V.1 Algemene belastingen 420
V.2 Windbelasting 420
V.3 Sneeuwbelasting 423
Bijlage W: Doorsneden staalprofielen 424
Bijlage X: Bout- en lasverbindingen 455

X.1 Boutverbinding vakwerkligger-kolom 455
X.1.1 Afschuiving bouten 455
X.1.2 Stuik plaatmateriaal 456
X.2 Boutverbinding bovenrandstaaf vakwerkligger 458
X.3 Boutverbinding onderrandstaaf vakwerkligger 458
X.4 Kolomvoetplaatverbinding 460
X.4.1 Drukspanning in het beton 460
X.4.2 Verdeling drukkracht over de flenzen en het lijf 461
X.4.3 Spreidingsmaat ls 461
X.4.4 Dikte voetplaat 462
X.4.5 Drukkracht lijf 462
X.5 Ankers 462
X.5.1 Afschuifkracht 463
X.5.2 Stuikkracht 463
X.5.3 Verankeringslengte 463
X.6 Lassen 464
X.6.1 Lasdikte 464
Bijlage Y: Bouwkundige en technische tekeningen 465
Bijlage Z: Logboek 480

Bijlage A: Planning

Id	Taaknaam	Duur	Begindatum	Einddatum
1	Portfolio met STARRT-document	95 dagen	vri 4-2-22	don 16-6-22
2	**Oriëntatie**	**25 dagen**	**maa 7-2-22**	**vri 11-3-22**
3	Planning	1 dag	maa 7-2-22	maa 7-2-22
4	Voorblad	1 dag	din 8-2-22	din 8-2-22
5	Inhoudsopgave	1 dag	woe 9-2-22	woe 9-2-22
6	Inleiding	8 dagen	don 10-2-22	maa 21-2-22
7	Theoretisch kader	10 dagen	din 22-2-22	maa 7-3-22
8	Methode	4 dagen	din 8-3-22	vri 11-3-22
9	Overige (opmaak en indeling van het rappor	25 dagen	maa 7-2-22	vri 11-3-22
10	**Uitvoering**	**16,2 wkn?**	**maa 7-2-22**	**maa 30-5-22**
11	Stramienenplan bepalen en onderbouwen	4 dagen	maa 7-2-22	don 10-2-22
12	Windbelastingen bepalen	6 dagen	vri 11-2-22	vri 18-2-22
13	Sneeuwbelastingen bepalen	5 dagen	maa 21-2-22	vri 25-2-22
14	Wateraccumulaties onderzoeken	5 dagen	maa 21-2-22	vri 25-2-22
15	Vakwerkligger ontwerpen d.m.v. Diamonds BuildSoft	35 dagen	maa 28-2-22	vri 15-4-22
16	Plaatspant ontwerpen d.m.v. Diamonds BuildSoft	27 dagen	don 10-3-22	vri 15-4-22
17	Raatligger ontwerpen d.m.v. Diamonds BuildSoft	27 dagen	don 10-3-22	vri 15-4-22
18	Kolommen berekenen	6 dagen	maa 18-4-22	maa 25-4-22
19	Windverbanden berekenen	10 dagen	din 26-4-22	maa 9-5-22
20	Koppelstaven berekenen	3 dagen	din 10-5-22	don 12-5-22
21	Variantenstudie	3 dagen	vri 13-5-22	din 17-5-22
22	Verbindingen berekenen	5 dagen	woe 18-5-22	din 24-5-22
23	3D eindresultaat in Tekla Structures	14 dagen	woe 11-5-22	maa 30-5-22
24	Tekeningen in AutoCAD 2022	81 dagen	maa 7-2-22	maa 30-5-22
25	Eindwerk en portfolio inleveren als concept	0 dagen	vri 20-5-22	vri 20-5-22
26	**Voltooiing**	**24 dagen**	**din 31-5-22**	**maa 4-7-22**
27	3D eindresultaat in Tekla Structures	10 dagen	din 31-5-22	maa 13-6-22
28	Tekeningen in AutoCAD 2022	10 dagen	din 31-5-22	maa 13-6-22
29	Afwerking afstudeerrapport	10 dagen	din 31-5-22	maa 13-6-22
30	Voorbereiden presentatie	10 dagen	din 14-6-22	maa 27-6-22
31	Eindwerk en portfolio inleveren	0 dagen	vri 17-6-22	vri 17-6-22
32	Go/No Go presentatie	0 dagen	vri 1-7-22	vri 1-7-22
33	Eindpresentatie	0 dagen	maa 4-7-22	maa 4-7-22
34				



Project: Planning afstudeerstag
Datum: vri 20-5-22

Taak	Projectsamenvatting	Handmatig taak	Alleen begindatum	Deadline
Splitsing	Inactieve taken	Alleen duur	Alleen einddatum	Voortgang
Mijlpaal	Inactieve mijlpaal	Handmatige samenvatting	Externe taken	Voortgang, handmatig
Samenvatting	Inactieve samenvatting	Handmatige samenvatting	Externe mijlpaal	

Bijlage B: Productblad ISOVER Cladipan 31



ISOVER Cladipan 31

Brandveilige, thermische en akoestische isolatie van metalen gevels

G3 Prestaties Milieu Gezondheid

Productomschrijving
ISOVER Cladipan 31 is een zeer stevige, vormvaste glaswolplaat met extra hoge isolatiewaarde, bekleed met glasvlies en aan één langszijde voorzien van een zaagsnede ter plaatse van de flens van de binnendoos.

Toepassing
ISOVER Cladipan 31 is bestemd voor het isoleren van metalen gevels met extra hoge isolatiewaarden. Met een dikte van 200 mm bereikt u met ISOVER Cladipan 31 een R_c-waarde van ≥ 4,7 m².K/W in combinatie met een 140/600 binnendoos (bijvoorbeeld SAB B140/600 van SAB Profiel).

Productvoordelen
- Zeer hoge isolatiewaarde (λ = 0,031 W/m.K).
- De zaagsnede in de plaat voorkomt het risico van foutieve isolatieverdeling voor en achter de flens van de binnendoos.
- Uitstekende akoestische isolatie.
- Grote plaatlengte: snel en gemakkelijk te verwerken.
- Licht in gewicht.
- Flexibel en vormvast
- Extra stevig, dus hoge weerbestendigheid tijdens de verwerking.
- De platen sluiten voor de binnendoosflens langs naadloos op elkaar aan.
- Compacte verpakking op pallets: efficiënt te verplaatsen van, naar en op de bouwplaats.
- Voorzien van glasvlies voor een comfortabele verwerking.

Voordelen in binnendoosconstructies
- Zeer hoge isolatiewaarde.
- $R_c \geq 4,7$ m².K/W te behalen met binnendoos 140/600.
- Meer zekerheid over het behalen van de gewenste isolatiewaarde door aanwezigheid zaagsnede.
- Brandveilig: WBDBO 120 minuten (hogere waarden onder voorwaarden mogelijk, zie volgende pagina).
- Zeer goede geluidsisolatie: R_w = 50 dB.

Technische gegevens

Thermische eigenschappen: warmteweerstand $R_{declared}$

Dikte in mm	200
$R_{declared}$ in m².K/W	6,45

Thermische eigenschappen: warmteweerstand constructie R_c
Voor thermische isolatie van binnendoosconstructies zie volgende pagina.

Thermische eigenschappen: $\lambda_{declared}$
De $\lambda_{declared}$ is 0,031 W/m.K

Vochtgedrag
- waterafstotend
- niet capillair, niet hygroscopisch
- waterdampdiffusiecoëfficiënt μ ≈ 1,0

Overige eigenschappen
- rotvrij
- geen voedingsbodem voor ongedierte
- niet corrosief
- vormvast

Verantwoorde productie volgens G3-standaard
ISOVER Cladipan 31 is gemaakt op basis van de ISOVER G3-standaard. Deze nieuwe generatie glaswol geeft een driedubbele garantie:

Garantie op uitstekende prestaties
- Het G3-assortiment biedt de beste thermische prestaties.
- De thermische, akoestische en brandveilige prestaties zijn gecertificeerd door onafhankelijk instituten.

Garantie op zorg voor het milieu
- Als grondstof wordt gebruik gemaakt van gerecycled glas.
- Gedurende haar levensduur bespaart ISOVER minerale wol meer dan 100 keer de energie die nodig is om het te produceren, te transporteren, te verwijderen en af te voeren en beperkt daarmee bovendien de uitstoot van schadelijke broeikasgassen, zoals CO_2.
- ISOVER beschikt over efficiënte recyclinginstallaties, waarmee glaswol een oneindig aantal keren kan worden gerecycled tot nieuw isolatiemateriaal.
- ISOVER werkt er voortdurend aan om haar emissies te verminderen, afval te sorteren en te recyclen en haar water- en energieverbruik te verminderen.

Garantie op gezondheid
- ISOVER minerale wol voldoet aan de Europese Richtlijn 97/67/EC waaruit blijkt dat minerale wol veilig is in productie en gebruik (EUCEB-gecertificeerd).
- Het verbeterde bindmiddel beperkt de emissies van VOC's (vluchtige organische stoffen) tot een minimum en voldoet daarmee aan de strengste, internationale eisen.
- Het totale ISOVER G3-glaswolassortiment is voorzien van het Eurofins Indoor Air Comfort Gold label, de beste kwaliteitsklasse voor gezonde binnenlucht.

Certificering
- KOMO productcertificaat 24668
- CE-markering
- Kwaliteitssysteem: gecertificeerd volgens ISO 9001
- Milieuzorgsysteem: gecertificeerd volgens ISO 14001

04/2021 (3)

ISOVER Cladipan 31

Brandveilige, thermische en akoestische isolatie van metalen gevels

Prestaties
Milieu
Gezondheid

Afmetingen

Dikte in mm	Afmeting in mm	Afstand zaagsnede in mm*	Binnendoos-systeem**	m² per collo	m² per pallet
200	1500 x 605	60	140/600	2,72	21,78

* De afstand tot de zaagsnede is gemeten vanaf de voorzijde van de isolatie.
** Verkrijgbaar bij www.sabprofiel.nl (SAB B140/600).

Leveringsvorm
ISOVER Cladipan 31 is verpakt in folie en wordt geleverd op pallets. De pallets zijn voorzien van een weerbestendige folie en kunnen buiten op de bouwplaats worden opgeslagen.

Thermische isolatie van binnendoosconstructies
Vanaf 1 januari 2021 geldt voor (metalen) gevels de nieuwe isolatie-eis van $R_c \geq 4{,}7$ m².K/W. In onderstaande tabel is aangeven welke R_c-waarde wordt behaald met ISOVER Cladipan 31 van 200 mm. Hierbij is rekening gehouden met het aantal bevestigers per m². De berekeningen zijn uitgevoerd op basis van NTA 8800.

R_c-waarde (m².K/W)

Binnendoos afmeting	Dikte Cladipan 31 in mm	2 RVS bevestigers* Horizontale beplating	2,5 RVS bevestigers* Verticale beplating
140/600	200	4,7	4,7

* Aantal primaire bevestigers per m² over het totale geveloppervlak.

Akoestische eigenschappen

Geluidsabsorptie
Geluidsabsorptie van ISOVER Cladipan 31 200 mm in geperforeerde binnendoos P3 (23,4%) voorzien van PE-folie: a_w = 0,80 en NRC = 0,85.

Frequentie (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
α_s	0,85	0,76	0,88	0,86	0,79	0,66

Conform ISO 354:2003. Het rapport (Peutz A2756) is ter inzage. Waarden zijn gebaseerd op akoestische gelijkwaardigheid aan ISOVER Cladipan 31 Ultra van 170 mm.

Geluidsisolatie
De luchtgeluidsisolatie van een gesloten metalen gevel opgebouwd uit een metalen binnendoos SAB B140/600, gevuld met ISOVER Cladipan 31 200 mm, en verticale buitenbeplating bedraagt R_w (C;C_{tr}) = 50 (-4;-10) dB.

Frequentie (Hz)	125	250	500	1000	2000	4000
R (dB)	26,0	37,3	54,6	60,1	59,5	66,9

Conform ISO 10140-2:2010. Het rapport (Peutz A2756) is ter inzage.

Brandveiligheid / WBDBO

Onbrandbaar
Brandklasse A2,s1-d0 volgens EN 13501-1. ISOVER Cladipan 31 is onbrandbaar en draagt daarmee in belangrijke mate bij aan brandveilig bouwen.

WBDBO: Weerstand tegen BrandDoorslag en BrandOverslag
Met ISOVER Cladipan 31 kan zelfs tot een maximale kolomafstand van 7,5 meter worden voldaan aan een WBDBO-eis van 120 minuten tussen gebouwen onderling. Hiermee wordt ruimschoots voldaan aan de WBDBO-eis uit het Bouwbesluit van 60 minuten. Hogere waarden zijn onder voorwaarden mogelijk, zie tabel. Rapporten 2016-Efectis-R000205 [Rev.1], Efectis 2005CVBR0398 [Rev.5] en onderliggende rapporten zijn ter inzage.
De WBDBO-prestaties zijn berekend volgens de norm: NEN 6068. Het is echter mogelijk dat gebruik wordt gemaakt van een andere methodiek, bijvoorbeeld vanuit de publicatie 'Beheersbaarheid van Brand'. U kunt in dat geval contact met ISOVER opnemen voor nader overleg.

Toepassingsmogelijkheden van ISOVER Cladipan 31 en overige ISOVER-oplossingen voor de metaalbouw volgens NEN 6068

WBDBO-eis	Afstand tussen de gebouwen	Isolatieproduct: 220 / 270 mm CLADIWALL	Isolatieproduct: 130-170 mm Cladisol 210 mm CLADIPLUS	Isolatieproduct: 130-190 mm ULTIMATE 200 mm ULTIMATE Cladipan 31	Isolatieproduct: 150 mm Cladipan 32 200 mm Cladipan 31 170 mm Cladipan 31 Ultra
60 minuten	< 1 meter	+	+	+	+
	1–5 meter	+	+	+	+
	> 5 meter	+	+	+	+
90 minuten	< 1 meter	–	+	+	+
	1–5 meter	–	+	+	+
	> 5 meter	+*	+	+	+
120 minuten	< 1 meter	–	–	+	+
	1–5 meter	–	–	+	+
	> 5 meter	+*	+	+	+
180 t/m 240 minuten	< 1 meter	–	–	+	–
	1–5 meter	–	–	+	–
	> 5 meter	+*	+*	+	+*

* Dit geldt bij een maximale gevellengte van 60 meter of een minimale gevelafstand van 10,6 meter.

Voorwaarden
- Maximale hoogte van een brandcompartiment waarvoor NEN6068 kan worden toegepast is 8 meter, tenzij minimaal 75% van het gebruiksoppervlakte is bestemd voor een industriefunctie. In dat geval is de maximale hoogte 15 meter.
- Maximale grootte van een brandcompartiment met industriefunctie is 2.500 m².
- De maximale kolomafstand is 7,5 meter.

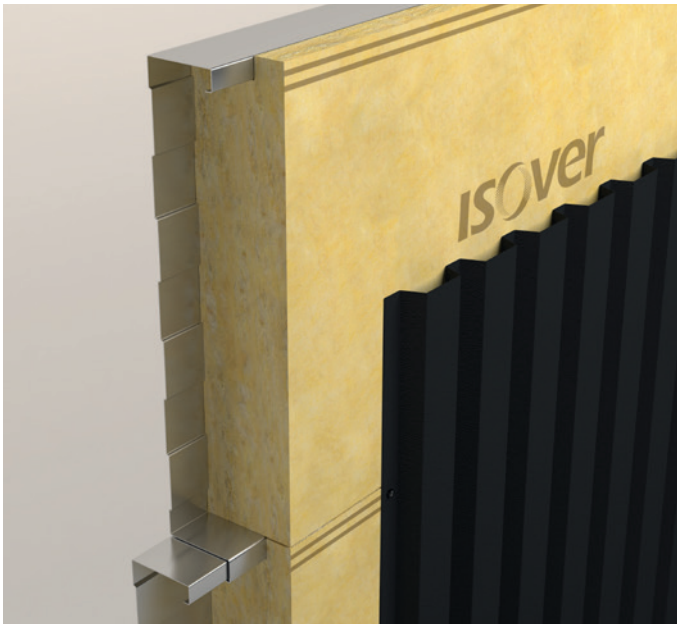
ISOVER Cladipan 31

Brandveilige, thermische en akoestische isolatie van metalen gevels

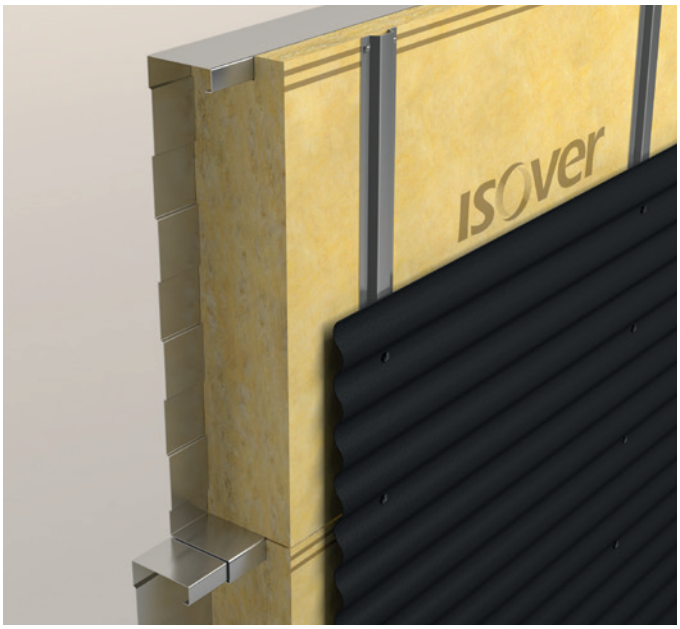
G3 Prestaties Milieu Gezondheid

Verwerking

Verticale buitenbeplating
Opbouw: horizontale binnendozen, ISOVER Cladipan 31, verticale buitenbeplating. ISOVER Cladipan 31 wordt in de binnendozen geplaatst. Ter plaatse van de binnendoosflens heeft ISOVER Cladipan 31 over de volle lengte een zaagsnede. De geprofileerde buitenbeplating wordt met primaire afstandhoudende bevestigers door de ISOVER Cladipan 31 heen aan de flenzen van de binnendozen gemonteerd.



Horizontale buitenbeplating
Opbouw: horizontale binnendozen, ISOVER Cladipan 31, omegaprofielen, horizontale buitenbeplating. ISOVER Cladipan 31 wordt in de binnendozen geplaatst. Het omegaprofiel wordt met primaire afstandhoudende bevestigers door de ISOVER Cladipan 31 heen aan de flenzen van de binnendozen gemonteerd. Vervolgens wordt de geprofileerde buitenbeplating met secundaire bevestigers op het omegaprofiel gemonteerd.



BREEAM® NL

Een manier om de duurzaamheidsprestatie van een gebouw te bepalen is het toepassen van de beoordelingsmethode BREEAM-NL. De Dutch Green Building Council (DGBC) heeft deze methode in beheer met als missie het verduurzamen van de gebouwde omgeving. ISOVER Nederland ondersteunt met haar producten deze missie en is participant van DGBC.

Op verschillende onderdelen binnen de BREEAM methodiek kunt u ook in de metaalbouw door toepassing van ISOVER oplossingen hoge scores behalen. Zo wordt een hoge score op de thermische kwaliteit van de gebouwschil behaald en kan met eenvoudige maatregelen een goede luchtdichtheid worden bereikt. De veerkrachtige kwaliteit van ISOVER glaswol biedt uitstekende geluidsisolerende en -absorberende eigenschappen die het akoestische comfort waarborgen. Bovenal dragen de lage milieubelasting en de herkomst van 75% gerecycled glas als grondstof van Isover glaswol bij aan hoge scores in de categorie materialen. Neem voor meer informatie over de voordelen van ISOVER binnen BREEAM-NL contact op met één van onze experts.

Beoordelingscriteria 'BREEAM-NL Nieuwbouw en Renovatie BRL 2014' waarin toepassing van ISOVER Cladipan 31 kan bijdragen aan een hoge score

Categorie	Criteria	
Gezondheid en comfort	HEA 9	Vluchtige organische verbindingen
	HEA 10	Thermisch comfort
	HEA 13	Akoestiek
Energie	ENE 1	Energie-efficiëntie
	ENE 26	Waarborging thermische kwaliteit gebouwschil
Materialen	MAT 1	Bouwmaterialen
	MAT 5	Onderbouwde herkomst van materialen
Afval	WST 1	Afvalmanagement op de bouwplaats
Management	MAN 9	Kennisoverdracht

Bestekomschrijving in STABU vorm
Bestekomschrijvingen in STABU zijn voor diverse constructies beschikbaar. De ISOVER bestekservice is te vinden op www.isover.nl/bestekservice.

Productwijzigingen zijn voorbehouden. De meest recente informatie is te vinden op www.isover.nl

SAINT-GOBAIN

ISOVER Nederland
Postbus 96, 4130 EB Vianen
Tel.: 0347 358 400
E-mail algemeen: info@isover.nl
E-mail verkoop: verkoop@isover.nl
www.isover.nl

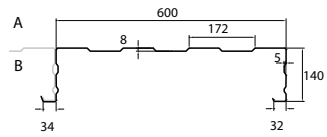
Bijlage C: Productblad SAB B140/600

SAB B140/600 - CC1

Maximale windbelasting in kN/m² bij gegeven overspanning in de gevel in m¹

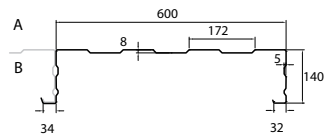
Winddruk in kN/m²	Windgebied 1			Windgebied 2			Windgebied 3	
	Kust	Onbebouwd	Bebouwd	Kust	Onbebouwd	Bebouwd	Onbebouwd	Bebouwd
Gebouwhoogte tot 9 meter	1,71	1,08	0,85	1,42	0,90	0,72	0,75	0,58
Gebouwhoogte tot 15 meter	1,88	1,28	1,06	1,57	1,08	0,88	0,88	0,73
Gebouwhoogte tot 30 meter	2,13	1,57	1,35	1,79	1,32	1,13	1,09	0,94

SAB B140/600
Gevolgklasse CC1
Maximale **winddruk** in kN/m²
Doorbuiging L/150
Oplegging 160 mm



Aantal velden	Dikte (mm)	Gewicht (kg/m²)	Overspanning in m¹																				
			3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,25	8,50
	0,75	9,71	2,64	2,46	2,19	1,94	1,72	1,55	1,39	1,26	1,15	1,05	0,97	0,89	0,82	0,76	0,71	0,66	0,62	0,58	0,54	0,51	0,48
	0,88	11,40	3,71	3,23	2,83	2,51	2,23	2,00	1,81	1,64	1,49	1,36	1,25	1,15	1,07	0,99	0,92	0,85	0,80	0,72	0,65	0,60	0,55
	1,00	12,95	4,49	3,90	3,43	3,03	2,70	2,42	2,18	1,98	1,80	1,65	1,51	1,39	1,29	1,18	1,06	0,95	0,86	0,78	0,71	0,64	0,59
	1,13	14,64	5,10	4,43	3,89	3,44	3,07	2,75	2,48	2,25	2,05	1,87	1,72	1,58	1,46	1,34	1,20	1,08	0,98	0,88	0,80	0,73	0,67
	1,25	16,19	5,66	4,93	4,32	3,82	3,41	3,06	2,76	2,50	2,27	2,08	1,91	1,76	1,62	1,49	1,33	1,20	1,08	0,98	0,89	0,81	0,74
	1,50	19,43	6,83	5,94	5,21	4,61	4,11	3,69	3,32	3,01	2,74	2,51	2,30	2,12	1,96	1,79	1,61	1,45	1,31	1,18	1,08	0,98	0,90
	0,75	9,71	2,41	2,18	1,99	1,82	1,68	1,55	1,43	1,33	1,24	1,13	1,04	0,96	0,89	0,82	0,76	0,71	0,67	0,62	0,58	0,55	0,52
	0,88	11,40	3,33	3,00	2,72	2,47	2,26	2,07	1,91	1,77	1,62	1,48	1,36	1,26	1,16	1,08	1,00	0,93	0,87	0,82	0,76	0,72	0,68
	1,00	12,95	4,10	3,68	3,32	3,01	2,74	2,51	2,31	2,13	1,97	1,81	1,66	1,53	1,41	1,31	1,22	1,13	1,06	0,99	0,93	0,88	0,82
	1,13	14,64	4,66	4,18	3,77	3,42	3,11	2,85	2,62	2,41	2,23	2,05	1,88	1,73	1,60	1,49	1,38	1,29	1,20	1,13	1,06	0,99	0,94
	1,25	16,19	5,17	4,64	4,18	3,79	3,46	3,16	2,91	2,68	2,48	2,28	2,09	1,93	1,78	1,65	1,53	1,43	1,34	1,25	1,17	1,10	1,04
	1,50	19,43	6,24	5,59	5,04	4,58	4,17	3,82	3,51	3,23	2,99	2,75	2,52	2,32	2,15	1,99	1,85	1,73	1,61	1,51	1,42	1,33	1,25
	0,75	9,71	2,83	2,57	2,34	2,15	1,98	1,83	1,70	1,58	1,48	1,38	1,30	1,20	1,11	1,03	0,95	0,89	0,83	0,78	0,73	0,69	0,65
	0,88	11,40	3,95	3,56	3,23	2,95	2,70	2,48	2,29	2,12	1,97	1,83	1,70	1,56	1,45	1,34	1,25	1,16	1,09	1,02	0,95	0,90	0,84
	1,00	12,95	4,89	4,39	3,97	3,61	3,29	3,02	2,78	2,56	2,37	2,21	2,05	1,90	1,76	1,63	1,52	1,41	1,32	1,24	1,16	1,09	1,03
	1,13	14,64	5,55	4,99	4,51	4,10	3,74	3,43	3,15	2,91	2,70	2,50	2,33	2,16	2,00	1,85	1,72	1,61	1,50	1,41	1,32	1,24	1,17
	1,25	16,19	6,17	5,54	5,01	4,55	4,15	3,80	3,50	3,23	2,99	2,78	2,59	2,40	2,22	2,06	1,91	1,78	1,67	1,56	1,46	1,38	1,30
	1,50	19,43	7,44	6,68	6,04	5,48	5,01	4,59	4,22	3,90	3,61	3,35	3,12	2,90	2,68	2,48	2,31	2,15	2,01	1,88	1,77	1,66	1,56

SAB B140/600
Gevolgklasse CC1
Maximale **windzuiging** in kN/m²



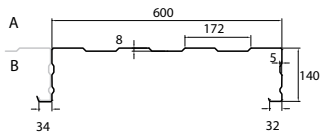
Aantal velden	Dikte (mm)	Gewicht (kg/m²)	Overspanning in m¹																				
			3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,25	8,50
	0,75	9,71	-2,14	-2,00	-1,87	-1,76	-1,66	-1,58	-1,50	-1,36	-1,24	-1,14	-1,04	-0,96	-0,89	-0,82	-0,77	-0,71	-0,67	-0,63	-0,59	-0,55	-0,52
	0,88	11,40	-3,23	-3,01	-2,83	-2,66	-2,43	-2,18	-1,97	-1,78	-1,63	-1,49	-1,37	-1,26	-1,16	-1,08	-1,00	-0,94	-0,87	-0,82	-0,77	-0,72	-0,68
	1,00	12,95	-4,24	-3,95	-3,71	-3,32	-2,96	-2,66	-2,40	-2,18	-1,98	-1,81	-1,67	-1,54	-1,42	-1,32	-1,22	-1,14	-1,07	-1,00	-0,94	-0,88	-0,83
	1,13	14,64	-4,81	-4,49	-4,21	-3,77	-3,36	-3,02	-2,72	-2,47	-2,25	-2,06	-1,89	-1,74	-1,61	-1,49	-1,39	-1,30	-1,21	-1,13	-1,06	-1,00	-0,94
	1,25	16,19	-5,34	-4,99	-4,67	-4,18	-3,73	-3,35	-3,02	-2,74	-2,50	-2,29	-2,10	-1,93	-1,79	-1,66	-1,54	-1,44	-1,34	-1,26	-1,18	-1,11	-1,05
	1,50	19,43	-6,44	-6,01	-5,64	-5,05	-4,50	-4,04	-3,65	-3,31	-3,01	-2,76	-2,53	-2,33	-2,16	-2,00	-1,86	-1,74	-1,62	-1,52	-1,43	-1,34	-1,26
	0,75	9,71	-2,56	-2,28	-2,04	-1,85	-1,66	-1,49	-1,35	-1,22	-1,11	-1,02	-0,93	-0,86	-0,80	-0,74	-0,69	-0,64	-0,60	-0,56	-0,53	-0,49	-0,47
	0,88	11,40	-3,28	-2,95	-2,67	-2,43	-2,22	-2,00	-1,81	-1,64	-1,49	-1,37	-1,26	-1,16	-1,07	-0,99	-0,92	-0,86	-0,80	-0,75	-0,71	-0,66	-0,63
	1,00	12,95	-3,62	-3,28	-2,99	-2,73	-2,51	-2,31	-2,14	-1,99	-1,85	-1,69	-1,55	-1,43	-1,32	-1,23	-1,14	-1,06	-0,99	-0,93	-0,87	-0,82	-0,77
	1,13	14,64	-4,11	-3,73	-3,39	-3,10	-2,85	-2,63	-2,43	-2,26	-2,10	-1,92	-1,76	-1,63	-1,50	-1,39	-1,30	-1,21	-1,13	-1,06	-0,99	-0,93	-0,88
	1,25	16,19	-4,57	-4,14	-3,76	-3,44	-3,16	-2,92	-2,70	-2,51	-2,33	-2,13	-1,96	-1,81	-1,67	-1,55	-1,44	-1,34	-1,25	-1,17	-1,10	-1,04	-0,98
	1,50	19,43	-5,51	-4,99	-4,54	-4,16	-3,82	-3,52	-3,26	-3,02	-2,81	-2,57	-2,36	-2,18	-2,01	-1,87	-1,74	-1,62	-1,51	-1,42	-1,33	-1,25	-1,18
	0,75	9,71	-2,67	-2,49	-2,34	-2,20	-2,03	-1,86	-1,68	-1,53	-1,39	-1,27	-1,17	-1,08	-1,00	-0,92	-0,86	-0,80	-0,75	-0,70	-0,66	-0,62	-0,58
	0,88	11,40	-3,91	-3,52	-3,19	-2,91	-2,66	-2,44	-2,25	-2,05	-1,87	-1,71	-1,57	-1,45	-1,34	-1,24	-1,15	-1,08	-1,00	-0,94	-0,88	-0,83	-0,78
	1,00	12,95	-4,28	-3,89	-3,54	-3,25	-2,99	-2,76	-2,55	-2,37	-2,21	-2,07	-1,94	-1,79	-1,66	-1,53	-1,43	-1,33	-1,24	-1,16	-1,09	-1,03	-0,97
	1,13	14,64	-4,87	-4,41	-4,02	-3,69	-3,39	-3,13	-2,90	-2,70	-2,51	-2,35	-2,20	-2,03	-1,88	-1,74	-1,62	-1,51	-1,41	-1,32	-1,24	-1,17	-1,10
	1,25	16,19	-5,40	-4,90	-4,47	-4,09	-3,76	-3,48	-3,22	-2,99	-2,79	-2,61	-2,44	-2,26	-2,09	-1,93	-1,80	-1,68	-1,57	-1,47	-1,38	-1,30	-1,22
	1,50	19,43	-6,52	-5,91	-5,39	-4,94	-4,54	-4,19	-3,88	-3,61	-3,37	-3,14	-2,95	-2,72	-2,52	-2,33	-2,17	-2,02	-1,89	-1,77	-1,66	-1,56	-1,47

SAB B140/600 - CC2

Maximale windbelasting in kN/m² bij gegeven overspanning in de gevel in m¹

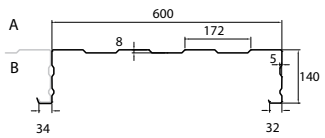
Winddruk in kN/m²	Windgebied 1			Windgebied 2			Windgebied 3	
	Kust	Onbebouwd	Bebouwd	Kust	Onbebouwd	Bebouwd	Onbebouwd	Bebouwd
Gebouwhoogte tot 9 meter	1,71	1,08	0,85	1,42	0,90	0,72	0,75	0,58
Gebouwhoogte tot 15 meter	1,88	1,28	1,06	1,57	1,08	0,88	0,88	0,73
Gebouwhoogte tot 30 meter	2,13	1,57	1,35	1,79	1,32	1,13	1,09	0,94

SAB B140/600
Gevolgklasse CC2
Maximale **winddruk** in kN/m²
Doorbuiging L/150
Oplegging 160 mm



Aantal velden	Dikte (mm)	Gewicht (kg/m²)	Overspanning in m¹																				
			3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,25	8,50
	0,75	9,71	2,38	2,22	1,97	1,74	1,55	1,39	1,26	1,14	1,04	0,95	0,87	0,80	0,74	0,69	0,64	0,59	0,55	0,52	0,49	0,46	0,43
	0,88	11,40	3,34	2,91	2,55	2,26	2,01	1,80	1,63	1,47	1,34	1,23	1,13	1,04	0,96	0,89	0,83	0,77	0,72	0,67	0,63	0,59	0,55
	1,00	12,95	4,04	3,51	3,08	2,73	2,43	2,18	1,97	1,78	1,62	1,48	1,36	1,25	1,16	1,07	1,00	0,93	0,86	0,78	0,71	0,64	0,59
	1,13	14,64	4,59	3,99	3,50	3,10	2,76	2,48	2,23	2,02	1,84	1,68	1,55	1,42	1,32	1,22	1,13	1,06	0,98	0,88	0,80	0,73	0,67
	1,25	16,19	5,10	4,43	3,89	3,44	3,07	2,75	2,48	2,25	2,05	1,87	1,72	1,58	1,46	1,36	1,26	1,17	1,08	0,98	0,89	0,81	0,74
	1,50	19,43	6,15	5,35	4,69	4,15	3,70	3,32	2,99	2,71	2,47	2,26	2,07	1,91	1,76	1,63	1,52	1,42	1,31	1,18	1,08	0,98	0,90
	0,75	9,71	2,16	1,96	1,79	1,64	1,51	1,39	1,29	1,20	1,12	1,02	0,94	0,86	0,80	0,74	0,69	0,64	0,60	0,56	0,53	0,49	0,47
	0,88	11,40	3,00	2,70	2,44	2,22	2,03	1,87	1,72	1,59	1,46	1,34	1,23	1,13	1,04	0,97	0,90	0,84	0,78	0,73	0,69	0,65	0,61
	1,00	12,95	3,69	3,31	2,99	2,71	2,47	2,26	2,08	1,91	1,77	1,63	1,49	1,37	1,27	1,18	1,10	1,02	0,95	0,89	0,84	0,79	0,74
	1,13	14,64	4,19	3,76	3,39	3,07	2,80	2,56	2,36	2,17	2,01	1,85	1,69	1,56	1,44	1,34	1,24	1,16	1,08	1,01	0,95	0,89	0,84
	1,25	16,19	4,65	4,17	3,76	3,41	3,11	2,85	2,62	2,41	2,23	2,05	1,88	1,73	1,60	1,49	1,38	1,29	1,20	1,13	1,06	0,99	0,94
	1,50	19,43	5,61	5,03	4,54	4,12	3,75	3,43	3,16	2,91	2,69	2,47	2,27	2,09	1,93	1,79	1,67	1,55	1,45	1,36	1,28	1,20	1,13
	0,75	9,71	2,54	2,31	2,11	1,94	1,78	1,65	1,53	1,42	1,33	1,24	1,17	1,08	1,00	0,92	0,86	0,80	0,75	0,70	0,66	0,62	0,58
	0,88	11,40	3,56	3,21	2,91	2,65	2,43	2,23	2,06	1,91	1,77	1,65	1,53	1,41	1,30	1,21	1,12	1,05	0,98	0,91	0,86	0,81	0,76
	1,00	12,95	4,40	3,95	3,57	3,25	2,96	2,72	2,50	2,31	2,14	1,98	1,85	1,71	1,58	1,47	1,37	1,27	1,19	1,11	1,05	0,98	0,93
	1,13	14,64	5,00	4,49	4,06	3,69	3,36	3,08	2,84	2,62	2,43	2,25	2,10	1,95	1,80	1,67	1,55	1,45	1,35	1,26	1,19	1,12	1,05
	1,25	16,19	5,55	4,99	4,51	4,09	3,73	3,42	3,15	2,91	2,69	2,50	2,33	2,16	2,00	1,85	1,72	1,60	1,50	1,40	1,32	1,24	1,17
	1,50	19,43	6,69	6,01	5,43	4,94	4,51	4,13	3,80	3,51	3,25	3,02	2,81	2,61	2,41	2,23	2,08	1,94	1,81	1,69	1,59	1,50	1,41

SAB B140/600
Gevolgklasse CC2
Maximale **windzuiging** in kN/m²



Aantal velden	Dikte (mm)	Gewicht (kg/m²)	Overspanning in m¹																				
			3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,25	8,50
	0,75	9,71	-1,92	-1,80	-1,68	-1,58	-1,50	-1,42	-1,35	-1,23	-1,12	-1,02	-0,94	-0,87	-0,80	-0,74	-0,69	-0,64	-0,60	-0,56	-0,53	-0,50	-0,47
	0,88	11,40	-2,91	-2,71	-2,54	-2,39	-2,19	-1,96	-1,77	-1,61	-1,46	-1,34	-1,23	-1,13	-1,05	-0,97	-0,90	-0,84	-0,79	-0,74	-0,69	-0,65	-0,61
	1,00	12,95	-3,81	-3,56	-3,34	-2,99	-2,67	-2,39	-2,16	-1,96	-1,78	-1,63	-1,50	-1,38	-1,28	-1,18	-1,10	-1,03	-0,96	-0,90	-0,84	-0,79	-0,75
	1,13	14,64	-4,33	-4,04	-3,79	-3,39	-3,03	-2,72	-2,45	-2,22	-2,03	-1,85	-1,70	-1,57	-1,45	-1,34	-1,25	-1,17	-1,09	-1,02	-0,96	-0,90	-0,85
	1,25	16,19	-4,81	-4,49	-4,21	-3,76	-3,36	-3,01	-2,72	-2,47	-2,25	-2,06	-1,89	-1,74	-1,61	-1,49	-1,39	-1,29	-1,21	-1,13	-1,06	-1,00	-0,94
	1,50	19,43	-5,80	-5,41	-5,07	-4,54	-4,05	-3,64	-3,28	-2,98	-2,71	-2,48	-2,28	-2,10	-1,94	-1,80	-1,68	-1,56	-1,46	-1,37	-1,28	-1,21	-1,14
	0,75	9,71	-2,30	-2,05	-1,84	-1,66	-1,50	-1,34	-1,21	-1,10	-1,00	-0,92	-0,84	-0,78	-0,72	-0,66	-0,62	-0,58	-0,54	-0,50	-0,47	-0,45	-0,42
	0,88	11,40	-2,95	-2,65	-2,40	-2,18	-1,99	-1,80	-1,63	-1,48	-1,35	-1,23	-1,13	-1,04	-0,96	-0,89	-0,83	-0,77	-0,72	-0,68	-0,64	-0,60	-0,56
	1,00	12,95	-3,26	-2,95	-2,69	-2,46	-2,26	-2,08	-1,93	-1,79	-1,66	-1,52	-1,40	-1,29	-1,19	-1,11	-1,03	-0,96	-0,90	-0,84	-0,79	-0,74	-0,70
	1,13	14,64	-3,70	-3,35	-3,05	-2,79	-2,57	-2,37	-2,19	-2,03	-1,89	-1,73	-1,59	-1,46	-1,35	-1,25	-1,17	-1,09	-1,02	-0,95	-0,89	-0,84	-0,79
	1,25	16,19	-4,11	-3,72	-3,39	-3,10	-2,85	-2,63	-2,43	-2,26	-2,10	-1,92	-1,76	-1,62	-1,50	-1,39	-1,30	-1,21	-1,13	-1,06	-0,99	-0,93	-0,88
	1,50	19,43	-4,96	-4,49	-4,09	-3,74	-3,44	-3,17	-2,93	-2,72	-2,53	-2,32	-2,13	-1,96	-1,81	-1,68	-1,56	-1,46	-1,36	-1,28	-1,20	-1,13	-1,06
	0,75	9,71	-2,40	-2,24	-2,10	-1,98	-1,83	-1,67	-1,51	-1,37	-1,25	-1,15	-1,05	-0,97	-0,90	-0,83	-0,77	-0,72	-0,67	-0,63	-0,59	-0,56	-0,52
	0,88	11,40	-3,52	-3,17	-2,87	-2,62	-2,39	-2,20	-2,03	-1,85	-1,68	-1,54	-1,41	-1,30	-1,20	-1,12	-1,04	-0,97	-0,90	-0,85	-0,79	-0,75	-0,70
	1,00	12,95	-3,86	-3,50	-3,19	-2,92	-2,69	-2,48	-2,30	-2,14	-1,99	-1,86	-1,74	-1,61	-1,49	-1,38	-1,28	-1,20	-1,12	-1,05	-0,98	-0,92	-0,87
	1,13	14,64	-4,38	-3,97	-3,62	-3,32	-3,05	-2,82	-2,61	-2,43	-2,26	-2,11	-1,98	-1,83	-1,69	-1,57	-1,46	-1,36	-1,27	-1,19	-1,12	-1,05	-0,99
	1,25	16,19	-4,86	-4,41	-4,02	-3,68	-3,39	-3,13	-2,90	-2,69	-2,51	-2,35	-2,20	-2,03	-1,88	-1,74	-1,62	-1,51	-1,41	-1,32	-1,24	-1,17	-1,10
	1,50	19,43	-5,86	-5,32	-4,85	-4,44	-4,09	-3,77	-3,50	-3,25	-3,03	-2,83	-2,65	-2,45	-2,27	-2,10	-1,95	-1,82	-1,70	-1,59	-1,50	-1,41	-1,33

Bijlage D: Dak- en gevelsystemen

Het stramienenplan van de industriehal wordt bepaald aan de hand van de overspanning van de dak- en gevelsystemen en het prefabbeton dat wordt gebruikt als fundering. Dak- en gevelbekleding zijn hoofdzakelijk opgebouwd uit isolatiemateriaal en geprofileerde staalplaten. Afhankelijk van de toepassing en de situatie kan de samenstelling van de daken en de gevels worden gekozen. Om duidelijk te krijgen welk type dak- en gevelsysteem het beste geschikt is om te worden toegepast in de industriehal in Hulst, worden de voor- en nadelen vergeleken met de wensen en eisen van de fictieve opdrachtgever. In het vak van de constructeur is het soms ook nodig om keuzes te maken zonder specifieke onderbouwing.

D.1 Isolatiematerialen

Isolatiematerialen kunnen om diverse redenen worden toegepast; brandveiligheid, warmte vasthouden in de wintermaanden, warmte buitenhouden in de zomermaanden (dit principe wordt veelal aangeduid met de term thermische weerstand) en het verbeteren van de akoestiek door het dempen van geluiden (General Services Holland bv, 2018). Omdat isolatie op vele manieren kan worden gebruikt, zijn verschillende isolatiematerialen beschikbaar, waarbij onderscheid kan worden gemaakt tussen de grondstoffen, de uitvoering en het doel (Solvari BV, 2021b).

Het is in de meeste gevallen wenselijk om een loods of industriehal met garage of werkplaats te isoleren. Isolatie vermindert het effect van vocht in de loods. In *Bijlage D.5 Daksystemen* vindt u een overzicht van voor- en nadelen bij de verschillende daksystemen, waarbij verschillen zichtbaar zijn met betrekking tot de vochteffecten in het dak. Er zijn tientallen soorten isolatiematerialen beschikbaar, waarbij voor industriële doeleinden veel gebruik wordt gemaakt van PIR- of PUR-isolatie, al dan niet in de vorm van een sandwichpaneel. Hierover is meer te lezen in *Bijlage D.2 Sandwichpaneel*. Er zijn ook traditionele constructies mogelijk, waarbij gebruik wordt gemaakt van glaswol en steenwol met aan de binnenzijde een binnendoossysteem en aan de buitenzijde een geprofileerde plaat (Mijzen, 2021). Hierover is meer te lezen in *Bijlage D.3 Binnendoos met geprofileerde plaat*.

Isolatiematerialen kunnen worden opgedeeld in drie grote groepen: minerale isolatie, kunststof isolatie en ecologische isolatie (Solvari BV, 2021b). “Minerale isolatie, ook wel minerale wol ofwel ‘mineral wool’ is wol gesponnen van glas. Om minerale wol te produceren wordt als hoofdbestanddeel gerecycled glas gebruikt” (Knauf Insulation, z.d.). De productie van minerale isolatiewol begint met extreme verhitting van het glas, zodat van het gesmolten glas glasdraden kunnen worden gesponnen. De wollige structuur kan vervolgens in verschillende toepassingen worden gebruikt als isolatiemateriaal (Knauf Insulation, z.d.).

Er zijn verschillende soorten minerale isolatie te onderscheiden (Solvari BV, 2021b):

- **Glaswol**; de belangrijkste voordelen van glaswol, naast de herkomst van het materiaal, zijn de hoge thermische isolatiewaarde (λ = 0,031 W/m·K), de goede betaalbaarheid, het lichte gewicht (11-45 kg/m^3), de brandwerendheid, het is geluiddempend, het is waterafstotend en glaswol in een deken

is flexibel. Naast dekenvorm is glaswol ook verkrijgbaar in een vormvaste plaatvorm. Het nadeel van glaswol is de stofvorming, de ruimte die nodig is bij de verwerking en de schade dat kan worden toegebracht aan de gezondheid bij aanraking of inademing. Tevens kan glaswol gaan uitzakken als het nat wordt (Verdouw, z.d.). Verder heeft glaswol de eigenschappen om rotvrij te blijven, geen voedingsbodem te zijn voor ongedierte en is het niet corrosief (Isover, z.d.-b).

- **Rotswol** (ook bekend als **steenwol**); de belangrijkste voordelen van steenwol, naast de herkomst van het materiaal, zijn de hoge thermische isolatiewaarde (λ = 0,033-0,035 W/m·K, zoals is aangegeven op de website van *Handelbouwadvies*), de goede betaalbaarheid, het lichte gewicht (30-200 kg/m^3), de brandwerendheid, het is geluiddempend en het is waterafstotend. Het nadeel van glaswol zijn de ruimte die nodig is bij de verwerking en de schade die kan worden toegebracht aan de gezondheid bij aanraking of inademing. In dat opzicht zijn glaswol en steenwol vergelijkbaar. Het nadeel van glaswol is de stofvorming, de ruimte die nodig is bij de verwerking en de schade dat kan worden toegebracht aan de gezondheid bij aanraking of inademing (Solvari BV, 2020).
- **Cellenglas isolatie**; vergelijkbaar met glaswol, maar in de oven worden andere grondstoffen toegevoegd, waaronder: ijzeroxide, mangaanoxide, veldspaat en natriumsulfaat. De belangrijkste voordelen van cellenglas isolatie, naast de herkomst van het materiaal, zijn de constante en hoge thermische isolatiewaarde (λ = 0,04-0,05 W/m·K, zoals is aangegeven op de website van *Isolatie-info.nl*), de goede betaalbaarheid, het lichte gewicht, de drukvastigheid, de vuurvastheid, het is dampdicht en heeft een lange levensduur van meer dan 50 jaar, waarbij de isolerende eigenschappen volledig worden behouden (Solvari BV, 2021a).

Kunststof isolatie omvat vooral chemische (hard)schuimen op basis van aardolie. Er zijn veel verschillende soorten kunststof isolatie te onderscheiden, zoals PUR-isolatie, PIR-isolatie, EPS-isolatie, XPS-isolatie, Polyethyleen-isolatie. Voor de bepaling welke het beste schikt is worden alleen PUR-isolatie en PIR-isolatie verder uitgediept met voor- en nadelen (Solvari BV, 2021b):

- **PUR-isolatie**; is een tijd lang de meest gebruikte isolatie geweest en is te gebruiken voor de isolatie van gevels en daken. De voordelen van PUR-isolatie zijn de hoge thermische isolatiewaarde (λ = 0,023-0,029 W/m·K, zoals is aangegeven op de website van *Handelbouwadvies*), de geluidsisolatie, de lange levensduur door de geringe kans op afbrokkelen, uitzakken of krimpen, de vochtbestendigheid en de luchtdichtheid. Het nadeel is de beperkte brandveiligheid, de verminderde milieuvriendelijkheid en de hoge aankoopprijs (Isoleren-expert.nl, 2021).
- **PIR-isolatie**; tegenwoordig wordt de voorkeur gegeven aan PIR-isolatie boven PUR-isolatie. De voordelen van PIR-isolatie zijn de hoge thermische isolatiewaarde (λ = 0,024 W/m·K, zoals is te lezen op de website van *Recticel Insulation*. Op de website van *Handelbouwadvies* staat dat λ = 0,026 W/m·K is. Kleine verschillen zijn dus mogelijk), de geluidsisolatie, het lichte gewicht (ca. 30 kg/m^3), de lange levensduur door de geringe kans op afbrokkelen, uitzakken of krimpen, de vochtbestendigheid en de luchtdichtheid. Het nadeel is de beperkte brandveiligheid, de verminderde milieuvriendelijkheid en de ten slotte de hoge aankoopprijs (Isoleren-expert.nl, 2021) (Insulation Solutions, z.d.).

Naast de genoemde isolatiematerialen is er ook keuze uit ecologische of plantaardige isolatiematerialen. Daarbij kan worden gedacht aan papiervlokken, schapenwol of houtwol. In grote lijnen kan worden gesteld dat plantaardige isolatiematerialen het meest brandgevaarlijk zijn. Door de gevoeligheid voor ongedierte en de verhoogde prijs wordt deze isolatietechniek buitenbeschouwing gelaten, omdat dit geen kanshebber is ten aanzien van de voordelen en toepassingsmogelijkheden van minerale en kunstof isolaties.

De uiteindelijke keuze welke soort isolatie het meest geschikt is voor de industriehal hangt onder meer af van de toepassing, het budget, het oppervlak en de persoonlijke wensen. Op grond van deze criteria wordt beoordeeld welk systeem het beste geschikt is. Om duidelijk te krijgen welk isolatiemateriaal het beste geschikt is voor de industriehal voor een firma in Hulst wordt een overzicht gemaakt van de beoordelingen in onderstaande tabel 1.

Tabel 1: Beoordeling isolatiematerialen voor diverse criteria.

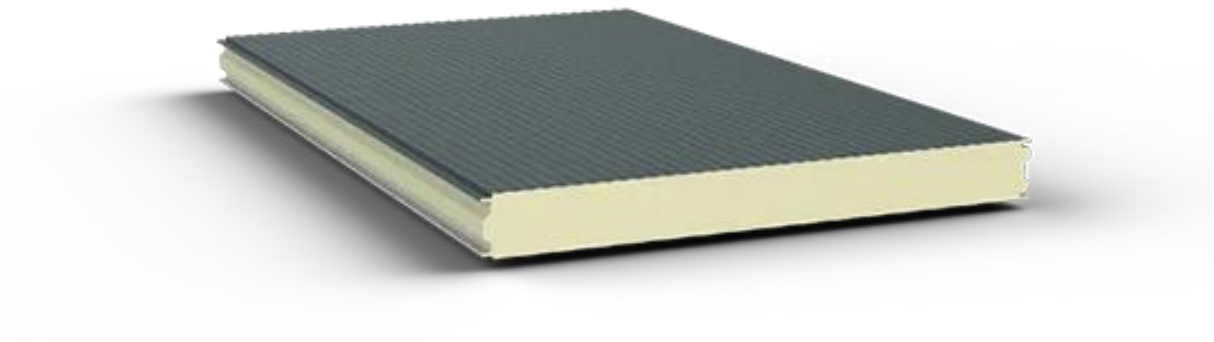
	Toepassing	**Budget**	**Oppervlak**	**Persoonlijke wensen**
Sandwichpaneel – PUR-isolatie	+	-	+	-
Sandwichpaneel – PIR-isolatie	+	-	+	+
Glaswol	+	+	+	+
Steenwol	+	+	+	-
Cellenglas isolatie	+	-	+	-

Toelichting bij tabel 1:
Alle isolatiematerialen zijn geschikt voor deze toepassing. Glaswol en steenwol zijn relatief gezien goedkoper dan PUR-panelen, PIR-panelen en cellenglas isolatie. Met alle isolatiematerialen kunnen de oppervlaktes van de industriehal worden bekleed. De opdrachtgever heeft kennisgenomen van bovenstaande informatie en heeft aangegeven een voorkeur te hebben voor glaswolisolatie. Zodoende is er een positieve beoordeling gegeven bij glaswol. Daarmee wordt automatisch ook de voorkeur gegeven een traditioneel opbouwsysteem met een binnendoos. Er is meer achtergrond te vinden met betrekking tot binnendozen in Bi.3 Binnendoos met geprofileerde plaat. De constructeur heeft aangegeven dat een lichtgewicht isolatiepaneel, zoals PIR, prima kan worden toegepast in het dak. PIR-isolatie staat bekend om het lichte gewicht en lage warmtegeleidingscoëfficiënt, waardoor met beperkte diktes meer warmteweerstand kan worden bereikt. De warmteweerstand staat vastgelegd in de isolatievoorschriften in Bouwbesluit 2012 en is per 1 februari 2022 verder aangescherpt. Hier moet dus aan worden voldaan. Door het lichtere gewicht van de PIR-isolatie wordt de draagconstructie minder zwaar belast en kan met minder zware profielen een overspanning van 18,00 m en 35,00 m worden gemaakt. De opdrachtgever is van mening dat dit genoeg aanleiding geeft om ook aan PIR een positieve beoordeling te geven.

D.2 Sandwichpanelen

Te beginnen met wat achtergrond bij de sandwichpanelen. Sandwichpanelen kennen de belangrijkste toepassingen in de utiliteitsbouw, woningbouw en offshore. In de utiliteitsbouw maakte het sandwichpaneel een ontwikkeling door, waarbij voorheen gevels, daken en binnenwanden van industriële gebouwen op grote schaal werden gerealiseerd. Tegenwoordig worden de panelen ook gebruikt voor toepassingen met hogere architectonische eisen.

Sandwichpanelen zijn opgebouwd uit een stalen buitenplaat met een dikte van 0,55 mm, een isolatiekern van hard polyisocyanuraatschuim (PIR) of hard polyurethaanschuim (PUR) en een stalen binnenplaat met een dikte van 0,40 mm. Alle stalen panelen worden vervaardigd uit verzinkt staal van staalkwaliteit S320 GD + Z275. Het is gebruikelijk dat het hardschuim, voor zowel PIR als PUR, een dichtheid heeft van ca. 30 kg/m^3 (Insulation Solutions, z.d.). In onderstaande figuur 1 is een voorbeeld te zien van een sandwichpaneel (Qwinpro dak- en wandpanelen B.V., 2021).



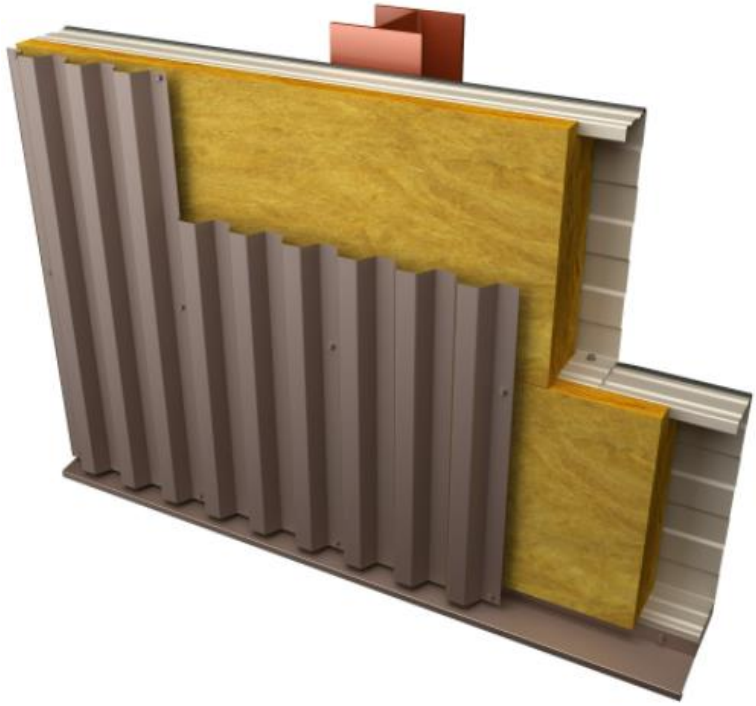
Figuur 1: Sandwichpaneel waarbij links en rechts de afdekprofielen te zien zijn. Hierdoor vormen de panelen één geheel. In het grijs zijn de binnen- en buitenafwerking die het hardschuimpakket beschermt tegen invloeden van buitenaf. Daarnaast geeft de afwerking een moderne uitstraling en zijn verschillende opties mogelijk betreffende de uitstraling (Dutch Profiles Centre B.V., z.d.).

Sandwichpanelen kunnen zowel voor dak- als gevelbedekking, alsmede als tussenwanden gebruikt worden. De dakpanelen zijn zowel op hellende daken als op platte daken te gebruiken. Sandwichpanelen zijn verkrijgbaar in verschillende uitvoeringen; vlak en gelinieerd en zijn toe te passen op daken en gevels. Verder worden de panelen geproduceerd onder optimale condities. Sandwichpanelen zijn echter minder goed handelbaar op de bouwplaats en openingen in de panelen zijn beperkt mogelijk (Kingspan Group, z.d.).

Voor de bevestiging van sandwichpanelen moeten extra wandregels en gordingen worden aangebracht. De onderlinge afstand tussen de wandregels en gordingen mag niet te groot zijn. De twee metalen platen van een sandwichpaneel staan nooit met elkaar in verbinding. Het voordeel hiervan is dat er geen zogenaamde koudebruggen mogelijk zijn, waardoor een sandwichpaneel een zeer hoge isolatiewaarde heeft. “Een koudebrug, ook wel een thermische brug genoemd, is een overgang van een goed geïsoleerd naar een slecht geïsoleerd gebied” (Webmaster Lekkageservice, 2020).

D.3 Binnendoos met geprofileerde plaat

Een andere optie om de wanden van de industriehal aan te kleden is met een binnendoos en geprofileerde plaat. “Binnendozen zijn een traditioneel opbouwsysteem dat is opgebouwd uit horizontaal of verticaal gemonteerde binnendozen met isolatie”. De wanden zijn van binnen naar buiten opgebouwd uit: draagconstructie, binnendoos, isolatiemateriaal, omegaprofiel en dak- en gevelafwerking met geprofileerde staalplaat. Hierover is meer te lezen in *Bijlage D.4 Geprofileerde plaat*. De opbouw is te zien in onderstaande figuur 2.



Figuur 2: Gevel met binnendoos in een verticaal opbouwsysteem (SAB-profiel - A Tata Steel Enterprise, z.d.).

Binnendozen bieden, in tegenstelling tot sandwichpanelen, een grote vrijheid bij het kiezen en monteren van de buitenbeplating en zijn bij het gebruik van glaswol- dan wel steenwolisolatie in hoge mate brandwerend. “Binnendozen leveren in dat geval ook een uitstekende bijdrage aan de geluidisolatie, waarbij de mogelijkheid van perforatie de akoestische eigenschappen zelfs nog verder verbeterd” (SAB-profiel - A Tata Steel Enterprise, z.d.). In combinatie met het geluidsabsorberende isolatiemateriaal zorgt dit niet alleen een goed geluid reductie, maar ook een uitstekende geluidsabsorptie (Hardeman van Harten, 2021). Verder zijn binnendozen prijstechnisch interessanter dan sandwichpanelen. Per 1 februari 2022 zijn er al een aantal veranderingen doorgevoerd in Bouwbesluit 2012, waaronder de warmteweerstand voor gevels, daken en vloeren. De nieuwe warmte weerstanden in artikel *5.3 Thermische isolatie* in Bouwbesluit 2012 zijn prima te halen met verticale en horizontale opbouwsystemen (Hardeman van Harten, 2021).

In tegenstelling tot sandwichpanelen staan de buitenhuid en de geprofileerde plaat van de binnendoos met elkaar in verbinding, waardoor koudebruggen mogelijk zijn. Bij een koudebrug kan kou van buiten

makkelijk naar binnen komen. Tevens is het ook mogelijk dat er warmte van binnen naar buiten kan lekken (Essent, z.d.).

De opdrachtgever heeft kennisgenomen van bovenstaande aanvullende informatie, en heeft aangegeven dat de hoge mate van brandwerendheid, geluidsreductie en geluidsabsorptie van een binnendoos zijn eerdere keuze voor glaswol met PIR als tweede keus versterkt. Het resultaat van deze analyse en het oordeel van de opdrachtgever wijst uit dat een binnendoos wordt toegepast met glaswolisolatie.

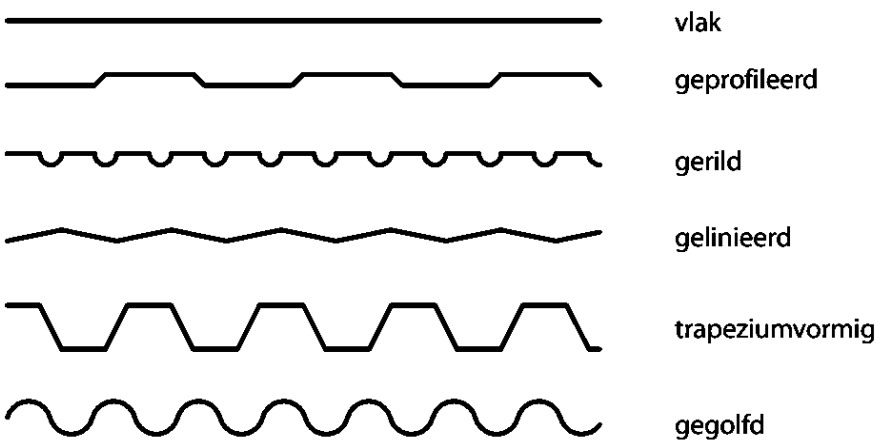
D.4 Geprofileerde platen

Geprofileerde platen zijn op vele manieren toepasbaar, sterk, zijn bovendien in relatief grote elementen te prefabriceren en verkrijgbaar in staal of aluminium. Geprofileerde platen worden onder anderen verwerkt in daken, gevels, balkons, luifels, binnenwanden, plafonds, staalplaat-betonvloeren en staalframebouw elementen. De geprofileerde plaatbekleding is op grote schaal toepasbaar, waardoor dit type bekleding vooral interessant is voor de industriële bouw: opslag- en productiefabrieken, stallen, schuren, distributie- en winkelcentra. Het afzetgebied in deze sectoren betreft voor een belangrijk deel de dak- en gevelbekleding (Barendsz et al., 2010). De situatie omtrent de industriehal in Hulst leent zich uitstekend voor de toepassing van deze techniek.

SAB-profiel is de grootste Nederlandse producent van metalen dak- en gevelsystemen. In gevelopbouwsystemen wordt de geprofileerde plaat gebruikt als constructieve ondergrond van het isolatiepakket en de gevelafwerking. De constructieve ondergrond of ondersteuningsconstructie kan een binnendoos zijn, een (staal)constructie met stijl- en regelwerk of een binnenspouwblad van staalframebouw (Barendsz et al., 2010).

Bij industriële bouw gaat het met name om de functionaliteit van de constructie. Dit is anders bij kantoren en woningen. Desondanks neemt in de laatste jaren het gebruik van geprofileerde platen steeds verder toe in de kantoren- en woningbouwmarkt door de vernieuwende uitstraling rekening houdend met de laatste trends en de verduurzaming (Barendsz et al., 2010).

Een geprofileerde dak- en gevelplaat heeft een aantal voordelen ten opzichte van de traditionele mogelijkheden om een dak of gevel op te bouwen. Allereerst zijn geprofileerde platen goedkoper in meerdere opzichten. (1) De materiaalkosten zijn lager en (2) het aanbrengen van volledige daken en gevels kan op zeer korte tijd plaatsvinden. Naast het feit dat geprofileerde dak- en gevelplaten onbrandbaar (3) en roestvrij zijn door de coating (4), is er weinig tot geen onderhoud nodig (5). De coating zorgt er tevens voor dat mos- of algenvormen en vuil niet hechten aan het oppervlak (6). Verder staan geprofileerde platen bekend om het lichte gewicht (7) en de slankheid van de profielen (8). Zoals te zien in onderstaande figuur 3 bestaan er zes verschillende profielen. Hierdoor zijn slankere staalprofielen mogelijk in de draagconstructie en dus kan er goedkoper worden gebouwd (Dakplaten.be, 2019).



Figuur 3: Mogelijke profileringen van de buitenhuid (Euro-build in Steel, 2008).

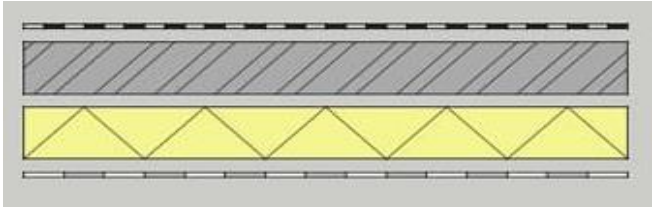
Geprofileerde staalplaat wordt doorgaans koudvervormd, bij kamertemperatuur. De platen worden op twee manieren geproduceerd (Barendsz et al., 2010):

- door rolvormen (profielwalsen);
- door zetten (vouwen).

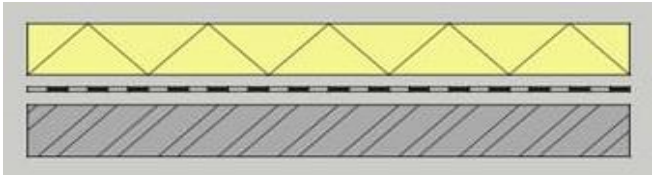
Eerder is aangegeven dat geprofileerde platen worden uitgevoerd in staal en aluminium. De voordelen van staal ten opzichte van aluminium zijn de lage uitzettingscoëfficiënt en de statische eigenschappen van het materiaal. Staal is sterker en kan excentrische krachten beter opnemen. Bovendien kan de staalplaat bijdragen aan de stabiliteit van een constructie door schijfwerking (Barendsz et al., 2010). Het type profiel dat wordt gebruikt voor gevelafwerking/buitenhuid hangt af van de voorkeur van de opdrachtgever (S. Sturm, persoonlijke communicatie, 2022).

D.5 Daksystemen

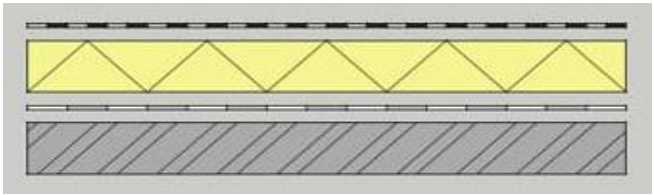
Dakconstructies zijn opgebouwd uit dakdichting, draagconstructie, isolatiemateriaal en dampscherm en kunnen in verschillende manieren worden opgebouwd. Er zijn verschillende daktypen te onderscheiden, namelijk warmdak, omgekeerd dak en kouddak, al dan niet plat, met een helling of met een toog. Een warmdak is als volgt samen te vatten: dakdichting met geprofileerde staalplaat, isolatiemateriaal, dampscherm en draagconstructie. Een omgekeerd dak is als volgt samen te vatten: isolatiemateriaal, dakdichting met geprofileerde staalplaat en draagconstructie. Een kouddak is als volgt samen te vatten: dakdichting met geprofileerde staalplaat, draagconstructie, isolatiemateriaal en dampscherm. Afhankelijk van de toepassing van het gebouw en de geldende criteria kan ervoor worden gekozen om de isolatie en het dampscherm weg te laten. In dat geval worden de geprofileerde staalplaten op de draagconstructie aangebracht. Dit is te zien in onderstaande figuur 4.



Kouddak.



Omgekeerd dak.



Warmdak.

Figuur 4: Schematische weergave van de doorsneden van warme daken, omgekeerde daken en koude daken.

Een warmdak heeft een aantal voordelen ten opzichte van een kouddak en een omgekeerd dak. (1) Er is namelijk geen condensatie en/of vochttransport mogelijk tussen de isolatie en de dakhuid, waardoor rotting van het isolatiemateriaal is uitgesloten. Dit is het resultaat van een doorlopende en naadloze isolatielaag. (2) Daarnaast zijn er geen risico's met betrekking tot de isolatie, omdat de dakhuid bescherming biedt. Zo is het bijvoorbeeld onwaarschijnlijk dat de isolatie wind pakt en wordt losgescheurd van de constructie. (3) Verder blijft de isolatie droog, waardoor de isolatiewaarde behouden blijft. (4) Als laatste is een warmdak minder gevoelig voor temperatuurschommelingen, omdat het isolatiemateriaal de dakconstructie beschermt. Het dak krimpt niet en zet niet uit hierdoor. (1) Als nadelig kan worden aangemerkt dat de isolatiewerken relatief lang duren en ingrijpend zijn. (2) Verder is de prijs van een warmdak hoger dan bij een omgekeerd dak (Dakisolatie-advies.nl, 2019).

Een omgekeerd dak daarentegen heeft het isolatiemateriaal aan de buitenkant zitten en er wordt geen dampscherm aangebracht. (1) Hierdoor is condensatie en/of vochttransport mogelijk tussen de isolatie en de dakhuid, waardoor rotting van het isolatiemateriaal mogelijk is. Dit vanwege het feit dat de isolatielaag niet doorlopen en naadloos is in tegenstelling tot een warmdak. (2) Ook is een omgekeerd dak gevoeliger voor temperatuurschommelingen, omdat de isolatie aan de buitenkant wordt aangebracht. (3) Daarnaast bestaat er altijd de kans dat de isolatie wind pakt in uitzonderlijke omstandigheden. Om dit te voorkomen moet een ballastlaag worden aangebracht bestaande uit tegels, bitumen of grind. (4) Verder wordt de isolatie nat, waardoor de isolatiewaarde sterk daalt. Er zijn ook een aantal belangrijke voordelen te noemen ten opzichte van een warmdak. (1) De isolatiewerken kunnen relatief snel plaatsvinden en (2) de prijs van een omgekeerd dak is lager dan bij warme daken (Dakisolatie-advies.nl, 2019).

Een kouddak heeft een aantal voordelen ten opzichte van een warmdak. (1) Ondanks dat er een dampscherm wordt aangebracht aan de warme zijde van de isolatie, is er condensatie en vochttransport nog steeds mogelijk tussen de isolatie en de dakhuid, waardoor rotting van het isolatiemateriaal mogelijk is. Dit vanwege het feit dat de luchtspouw tussen de dakdichting en de isolatie. (2) Daarnaast zijn er geen risico's met betrekking tot de isolatie, omdat de dakhuid bescherming biedt. Zo is het bijvoorbeeld onwaarschijnlijk dat de isolatie wind pakt en wordt losgescheurd van de constructie. (3) Verder blijft de isolatie droog, waardoor de isolatiewaarde behouden blijft. (1) Als nadelig kan worden aangemerkt dat de isolatiewerken relatief lang duren en ingrijpend kunnen zijn. (2) De prijs van een omgekeerd dak is lager dan dat van een kouddak (Dakisolatie-advies.nl, 2019).

Op basis van de voor- en nadelen en de algemene beschrijving van de industriehal wordt geconcludeerd dat een warmdak het beste geschikt is. Met een warmdak wordt het risico op schade aan de isolatie en de isolatiewaarde blijft behouden. Daarnaast zijn er geen beperkingen opgegeven door de opdrachtgever die de uitkomst van de voor- en nadelenafweging veranderen, zoals een budget of een limiterende uitvoeringsperiode. Wel is meegegeven dat het dak in staat moet zijn om zonnepanelen te dragen met een extra permanente belasting van 0,25 kN/m^2.

De zonnepanelen op het dak staan op poten of railzen, zoals te zien in onderstaande figuur 5 en het dak zal met regelmaat worden betreden. Het voordeel van de railzen is dat de afstand tussen de rijen met zonnepanelen naderhand kan worden aangepast. Met wind en sneeuwval komt een extra last te liggen op de zonnepanelen en de poten die ondersteund moeten worden door de isolatielaag en de dakplaat. Een drukvaste ondergrond met een relatief grote stijfheid is daarom een vereiste. Eerder heeft de opdrachtgever een voorkeur uitgesproken voor glaswolisolatie en PIR-panelen. PIR-panelen zijn drukvast, lichtgewicht, een grote stijfheid en hebben een lage warmtegeleidingscoëfficiënt, waardoor met beperkte diktes de vereiste isolatiewaarde kan worden bereikt. Het lage eigengewicht van de PIR-isolatie is tegelijkertijd van groot voordeel voor de stalen draagconstructie die minder zwaar wordt belast.



Figuur 5: Zonnepanelen op een plat dak op poten of een rails (Solar Garant zonne-energie, z.d.).

Steeds vaker komen branden voor als gevolg van zonnepanelen, dus een zeker mate van brandwerendheid is dus gewenst. In *Bijlage D.1 Isolatiematerialen* staat aangegeven dat kunstof isolatie van PIR of PUR minder brandwerend is dan minerale isolatie van glaswol of steenwol. Alle minerale wol valt in brandklasse A volgens EN 13501-1. Dit betekent dat glaswol onbrandbaar is, niet bijdraagt aan

de verspreiding van brand en geen giftige rook verspreidt. PIR-platen vallen daarentegen in brandklasse B. Dit betekent dat PIR-platen moeilijk brandbaar zijn en een erg beperkte bijdrage leveren aan de verspreiding van brand. Het verschil zit in de lagere ontbrandingstemperatuur van PIR-isolatie ten aanzien van glaswol. Feit blijft wel dat ieder isolatiemateriaal kan branden (Driessen, 2021).

De conclusie is dus dat PIR-platen zeer geschikt zijn om te worden toegepast als isolatiemateriaal in het warm dak. De brandwerendheid is zeker niet de beste, maar ook niet de slechtste. Vooral de grote stijfheid en het lichte gewicht domineren de keuze voor dit isolatiemateriaal in het dak.

D.6 Dikte van de isolatie

Er zijn twee manieren om de dikte van isolatie te bepalen; namelijk aan de hand van de technische eigenschappen die in de brochures van diverse isolatieleveranciers staat gegeven. Ook kan de dikte van isolatie van het dak en de gevels worden bepaald aan de hand van onderstaand formule voor het warmte-isolerend vermogen:

$$R = \frac{d}{\lambda_{declared}}$$

Waarin:

R_c is het warmte-isolerend vermogen of de warmteweerstand het pakket aan materiaal dat de warmte passeert, exclusief de overgangsweerstanden aan buiten- en binnenzijde van de constructie ($m^2 \cdot K/W$).

R_d is het warmte-isolerend vermogen of de warmteweerstand volgens de leverancier van het materiaal ($m^2 \cdot K/W$).

d dikte van het isolatiemateriaal (m).

$\lambda_{declared}$ warmtegeleidingscoëfficiënt van het isolatiemateriaal (W/m·K).

De lambda-waarde geeft de thermische geleidbaarheid van een materiaal aan. Het wordt uitgedrukt in W/m·K. Hoe lager de waarde, hoe minder warmte wordt geleid, hoe beter het materiaal isoleert.
Om de dikte te berekenen kan de formule worden herschreven tot:

$$d = R_c \cdot \lambda_{declared}$$

In *afdeling 5.1 Energiezuinigheid, nieuwbouw, artikel 5.3 Thermische isolatie lid 1, lid 3, lid 5, lid 6 en lid 8* van Bouwbesluit 2012 (vanaf 01-02-2022) is het volgende bepaald (Online Bouwbesluit, 2022):

- Gevel: $R_c = 4{,}7\ m^2 \cdot K/W$
- Dak: $R_c = 6{,}3\ m^2 \cdot K/W$

Voor de gevels en de daken moet dus afzonderlijk de dikte van het isolatiepakket worden bepaald.

De berekening ziet er als volgt uit:

- Gevel: $d = 4{,}7 \cdot 0{,}031 = 0{,}146\ m = 146\ mm$, 150 mm glaswolplaat wordt gekozen.
- Dak: $d = 6{,}3 \cdot 0{,}024 = 0{,}151\ m = 151\ mm$, 150 mm PIR-paneel wordt gekozen.

In de berekening worden de effecten van de binnen- en buitengevel buiten beschouwing gelaten. Van glaswolplaten is in middels bekend dat er koudebruggen kunnen ontstaan, waardoor de isolatiewaarde van de gevels als geheel minder wordt. De koudebruggen zijn het resultaat van schroeven die een directe verbinding vormen tussen de buitenhuid en de binnendoos. Om het verlies in warmte-isolerend vermogen te compenseren is het dus beter om 200 mm glaswolisolatie aan te brengen. Dit wordt ondersteund door diverse productiebladen, zoals het productblad van *Cladipan 31* van leverancier *Insulation Solutions*. Bij een dikte van 200 mm met glaswolisolatie is een warmte-isolerend vermogen mogelijk van $R_c \geq 4{,}7$ $m^2 \cdot K/W$. Naast de bevestiging dat dit de juiste keuze is, is, bij de bepaling van de technische waarden in het productblad, ook de isolerende werking van het binnendoossysteem meegerekend.

D.7 Windbelastingen volgens SAB-tabellen

Voor de juiste keuze van een gevelplaat, binnendoos of dakplaat dien je onder meer rekening te houden met (SAB-profiel bv - A Tata Steel Enterprise, 2015):

- Belastingen;
- Gevolgklasse;
- Doorbuigingseis;
- Oplegbreedte;
- Montage;
- Materiaal.

Belastingen bestaan onder andere uit windbelasting. Windbelasting speelt een belangrijke belastende rol op de gevel, minder bij daken die ook ontworpen moeten worden om de belastingen van sneeuw, zonnepanelen en eventuele dakinspecties op te vangen. Om te beginnen wordt het profiel van de binnendoos bepaald aan de hand van de winddruk en de windzuiging. De windbelasting op gevelpanelen wordt bepaald door:

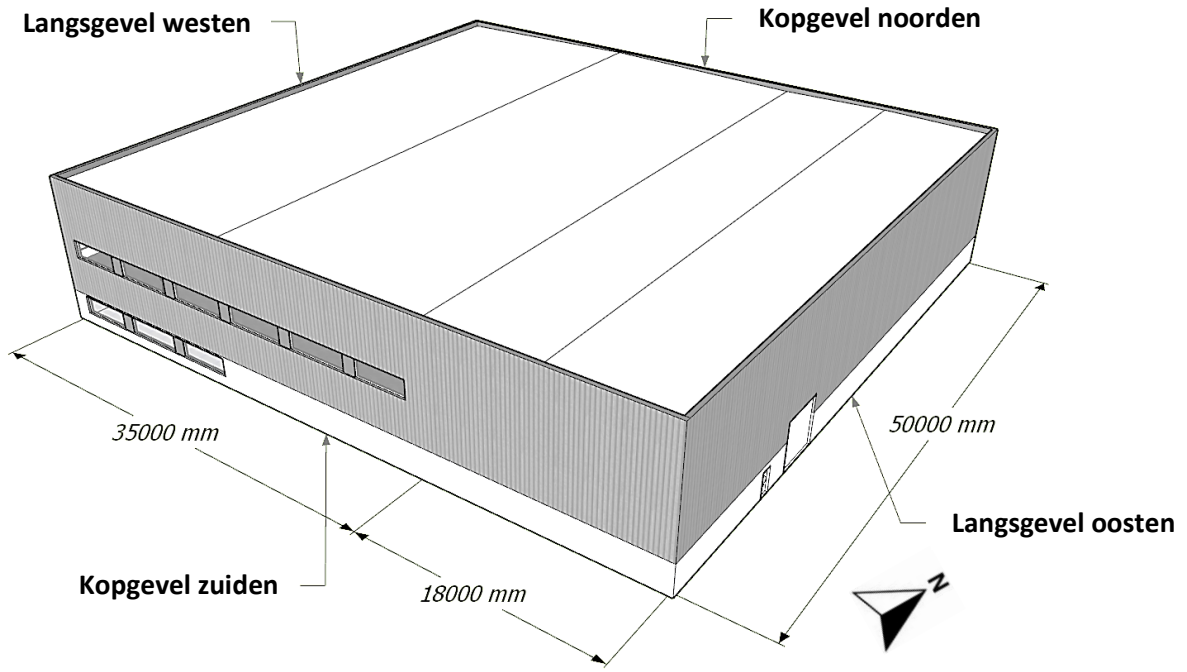
- Het windgebied in Nederland;
- Categorie kust, bebouwde of onbebouwde omgeving;
- De gebouwhoogte;
- Het open of gesloten zijn van het gebouw;
- Plaats van het element in het gebouw (windzuiging).

Voor de windbelasting worden de volgende windgebieden onderscheiden:

- Gebied I: Markermeer, IJsselmeer, Waddenzee, Waddeneilanden en de provincie Noord-Holland ten noorden van de gemeenten Heemskerk, Uitgeest, Wormerland, Purmerend en Edam-Volendam;
- Gebied II: het resterende deel van de provincie Noord-Holland (waartoe ook Zaanstad behoort), het vasteland van de provincies Groningen en Friesland en de provincies Flevoland, Zuid-Holland en Zeeland;
- Gebied III: het resterende deel van Nederland.

De Wolfstraat ligt in Hulst, Zeeland. Het projectgebied ligt niet in een kustgebied, zoals volgt uit tabel NB.1 in NEN-EN 1991-1-4, art. 4.2. Dat betekent dat windgebied II (2) geldend is.

Voor de bepaling van de winddruk en windzuiging van de gevels en de windzuiging van het dak wordt gebruik gemaakt van de gegevens van SAB-profiel. “SAB-profiel is een onderdeel van Tata Steel en beschikt over een uitgebreid technisch handboek, waarin tabellen zijn te vinden waarin reeds de windvormfactoren zijn verwerkt voor externe winddruk en -zuiging en inpandige onder- en overdruk volgens norm NEN-EN 1991-1-4” (SAB-profiel bv - A Tata Steel Enterprise, 2015). Verder in deze bijlage zal worden gesproken in termen van windrichtingen noord, oost, zuid en west. Om duidelijk te hebben welke gevels noord, oost, zuid en west liggen kan onderstaande figuur 6 worden geraadpleegd.

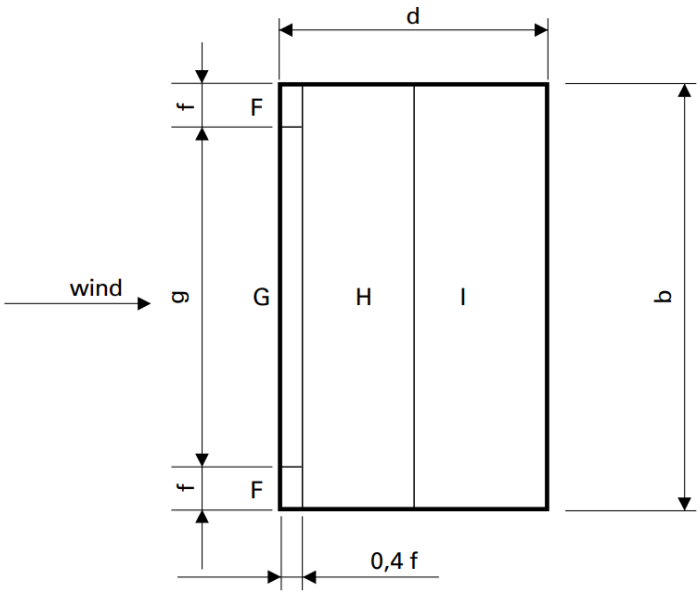


Figuur 6: 3D-model van de industriehal, waarin de benaming van de gevels is gekoppeld aan de windrichtingen. De noord- en zuidgevel een totale lengte hebben van 53,00 m en de oost- en westgevel een lengte van 50,00 m. Verder is ook te zien dat het dakafschot beperkt is, waardoor het dak als een platdak mag worden beschouwd. Het model is gemaakt met SketchUp 2017.

D.7.1 Optredende windzuiging platte daken

Allereerst is het een bewuste keuze om te beginnen met de bepaling van windbelastingen van de platte daken om daarna profielen te bepalen; de overspanning van de platte daken bepaald de afstand tussen de portalen, om de eenvoudige reden dat er geen opties zijn om de overspanning van de dakprofielen te reduceren. In de gevels kunnen hulpstalen worden toegepast. Dat zijn extra kolommen tussen de kolommen van de portalen, zodat de overspanning in de gevel wordt gehalveerd. Kortom, het dak kan een beperkende factor zijn en bepaald daarmee de werkvolgorde: [stap 1] SAB-profielen bepalen voor het dak, [stap 2] SAB-profielen bepalen voor de langsgevels en [stap 3] SAB-profielen bepalen voor de kopgevels.

Daken moeten worden getoetst op windzuiging. Volgens de norm NEN-EN 1991-1-4 moet er bij daken onderscheid gemaakt worden tussen daken met scherpe dakranden, met borstwering, met gekromde dakranden en met mansardedakranden. In het technisch handboek van SAB-profiel is de tabel met optredende windzuiging gebaseerd op het meest voorkomende daktype in Nederland; een plat dak met scherpe dakranden. De industriehal heeft echter borstwerkingen, dus zijn de versimpelde methode in het SAB-profiel handboek niet helemaal bedoelt voor deze toepassing. In overleg met de constructeur Sjaak Sturm is bepaald dat de effecten aan de randen het grootste zijn, maar beperkt vanwege de zeer smalle strook (zie windzones F en G in onderstaande figuur 7). In het midden van het dak zijn de verschillen in effecten verwaarloosbaar klein.



Figuur 7: Zones bij platte daken, zoals weergegeven in het technisch handboek van SAB-profiel (SAB-profiel bv - A Tata Steel Enterprise, 2015)

f = 6,00 m (wordt nader bepaal in Bijlage E.3 Wind op platte daken (gericht op kopgevels)
g = 38,00 m of g = 41,00 m
b = 53,00 m of b = 50,00 m
d = 50,00 m of d = 53,00 m

Voor de bepaling van de windzuiging van de afzonderlijke windzones bij de platte daken wordt gebruik gemaakt van onderstaande figuur 8.

Windbelastingstabel dak in kN/m²		Windgebied 1						Windgebied 2						Windgebied 3			
		Kust		Onbebouwd		Bebouwd		Kust		Onbebouwd		Bebouwd		Onbebouwd		Bebouwd	
h (m)	f (m)	H	I	H	I	H	I	H	I	H	I	H	I	H	I	H	I
2	1	-1,00	-0,44	-0,64	-0,28	-0,62	-0,28	-0,84	-0,37	-0,54	-0,24	-0,52	-0,23	-0,44	-0,20	-0,43	-0,19
5	2,5	-1,23	-0,55	-0,70	-0,31	-0,62	-0,28	-1,03	-0,46	-0,59	-0,26	-0,52	-0,23	-0,49	-0,22	-0,43	-0,19
6	3	-1,28	-0,57	-0,76	-0,34	-0,62	-0,28	-1,07	-0,48	-0,64	-0,28	-0,52	-0,23	-0,52	-0,23	-0,43	-0,19
7	3,5	-1,32	-0,59	-0,80	-0,36	-0,62	-0,28	-1,11	-0,49	-0,68	-0,30	-0,52	-0,23	-0,56	-0,25	-0,43	-0,19
8	4	-1,36	-0,60	-0,85	-0,38	-0,66	-0,29	-1,13	-0,50	-0,71	-0,32	-0,56	-0,25	-0,59	-0,26	-0,46	-0,20
9	4,5	-1,40	-0,62	-0,88	-0,39	-0,69	-0,31	-1,16	-0,52	-0,74	-0,33	-0,59	-0,26	-0,61	-0,27	-0,48	-0,21
10	5	-1,42	-0,63	-0,92	-0,41	-0,73	-0,32	-1,19	-0,53	-0,77	-0,34	0,61	-0,27	-0,63	-0,28	-0,50	-0,22
12	6	-1,47	-0,65	-0,97	-0,43	-0,77	-0,34	-1,23	-0,55	-0,81	-0,36	-0,66	-0,29	-0,67	-0,30	-0,54	-0,24
15	7,5	-1,54	-0,68	-1,04	-0,46	-0,86	-0,38	-1,29	-0,57	-0,88	-0,39	-0,72	-0,32	-0,72	-0,32	-0,59	-0,26
20	10	-1,62	-0,72	-1,14	-0,51	-0,96	-0,43	-1,36	-0,60	-0,96	-0,43	-0,81	-0,36	-0,79	-0,35	-0,67	-0,30
25	12,5	-1,69	-0,75	-1,22	-0,54	-1,04	-0,46	-1,41	-0,63	-1,03	-0,46	-0,87	-0,39	-0,85	-0,38	-0,72	-0,32
30	15	-1,75	-0,78	-1,29	-0,57	-1,11	-0,49	-1,47	-0,65	-1,08	-0,48	-0,93	-0,41	-0,89	-0,40	-0,77	-0,34

Figuur 8: Fragment uit het technisch handboek van SAB-profiel. In deze tabel zijn de optredende windzuigingen op daken af te lezen (SAB-profiel bv - A Tata Steel Enterprise, 2015). De bouwhoogte is 12,00 m en het betreft een onbebouwd gebied in windgebied 2.

De terreinomstandigheden zijn onbebouwd. Bij een gevelhoogte van 12,00 meter treedt een windzuiging op van -0,81 kN/m^2 in windzone H en -0,36 kN/m^2 in windzone I.

D.7.2 Bepalen profielen platte daken

Het is nu de vraag welke profielen moeten worden gebruikt voor het platte dak. Om overspanningen van 35,00 m mogelijk te maken bij een minimale vrije hoogte van 10,20 m en een maximale bouwhoogte van 12,00 m is het wijs om de hoogte van de dakprofielen zo beperkt mogelijk te houden. Het uiteindelijke SAB-profiel berust op een keuze. Anders dan de windbelasting bij de gevels, speelt de permanente belasting een bepalende rol voor daken. Om te bepalen welk profiel in het dak moet worden toegepast moet het eigengewicht van het dak worden bepaald.

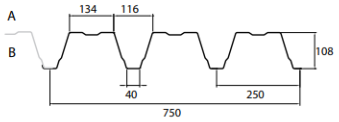
Het dak moet zonnepanelen dragen. Zonnepanelen worden volgens de norm gerekend tot variabele belastingen, dus een veiligheidsfactor van 1,50 geldt. Maar voor het gebruik van de tabel van SAB-profiel wordt dit voor het gemak aangenomen als een permanente belasting. De fundamentele belastingcombinaties ten behoeve van sterkte worden toegepast voor de volgende belastingen:

›	Buitenafwerking met bitumen	= 0,05	kN/m^2	· 1,20	= 0,060
›	Isolatielaag in plaatvorm	= 0,045	kN/m^2	· 1,20	= 0,054
›	Profielplaat dak	= 0,20	kN/m^2	· 1,20	= 0,24
›	Installaties, leidingen, e.d.	= 0,10	kN/m^2	· 1,20	= 0,12
›	Zonnepanelen	= 0,25 +	kN/m^2	· 1,50	= 0,38 +
	q_{kar}	= 0,65	kN/m^2	q_{Ed}	**= 0,85**

›	Buitenafwerking met bitumen	= 0,05	kN/m^2	· 1,35		= 0,068
›	Isolatielaag in plaatvorm	= 0,045	kN/m^2	· 1,35		= 0,061
›	Profielplaat dak	= 0,20	kN/m^2	· 1,35		= 0,27
›	Installaties, leidingen, e.d.	= 0,10	kN/m^2	· 1,35		= 0,14
›	Zonnepanelen	= 0,25 +	kN/m^2	· 1,50 ·	0,50	= 0,19 +
		q_{kar} = 0,65	kN/m^2		q_{Ed}	= 0,72

Op basis van dit gegeven en de overspanningen, zoals gegeven in de SAB-tabellen, wordt bepaald dat een SAB 106R+/750 in een dubbelveld wordt gebruikt voor daken bij een stramienafstand van 6,25 m met een plaatdikte van 1,25 mm. Voor dit profiel geldt een maximale permanente belasting van 1,07 kN/m^2 (zoals te zien in onderstaande figuur 9), dat ik meer dan de beoogde 0,85 kN/m^2, dus het profiel voldoet. Voor de optimalisatie wordt de berekening herhaalt met het juiste gewicht.

SAB 106R+/750
Gevolgklasse CC2
Maximale **permanente belasting** in kN/m²
bij 0,56 kN/m² sneeuw of 1,00 kN/m² over 10 m²
Doorbuiging L/250 - Oplegging 120 mm



Aantal velden	Dikte (mm)	Gewicht (kg/m²)	Overspanning in m¹																		
			3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75
▲ ▲	0,75	9,81	3,84	2,78	2,01	1,44	1,00	0,66	0,39	0,18	0,01											
	0,88	11,51	4,69	3,45	2,54	1,87	1,35	0,96	0,64	0,39	0,19	0,03										
	1,00	13,08	5,49	4,07	3,04	2,27	1,68	1,23	0,87	0,59	0,36	0,17	0,01									
	1,13	14,78	6,17	4,60	3,46	2,61	1,96	1,46	1,07	0,75	0,50	0,29	0,12									
	1,25	16,35	6,95	5,22	3,95	3,01	2,29	1,73	1,29	0,94	0,66	0,43	0,24	0,09								
	1,50	19,63	8,59	6,50	4,97	3,83	2,96	2,29	1,77	1,35	1,01	0,73	0,50	0,31	0,15	0,02						
▲ ▲ ▲	0,75	9,81	3,26	2,72	2,28	1,90	1,59	1,32	1,08	0,88	0,71	0,55	0,41	0,29	0,18	0,08						
	0,88	11,51	4,89	4,14	3,53	3,01	2,58	2,20	1,88	1,61	1,37	1,15	0,97	0,80	0,65	0,48	0,31	0,17	0,04			
	1,00	13,08	6,36	5,42	4,65	4,00	3,46	3,00	2,60	2,26	1,96	1,70	1,47	1,17	0,91	0,69	0,50	0,34	0,19	0,04		
	1,13	14,78	7,96	6,82	5,87	5,09	4,43	3,86	3,38	2,97	2,60	2,15	1,74	1,40	1,11	0,86	0,65	0,48	0,31	0,16	0,01	
	1,25	16,35	9,35	8,02	6,93	6,03	5,27	4,62	4,07	3,59	3,06	2,50	2,04	1,66	1,34	1,07	0,84	0,64	0,46	0,29	0,13	
	1,50	19,63	11,54	9,94	8,63	7,53	6,61	5,83	5,16	4,59	3,89	3,22	2,67	2,21	1,82	1,49	1,21	0,98	0,76	0,56	0,37	0,20

Figuur 9: Fragment uit het technisch handboek van SAB-profiel. In deze tabel zijn de maximale permanente belastingen op daken af te lezen (SAB-profiel bv - A Tata Steel Enterprise, 2015).

In deze tabel zijn een oplegbreedte van 120 mm en een doorbuiging van L/250 als uitgangspunt genomen bij de bepaling van de informatie in de tabel. Dat wil zeggen dat kolommen waaraan het binnendoossysteem wordt bevestigd een breedte hebben van minimaal 120 mm. Bij grotere breedtes levert dit geen problemen op, omdat dit een gunstigere situatie betreft. De doorbuiging hangt af van de lengte van de overspanning en mag niet meer zijn dan L/250.

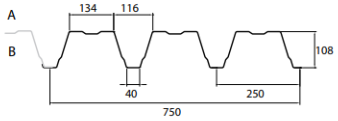
›	Buitenafwerking met bitumen	= 0,05	kN/m^2	· 1,20		= 0,060
›	Isolatielaag in plaatvorm	= 0,045	kN/m^2	· 1,20		= 0,054
›	Profielplaat dak	= 0,16	kN/m^2	· 1,20		= 0,20
›	Installaties, leidingen, e.d.	= 0,10	kN/m^2	· 1,20		= 0,12
›	Zonnepanelen	= 0,25 +	kN/m^2	· 1,50		= 0,38 +
		q_{kar} = 0,61	kN/m^2		**q_{Ed}**	**= 0,81**

›	Buitenafwerking met bitumen	= 0,05	kN/m²	· 1,35		= 0,068
›	Isolatielaag in plaatvorm	= 0,045	kN/m²	· 1,35		= 0,061
›	Profielplaat dak	= 0,16	kN/m²	· 1,35		= 0,22
›	Installaties, leidingen, e.d.	= 0,10	kN/m²	· 1,35		= 0,14
›	Zonnepanelen	= 0,25 +	kN/m²	· 1,50 ·	0,50	= 0,19 +
		q_{kar} = 0,61	kN/m²		q_{Ed}	= 0,67

De totale belasting van het dak inclusief het gewicht van de dakplaat is 0,81 kN/m². Een SAB 106R+/750 in een dubbelveld met een plaatdikte van 1,25 mm kan een maximale permanente belasting dragen van 1,07 kN/m², dus de gekozen profielplaat voor het dak voldoet op dit punt. Theoretisch gezien zou een SAB 106R+/750 in een dubbelveld met een plaatdikte van 1,13 mm ook kunnen, maar de veiligheidsmarge wordt daardoor erg klein. Om die reden wordt de berekening niet herhaalt voor deze plaatdikte.

Eerder is de windzuiging op het dak bepaald. Ook op dit punt moet worden gecontroleerd dat het profiel sterk genoeg is. Een SAB 106R+/750 in een dubbelveld met een plaatdikte van 1,25 mm kan maximaal -1,32 kN/m² windzuiging opvangen, dus voor een optredende windbelasting in windzone H van -0,81 kN/m² voldoet het gekozen profiel ruim. Dit is te zien in onderstaande figuur 10.

SAB 106R+/750
Gevolgklasse CC2
Maximale **windzuiging** in kN/m²
Bevestiging in ieder dal



Aantal velden	Dikte (mm)	Gewicht (kg/m²)	Overspanning in m¹																			
			3,00	3,25	3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75
▲▲	0,75	9,81	-4,56	-3,88	-3,35	-2,92	-2,56	-2,27	-2,03	-1,82	-1,64	-1,49	-1,36	-1,24	-1,14	-1,05	-0,97	-0,90	-0,84	-0,78	-0,73	-0,68
	0,88	11,51	-5,67	-4,83	-4,17	-3,63	-3,19	-2,83	-2,52	-2,26	-2,04	-1,85	-1,69	-1,54	-1,42	-1,31	-1,21	-1,12	-1,04	-0,97	-0,91	-0,85
	1,00	13,08	-6,67	-5,68	-4,90	-4,27	-3,75	-3,32	-2,96	-2,66	-2,40	-2,18	-1,98	-1,82	-1,67	-1,54	-1,42	-1,32	-1,23	-1,14	-1,07	-1,00
	1,13	14,78	-7,77	-6,62	-5,71	-4,97	-4,37	-3,87	-3,45	-3,10	-2,80	-2,54	-2,31	-2,12	-1,94	-1,79	-1,66	-1,54	-1,43	-1,33	-1,24	-1,16
	1,25	16,35	-8,73	-7,44	-6,42	-5,59	-4,91	-4,35	-3,88	-3,48	-3,14	-2,85	-2,60	-2,38	-2,18	-2,01	-1,86	-1,73	-1,60	-1,50	-1,40	-1,31
	1,50	19,63	-10,53	-8,97	-7,74	-6,74	-5,92	-5,25	-4,68	-4,20	-3,79	-3,44	-3,13	-2,87	-2,63	-2,43	-2,24	-2,08	-1,93	-1,80	-1,68	-1,58
▲▲▲	0,75	9,81	-2,85	-2,43	-2,10	-1,83	-1,60	-1,42	-1,27	-1,14	-1,03	-0,93	-0,85	-0,78	-0,71	-0,66	-0,61	-0,56	-0,52	-0,49	-0,46	-0,43
	0,88	11,51	-3,62	-3,09	-2,66	-2,32	-2,04	-1,81	-1,61	-1,45	-1,30	-1,18	-1,08	-0,99	-0,91	-0,84	-0,77	-0,72	-0,67	-0,62	-0,58	-0,54
	1,00	13,08	-4,32	-3,68	-3,17	-2,76	-2,43	-2,15	-1,92	-1,72	-1,56	-1,41	-1,29	-1,18	-1,08	-1,00	-0,92	-0,85	-0,79	-0,74	-0,69	-0,65
	1,13	14,78	-5,06	-4,31	-3,72	-3,24	-2,85	-2,52	-2,25	-2,02	-1,82	-1,65	-1,51	-1,38	-1,27	-1,17	-1,08	-1,00	-0,93	-0,87	-0,81	-0,76
	1,25	16,35	-5,72	-4,87	-4,20	-3,66	-3,22	-2,85	-2,54	-2,28	-2,06	-1,87	-1,70	-1,56	-1,43	-1,32	-1,22	-1,13	-1,05	-0,98	-0,91	-0,86
	1,50	19,63	-7,03	-5,99	-5,17	-4,50	-3,96	-3,50	-3,13	-2,81	-2,53	-2,30	-2,09	-1,91	-1,76	-1,62	-1,50	-1,39	-1,29	-1,20	-1,13	-1,05

Figuur 10: Fragment uit het technisch handboek van SAB-profiel. In deze tabel zijn de maximale windzuigingen op daken af te lezen (SAB-profiel bv - A Tata Steel Enterprise, 2015).

Tabel 2: Overzicht van overspanningen, bijbehorende plaatdiktes, optredende winddruk, maximale winddruk, optredende winddruk en maximale windzuiging. Dit is de enige dakplaat die wordt toegepast en is daarom maatgevend.

Overspanning in m	**Plaatdikte in mm**	**Permanente belasting in kN/m²**	**Maximale perm. bel. kN/m²**	**Optredende windzuiging kN/m²**	**Maximale windzuiging kN/m²**
6,25	1,25	0,81	1,07	-0,81	-1,32

D.7.3 Optredende winddruk gevel

Voor de bepaling van de winddruk wordt gebruik gemaakt van onderstaande figuur 11.

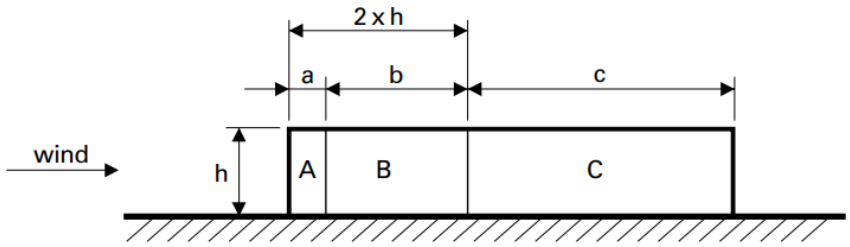
Windbelastingstabel gevel in kN/m² Gebouwhoogte h (m)	Windgebied 1			Windgebied 2			Windgebied 3	
	Kust	Onbebouwd	Bebouwd	Kust	Onbebouwd	Bebouwd	Onbebouwd	Bebouwd
2	1,22	0,78	0,76	1,02	0,66	0,64	0,54	0,53
5	1,51	0,86	0,76	1,25	0,73	0,64	0,59	0,53
6	1,56	0,92	0,76	1,31	0,78	0,64	0,64	0,53
7	1,62	0,98	0,76	1,35	0,83	0,64	0,68	0,53
8	1,66	1,03	0,80	1,39	0,87	0,68	0,72	0,56
9	1,71	1,08	0,85	1,42	0,90	0,72	0,75	0,58
10	1,74	1,12	0,89	1,45	0,94	0,75	0,77	0,62
12	1,80	1,18	0,96	1,50	0,99	0,80	0,81	0,66
15	1,88	1,28	1,06	1,57	1,08	0,88	0,88	0,73
20	1,98	1,40	1,11	1,66	1,18	0,99	0,97	0,81
25	2,07	1,50	1,28	1,73	1,25	1,07	1,03	0,88
30	2,13	1,57	1,35	1,79	1,32	1,13	1,09	0,94

Figuur 11: Fragment uit het technisch handboek van SAB-profiel. In deze tabel zijn de optredende winddrukken op gevels af te lezen (SAB-profiel bv - A Tata Steel Enterprise, 2015).

De terreinomstandigheden zijn onbebouwd. Bij een gevelhoogte van 12,00 meter treedt een maximale winddruk op van 0,99 kN/m^2. De eis is dat het binnendoossysteem in de gevels minimaal voldoet aan deze winddruk.

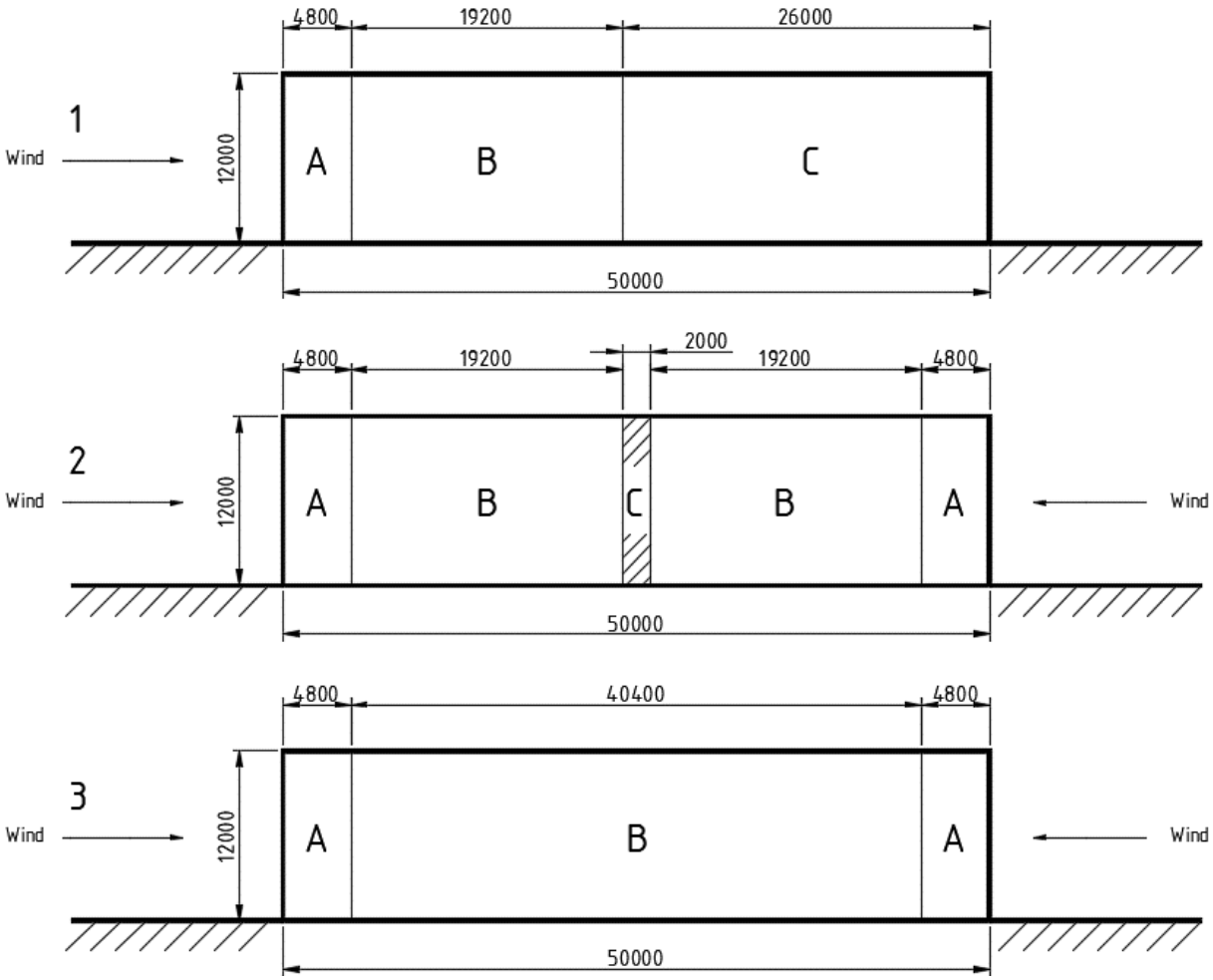
D.7.4 Optredende windzuiging gevels

Gevels moeten ook worden getoetst op windzuiging. Volgens de norm NEN-EN 1991-1-4 moeten gevels worden ingedeeld in verschillende zones, zoals te zien in onderstaande figuur 12.

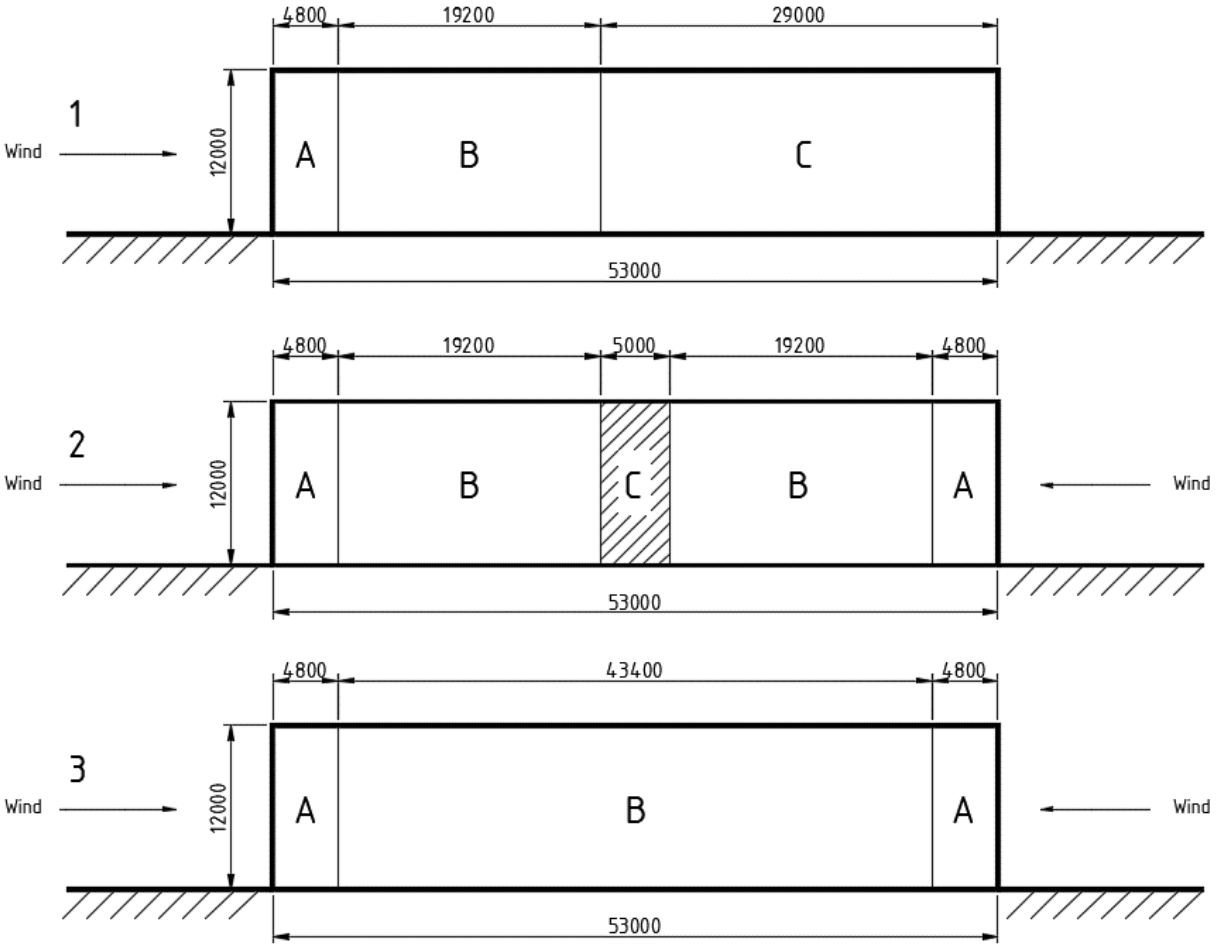


Figuur 12: Zones bij verticale gevels, zoals weergegeven in het technisch handboek van SAB-profiel (SAB-profiel bv - A Tata Steel Enterprise, 2015).

Met h = 12,00 m, a = 4,80 m, b = 19,20 m en c = 26,00 m (oost- en westgevel) of c = 29,00 m (noord- en zuidgevel). In onderstaande figuren 13 en 14 is een aangepaste versie te zien van bovenstaande figuur 12. De wind kan uit alle windrichtingen komen, dus aan beide zijden van elke gevel kan een windzone A en B voorkomen. Windzone C wordt daardoor verwaarloosbaar klein en kan ook worden aangenomen als windzone B. Dit is te zien in drie stappen in onderstaande figuur 13 voor wind uit noordelijke en zuidelijk richting. In onderstaande figuur 14 is hetzelfde gedaan voor wind uit oostelijke en westelijke richting.



Figuur 13: Afmetingen van de windzones in afbeelding 1. In afbeelding 2 is te zien hoe de windzones eruit zien als wind uit noordelijke en zuidelijke richting kan komen. In afbeelding 3 is ervoor gekozen om windzone C weg te laten. Dit is de situatie die wordt gebruikt bij de bepaling van de systeemprofielen. De tekeningen zijn gemaakt met AutoCAD 2022.



Figuur 14: Afmetingen van de windzones in afbeelding 1. In afbeelding 2 is te zien hoe de windzones eruit zien als wind uit oostelijke en westelijke richting kan komen. In afbeelding 3 is ervoor gekozen om windzone C weg te laten. Dit is de situatie die wordt gebruikt bij de bepaling van de systeemprofielen. De tekeningen zijn gemaakt met AutoCAD 2022.

Voor de bepaling van de windzuiging wordt gebruik gemaakt van onderstaande figuur 15. De terreinomstandigheden zijn onbebouwd. Bij een gevelhoogte van 12,00 meter treedt een windzuiging op van -1,26 kN/m^2 in windzone A en -0,90 kN/m^2 in windzone B. Voor windzone C mag de waarde van windzone B worden gereduceerd met factor 0,70, dus de windzuiging in windzone C mag de volgende waarde worden aangenomen: $0{,}70 \cdot -0{,}90 = -0{,}63\ kN/m^2$. Echter is windzone C komen te vervallen in de vereenvoudiging. De eis is dat het binnendoossysteem in de gevels minimaal voldoet aan deze windzuigingen.

Windbelastingstabel gevel in kN/m²			Windgebied 1						Windgebied 2						Windgebied 3			
			Kust		Onbebouwd		Bebouwd		Kust		Onbebouwd		Bebouwd		Onbebouwd		Bebouwd	
h (m)	a (m)	b (m)	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B	A	B
2	0,8	3,2	-1,55	-1,11	-0,99	-0,71	-0,97	-0,69	-1,30	-0,93	-0,84	-0,60	-0,81	-0,58	-0,69	-0,49	-0,67	-0,48
5	2	8	-1,92	-1,37	-1,09	-0,78	-0,97	-0,69	-1,60	-1,14	-0,92	-0,66	-0,81	-0,58	-0,76	-0,54	-0,67	-0,48
6	2,4	9,6	-1,99	-1,42	-1,18	-0,84	-0,97	-0,69	-1,67	-1,19	-0,99	-0,71	-0,81	-0,58	-0,81	-0,58	-0,67	-0,48
7	2,8	11,2	-2,06	-1,47	-1,25	-0,89	-0,97	-0,69	-1,72	-1,23	-1,05	-0,75	-0,81	-0,58	-0,87	-0,62	-0,67	-0,48
8	3,2	12,8	-2,11	-1,51	-1,32	-0,94	-1,02	-0,73	-1,76	-1,26	-1,11	-0,79	-0,87	-0,62	-0,91	-0,65	-0,71	-0,51
9	3,6	14,4	-2,17	-1,55	-1,37	-0,98	-1,08	-0,77	-1,81	-1,29	-1,15	-0,82	-0,91	-0,65	-0,95	-0,68	-0,74	-0,53
10	4	16	-2,21	-1,58	-1,43	-1,02	-1,13	-0,81	-1,85	-1,32	-1,19	-0,85	-0,95	-0,68	-0,98	-0,70	-0,78	-0,56
12	4,8	19,2	-2,28	-1,63	-1,51	-1,08	-1,19	-0,85	-1,91	-1,36	-1,26	-0,90	-1,02	-0,73	-1,04	-0,74	-0,84	-0,60
15	6	24	-2,39	-1,71	-1,62	-1,16	-1,34	-0,96	-2,00	-1,43	-1,37	-0,98	-1,12	-0,80	-1,12	-0,80	-0,92	-0,66
20	8	32	-2,52	-1,80	-1,78	-1,27	-1,50	-1,07	-2,11	-1,51	-1,50	-1,07	-1,26	-0,90	-1,23	-0,88	-1,04	-0,74
25	10	40	-2,63	-1,88	-1,90	-1,36	-1,62	-1,16	-2,20	-1,57	-1,60	-1,14	-1,36	-0,97	-1,32	-0,94	-1,12	-0,80
30	12	48	-2,72	-1,94	-2,00	-1,43	-1,72	-1,23	-2,28	-1,63	-1,68	-1,20	-1,44	-1,03	-1,39	-0,99	-1,19	-0,85

Figuur 15: Fragment uit het technisch handboek van SAB-profiel. In deze tabel zijn de optredende windzuigingen op gevels af te lezen. Voor windzone C mag de waarde van windzone B worden gereduceerd met factor 0,70 (SAB-profiel bv - A Tata Steel Enterprise, 2015).

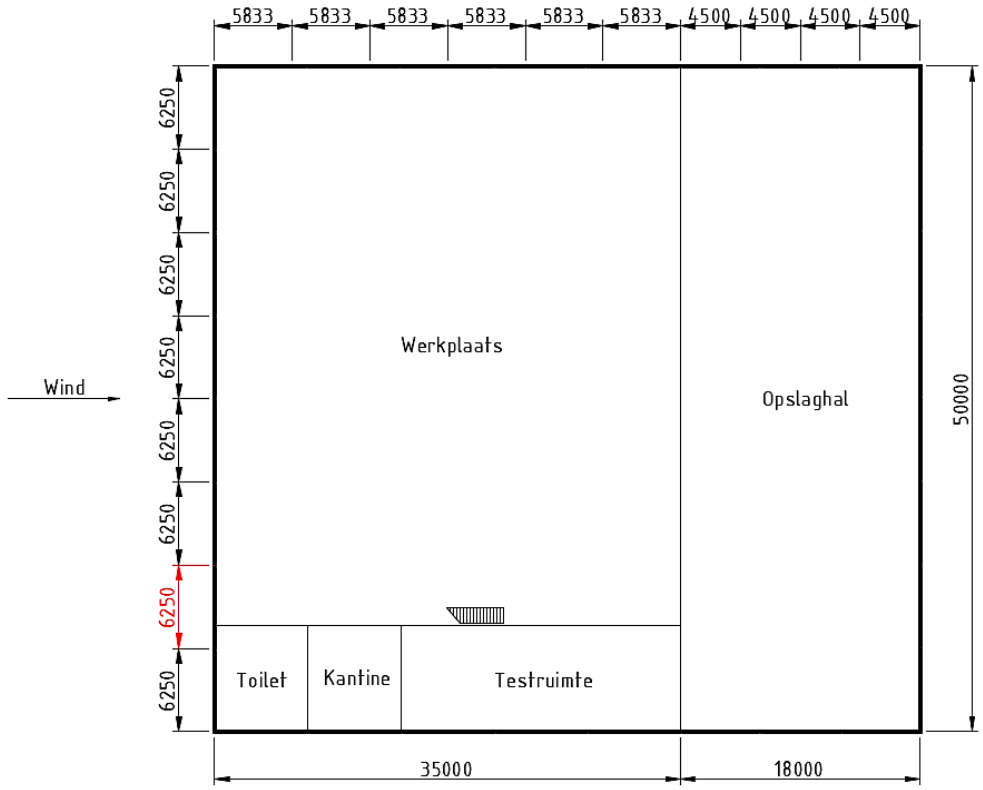
D.7.5 Bepalen profielen verticale gevels

In *Bijlage D.6 Dikte van de isolatie* is bepaald dat in de gevels isolatie zal worden toegepast met een dikte van 200 mm. *Saint-Gobain ISOVER* creëert efficiënte thermische en akoestische isolatieoplossingen om energie-efficiënte constructies te ontwerpen, om gebruikers veiligheid en comfort te bieden en om het milieu te helpen beschermen. Speciaal voor hoge isolatie-eisen is de *Isover Cladipan 31* ontwikkeld, een zeer stevige glaswolplaat voor metalen gevels met binnendozen van loodsen, hallen en bedrijfspanden. In onderstaande tabel 3 is technische informatie te vinden met betrekking tot de Isover Cladipan 31. Hieruit blijkt dat een binnendoossysteem van SAB B140/600 moet worden toegepast bij deze isolatiedikte.

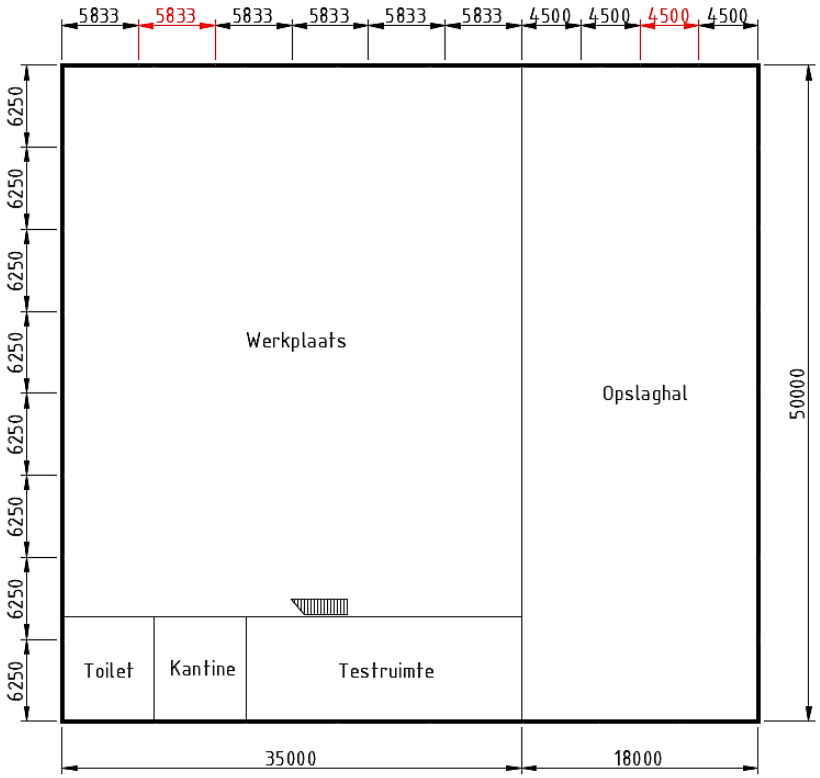
Tabel 3: Afmetingen Isover Cladipan 31 (Isover, z.d.-a).

Dikte in mm	Breedte in mm	Lengte in mm	Afstand zaag-snede in mm	Binnendoossysteem	M2 per collo
200	605	1500	60	140/600	1,815

Zoals uit het basisontwerp blijkt, heeft de industriehal twee verschillende gevels; twee gevels waarbij de kolommen van de portalen 6,25 m uit elkaar staan (oost- en westgevel) en twee gevels waarbij de hulpstalen van de kopgevels 4,50 m en 5,83 m uit elkaar staan (noord- en zuidgevel). Dit is te zien in onderstaande figuren 16 en 17. Gezien het feit dat de overspanning bepaald welke plaatdikte moet worden toegepast, betekent dus dat in deze bijlage de plaatdikte voor deze drie overspanningen zal worden bepaald. Daarbij wordt de plaatdikte bepaald voor zowel winddruk als windzuiging. In het dak worden alleen overspanningen van 6,25 m gemaakt, dus alleen voor die overspanning wordt het profiel en de dikte van warmdakplaat bepaald met inachtneming van de effecten van windzuiging.



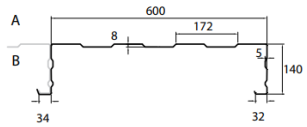
Figuur 16: Wind kan uit verschillende richtingen tegen de gevels worden geblazen. In deze situatie komt de wind uit het noorden, waarbij wind uit het zuiden hetzelfde effect heeft. In het rood zijn de overspanningen aangegeven die voor deze situatie moet worden aangenomen. De tekening is gemaakt met AutoCAD 2022.



Figuur 17: Wind kan uit verschillende richtingen tegen de gevels worden geblazen. In deze situatie komt de wind uit het oosten, waarbij wind uit het westen hetzelfde effect heeft. In het rood is de overspanning aangegeven die voor deze situatie moet worden aangenomen. De tekening is gemaakt met AutoCAD 2022.

Voor de bepaling van de van de profielen van de verticale gevels op basis van winddruk wordt gebruik gemaakt van onderstaande figuur 18.

SAB B140/600
Gevolgklasse CC2
Maximale **winddruk** in kN/m²
Doorbuiging L/150
Oplegging 160 mm



Aantal velden	Dikte (mm)	Gewicht (kg/m²)	Overspanning in m¹																				
			3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,25	8,50
▲ ▲	0,75	9,71	2,38	2,22	1,97	1,74	1,55	1,39	1,26	1,14	1,04	0,95	0,87	0,80	0,74	0,69	0,64	0,59	0,55	0,52	0,49	0,46	0,43
	0,88	11,40	3,34	2,91	2,55	2,26	2,01	1,80	1,63	1,47	1,34	1,23	1,13	1,04	0,96	0,89	0,83	0,77	0,72	0,67	0,63	0,59	0,55
	1,00	12,95	4,04	3,51	3,08	2,73	2,43	2,18	1,97	1,78	1,62	1,48	1,36	1,25	1,16	1,07	1,00	0,93	0,86	0,78	0,71	0,64	0,59
	1,13	14,64	4,59	3,99	3,50	3,10	2,76	2,48	2,23	2,02	1,84	1,68	1,55	1,42	1,32	1,22	1,13	1,06	0,98	0,88	0,80	0,73	0,67
	1,25	16,19	5,10	4,43	3,89	3,44	3,07	2,75	2,48	2,25	2,05	1,87	1,72	1,58	1,46	1,36	1,26	1,17	1,08	0,98	0,89	0,81	0,74
	1,50	19,43	6,15	5,35	4,69	4,15	3,70	3,32	2,99	2,71	2,47	2,26	2,07	1,91	1,76	1,63	1,52	1,42	1,31	1,18	1,08	0,98	0,90
▲ ▲ ▲	0,75	9,71	2,16	1,96	1,79	1,64	1,51	1,39	1,29	1,20	1,12	1,02	0,94	0,86	0,80	0,74	0,69	0,64	0,60	0,56	0,53	0,49	0,47
	0,88	11,40	3,00	2,70	2,44	2,22	2,03	1,87	1,72	1,59	1,46	1,34	1,23	1,13	1,04	0,97	0,90	0,84	0,78	0,73	0,69	0,65	0,61
	1,00	12,95	3,69	3,31	2,99	2,71	2,47	2,26	2,08	1,91	1,77	1,63	1,49	1,37	1,27	1,18	1,10	1,02	0,95	0,89	0,84	0,79	0,74
	1,13	14,64	4,19	3,76	3,39	3,07	2,80	2,56	2,36	2,17	2,01	1,85	1,69	1,56	1,44	1,34	1,24	1,16	1,08	1,01	0,95	0,89	0,84
	1,25	16,19	4,65	4,17	3,76	3,41	3,11	2,85	2,62	2,41	2,23	2,05	1,88	1,73	1,60	1,49	1,38	1,29	1,20	1,13	1,06	0,99	0,94
	1,50	19,43	5,61	5,03	4,54	4,12	3,75	3,43	3,16	2,91	2,69	2,47	2,27	2,09	1,93	1,79	1,67	1,55	1,45	1,36	1,28	1,20	1,13

Figuur 18: Fragment uit het technisch handboek van SAB-profiel. In deze tabel zijn overspanningen bij verschillende velden af te lezen. Aan de hand van de berekende winddruk kan de overspanning van het profiel worden bepaald (SAB-profiel bv - A Tata Steel Enterprise, 2015).

Langs alle gevels in het basisontwerp zijn er in totaal dus drie verschillende overspanningen; 6,25 m, 5,83 m en 4,50 m. Bij een winddruk van 0,99 kN/m^2 in een situatie met enkelvelden is een overspanning van 6,25 m mogelijk met een SAB B140/600 binnendoossysteem met een plaatdikte van 0,88 mm. Echter is de veiligheidsmarge beperkt (belasting/weerstand-verhouding van 0,95), dus is het verstandiger om een plaatdikte aan te houden van 1,00 mm (met een belasting/weerstand-verhouding van 0,79). Voor dubbelvelden mag voor eenzelfde overspanning van 6,25 m een plaatdikte van 1,00 mm worden toegepast.

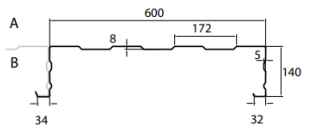
Bij een winddruk van 0,99 kN/m^2 in een situatie met enkelvelden is een overspanning van 5,83 m mogelijk met een SAB B140/600 binnendoossysteem met een plaatdikte van 0,88 mm. Echter is de veiligheidsmarge beperkt (belasting/weerstand-verhouding van 0,88), dus is het verstandiger om een plaatdikte aan te houden van 1,00 mm (met een belasting/weerstand-verhouding van 0,73). Voor dubbelvelden mag voor eenzelfde overspanning van 5,83 m een plaatdikte van 0,88 mm worden toegepast.

Bij een winddruk van 0,99 kN/m^2 in een situatie met enkelvelden is een overspanning van 4,50 m mogelijk met een SAB B140/600 binnendoossysteem met een plaatdikte van 0,75 mm. Voor dubbelvelden mag voor eenzelfde overspanning van 4,50 m eveneens een plaatdikte van 0,75 mm worden toegepast.

In deze tabel is een oplegbreedte van 160 mm als uitgangspunt genomen bij de bepaling van de informatie in de tabel. Dat wil zeggen dat kolommen waaraan het binnendoossysteem wordt bevestigd een breedte hebben van minimaal 160 mm. Bij grotere breedtes levert dit geen problemen op, omdat dit

een gunstigere situatie betreft. We nemen aan dat het geval van de industriehal een gunstige situatie is.

SAB B140/600
Gevolgklasse CC2
Maximale **windzuiging** in kN/m²



Aantal velden	Dikte (mm)	Gewicht (kg/m²)	Overspanning in m¹																			
			3,50	3,75	4,00	4,25	4,50	4,75	5,00	5,25	5,50	5,75	6,00	6,25	6,50	6,75	7,00	7,25	7,50	7,75	8,00	8,25	8,50
▲ ▲	0,75	9,71	-1,92	-1,80	-1,68	-1,58	-1,50	-1,42	-1,35	-1,23	-1,12	-1,02	-0,94	-0,87	-0,80	-0,74	-0,69	-0,64	-0,60	-0,56	-0,53	-0,50	-0,47
	0,88	11,40	-2,91	-2,71	-2,54	-2,39	-2,19	-1,96	-1,77	-1,61	-1,46	-1,34	-1,23	-1,13	-1,05	-0,97	-0,90	-0,84	-0,79	-0,74	-0,69	-0,65	-0,61
	1,00	12,95	-3,81	-3,56	-3,34	-2,99	-2,67	-2,39	-2,16	-1,96	-1,78	-1,63	-1,50	-1,38	-1,28	-1,18	-1,10	-1,03	-0,96	-0,90	-0,84	-0,79	-0,75
	1,13	14,64	-4,33	-4,04	-3,79	-3,39	-3,03	-2,72	-2,45	-2,22	-2,03	-1,85	-1,70	-1,57	-1,45	-1,34	-1,25	-1,17	-1,09	-1,02	-0,96	-0,90	-0,85
	1,25	16,19	-4,81	-4,49	-4,21	-3,76	-3,36	-3,01	-2,72	-2,47	-2,25	-2,06	-1,89	-1,74	-1,61	-1,49	-1,39	-1,29	-1,21	-1,13	-1,06	-1,00	-0,94
	1,50	19,43	-5,80	-5,41	-5,07	-4,54	-4,05	-3,64	-3,28	-2,98	-2,71	-2,48	-2,28	-2,10	-1,94	-1,80	-1,68	-1,56	-1,46	-1,37	-1,28	-1,21	-1,14
▲ ▲ ▲	0,75	9,71	-2,30	-2,05	-1,84	-1,66	-1,50	-1,34	-1,21	-1,10	-1,00	-0,92	-0,84	-0,78	-0,72	-0,66	-0,62	-0,58	-0,54	-0,50	-0,47	-0,45	-0,42
	0,88	11,40	-2,95	-2,65	-2,40	-2,18	-1,99	-1,80	-1,63	-1,48	-1,35	-1,23	-1,13	-1,04	-0,96	-0,89	-0,83	-0,77	-0,72	-0,68	-0,64	-0,60	-0,56
	1,00	12,95	-3,26	-2,95	-2,69	-2,46	-2,26	-2,08	-1,93	-1,79	-1,66	-1,52	-1,40	-1,29	-1,19	-1,11	-1,03	-0,96	-0,90	-0,84	-0,79	-0,74	-0,70
	1,13	14,64	-3,70	-3,35	-3,05	-2,79	-2,57	-2,37	-2,19	-2,03	-1,89	-1,73	-1,59	-1,46	-1,35	-1,25	-1,17	-1,09	-1,02	-0,95	-0,89	-0,84	-0,79
	1,25	16,19	-4,11	-3,72	-3,39	-3,10	-2,85	-2,63	-2,43	-2,26	-2,10	-1,92	-1,76	-1,62	-1,50	-1,39	-1,30	-1,21	-1,13	-1,06	-0,99	-0,93	-0,88
	1,50	19,43	-4,96	-4,49	-4,09	-3,74	-3,44	-3,17	-2,93	-2,72	-2,53	-2,32	-2,13	-1,96	-1,81	-1,68	-1,56	-1,46	-1,36	-1,28	-1,20	-1,13	-1,06

Figuur 19: Fragment uit het technisch handboek van SAB-profiel. In deze tabel zijn overspanningen bij verschillende velden af te lezen voor windzuiging. Aan de hand van de berekende windzuiging kan de overspanning van het profiel worden bepaald (SAB-profiel bv - A Tata Steel Enterprise, 2015).

Bij een windzuiging van -1,26 kN/m^2 in windzone A in een situatie met een enkelveld is een overspanning van 6,25 m mogelijk met een SAB B140/600 binnendoossysteem met een plaatdikte van 1,00 mm. Echter is de veiligheidsmarge beperkt (belasting/weerstand-verhouding van 0,91), dus is het verstandiger om een plaatdikte aan te houden van 1,13 mm (met een belasting/weerstand-verhouding van 0,80).

In windzone B treedt een windzuiging op van -0,90 kN/m^2. In een enkelveld met een overspanning van 6,25 m wordt volstaan met een plaatdikte van 0,88 mm. In een dubbelveld met een overspanning van 6,25 m wordt volstaan met een plaatdikte van 1,00 mm.

Bij een windzuiging van -1,26 kN/m^2 in windzone A in een situatie met een enkelveld is een overspanning van 5,83 m mogelijk met een SAB B140/600 binnendoossysteem met een plaatdikte van minimaal 1,00 mm.

In windzone B treedt een windzuiging op van -0,90 kN/m^2. In een enkelveld met een overspanning van 5,83 m wordt volstaan met een plaatdikte van 0,75 mm. Echter is de veiligheidsmarge beperkt (belasting/weerstand-verhouding van 0,96), dus is het verstandiger om een plaatdikte aan te houden van 0,88 mm (met een belasting/weerstand-verhouding van 0,73). In een dubbelveld met een overspanning van 5,83 m wordt volstaan met een plaatdikte van 0,88 mm.

Bij een windzuiging van -1,26 kN/m^2 in windzone A in een situatie met een enkelveld is een overspanning van 4,50 m mogelijk met een SAB B140/600 binnendoossysteem met een plaatdikte van minimaal 0,75 mm.

In windzone B treedt een windzuiging op van -0,90 kN/m^2. In een enkelveld met een overspanning van 4,50 m wordt volstaan met een plaatdikte van 0,75 mm. In een dubbelveld met een overspanning van 4,50 m wordt volstaan met een plaatdikte van 0,75 mm.

In onderstaande tabel 4 is een overzicht te zien van alle maatgevende plaatdiktes met de bijbehorende overspanningen. De enkelvelden worden gebruikt in de hoeken van de industriehal. Windzone A is hier van kracht en vraagt bij overspanningen van 6,25 m en 5,83 m voor grotere plaatdiktes. De dubbelvelden worden gebruikt voor de overige delen van de industriehal.

Tabel 4: Overzicht van overspanningen, bijbehorende plaatdiktes, optredende winddruk, maximale winddruk, optredende winddruk en maximale windzuiging. De maatgevende binnendoossystemen die worden toegepast in de industriehal zijn in blauw gearceerd.

Overspanning in m	**Plaatdikte in mm**	**Gewicht in kg/m^2**	**Optredende winddruk in kN/m^2**	**Maximale winddruk in kN/m^2**	**Optredende windzuiging in kN/m^2**	**Maximale windzuiging in kN/m^2**
6,25 (enkel)	0,88	11,40	-	-	-0,90	-1,13
6,25 (enkel)	1,00	12,95	0,99	1,25	-	-
6,25 (enkel)	1,13	14,64	-	-	-1,26	-1,57
6,25 (dubbel)	1,00	12,95	0,99	1,37	-0,90	-1,29
5,83 (enkel)	0,88	11,40	-	-	-0,90	-1,23
5,83 (enkel)	1,00	12,95	0,99	1,36	-1,26	-1,50
5,83 (dubbel)	0,88	11,40	0,99	1,23	-0,90	-1,13
4,50 (enkel)	0,75	9,71	-	-	-0,90	-1,50
4,50 (enkel)	0,75	9,71	0,99	1,55	-1,26	-1,50
4,50 (dubbel)	0,75	9,71	0,99	1,51	-0,90	-1,50

De variatie in profielen maakt het bepalen van permanente lasten niet makkelijk. Voor de eenvoud van de berekening wordt daarom overal gerekend met 14,64 kg/m^2, omdat dit gewicht maatgevend is. Aan de buitenzijde worden SAB 45KD/1000 profielen verticaal toegepast. Omdat het hier slechts om esthetiek gaat wordt de kleinste plaatdikte gebruikt van 0,63 mm, waardoor het gewicht van deze plaat wordt geminimaliseerd tot slechts 6,18 kg/m^2. Met deze geprofileerde gevelplaat kunnen diverse lengtes gemaakt worden variërend van 1,00 m tot 5,75 m.

Uit deze korte analyse is gebleken dat een industriehal met het stramienenplan van het basisontwerp met overspanningen in de daken en de gevels van 6,25 m, 5,83 m en 4,50 m te maken valt. De bepalingen in dit hoofdstuk, de uitvoering en de gewichten, kunnen worden gebruikt als uitgangspunt in de volgende stappen van de constructieberekening.

Bijlage E: Windbelastingen

In deze bijlage wordt Europese Commissie voor Normalisatie (CEN) als bron gebruikt bij de theoretische achtergrond, formules en beschrijvingen. Op dezelfde manier wordt ook de Nationale Bijlage gebruikt van het Nederlands Normalisatie-instituut. Daarbij worden de windbelastingen bepaald aan de hand van Eurocode NEN-EN 1991-1-4. De windbelastingen zijn afhankelijk van de situatie, het ontwerp en de locatie. De vastgestelde belastingen kunnen dan worden gebruikt om met behulp van Diamonds BuildSoft de staafkrachten en spanningen in elk staafelement van de hal te berekenen. Dit gebeurt voor 24 verschillende combinaties (alle mogelijke variaties met windrichtingen).

E.1 Wind op de kopgevels

De windkrachten kunnen volgens NEN-EN 1991-1-4, art. 5.3(1) op twee manieren worden berekend: met krachtcoëfficiënten of met oppervlaktedruk. In deze bijlage zijn de exacte berekeningen te vinden met betrekking tot de windbelasting op de verticale gevels.

De windkracht op de constructie zal met de volgende formule worden bepaald:

$$q_w\,(z) = q_p\,(h) \cdot c_{pe,10} \cdot c_s c_d$$
$$q_w\,(z) = q_p\,(b) \cdot c_{pe,10} \cdot c_s c_d$$

De bouwwerkfactor $c_s c_d$ brengt de effecten in rekening van het niet gelijktijdig voorkomen van enerzijds extreme stuwdruk op de totale oppervlakte van de constructie en anderzijds trillingen van de constructie door turbulentie. In veel gevallen mag volgens NEN-EN 1991-1-4, art. 6.2 worden aangenomen dat $c_s c_d = 1{,}00$ (Snijder et al., 2011, p. 29). Dit geldt onder meer voor:

- Gebouwen met een hoogte lager dan 15 m;
- Gevels en dakelementen met een eigenfrequentie groter dan 5 Hz;
- Gebouwen met een raamwerkconstructie en stabiliteitswanden lager dan 100 m en waarvan de hoogte minder is dan viermaal de gebouwdiepte in de richting van de wind;
- Schoorstenen met een cirkelvormige dwarsdoorsnede met een hoogte lager dan 60 m en 6,5 maal de diameter.
- Het derde punt geldt in deze situatie, dus $c_s c_d = 1{,}00$.

Voor de bepaling van $v_{b,0}$ moet onderscheid zijn gemaakt in verschillende windgebieden. De bijbehorende snelheid voor$v_{b,0}$ die in rekening moet worden gebracht, volgt uit tabel NB.1 in NEN-EN 1991-1-4, art. 4.2.

Er zijn drie windgebieden gedefinieerd:

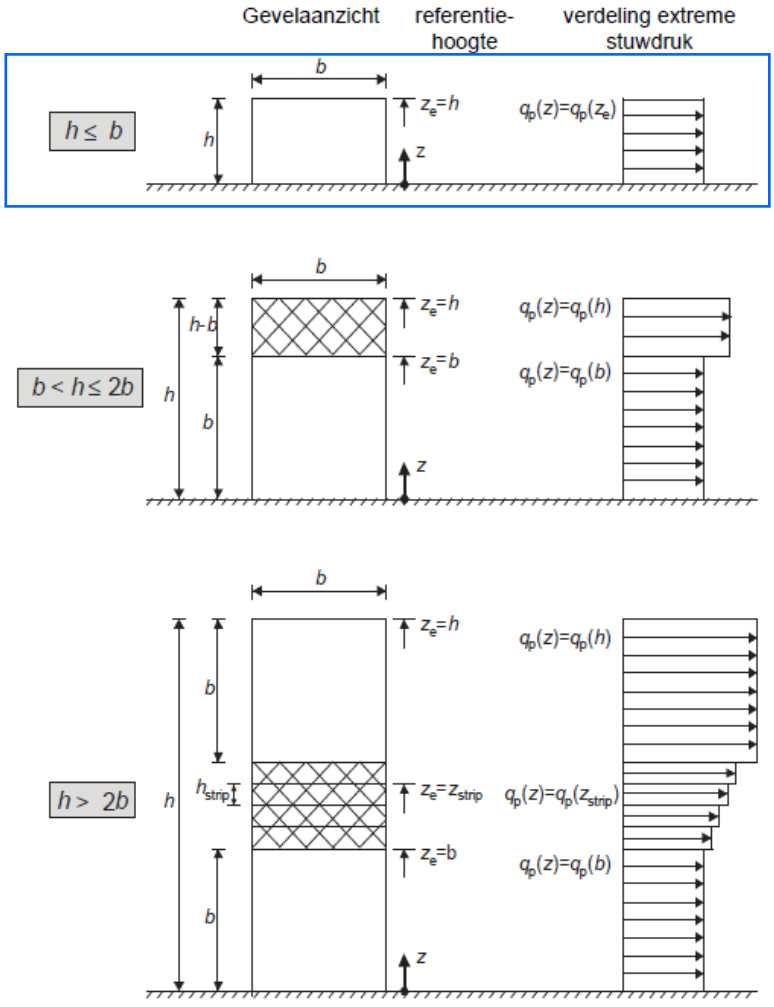
› Gebied I: Markermeer, IJsselmeer, Waddenzee, Waddeneilanden en de provincie Noord-Holland ten noorden van de gemeenten Heemskerk, Uitgeest, Wormerland, Purmerend en Edam-Volendam;

› Gebied II: het resterende deel van de provincie Noord-Holland (waartoe ook Zaanstad behoort), het vasteland van de provincies Groningen en Friesland en de provincies Flevoland, Zuid-Holland en Zeeland;

› Gebied III: het resterende deel van Nederland.

De industriehal komt te staan in Hulst, Zeeuws-Vlaanderen (Zeeland). Dat betekent dat windgebied II geldend is.

Een gebouw waarvan de hoogte h kleiner is dan b mag zijn beschouwd als één deel. Deze theorie is te zien in onderstaande figuur 20.



Figuur 20: Referentiehoogte ze, afhankelijk van h en b, en de bijbehorende profielen van de stuwdruk. De situatie in het blauwe kader is geldend.

q_p kan aan de hand van de hoogte van de constructie, het windgebied en de terreinomstandigheden worden afgelezen uit de stuwdrukkentabel volgens de Nationale Bijlage uit de NEN-EN 1991-1-4. De industriehal bevindt zich in windgebied II en de terreinomstandigheden zijn aangenomen als onbebouwd, omdat de hal zich aan de rand van het bedrijventerrein bevindt. De hoogte van de constructie is 12,00 meter.

Hoogte	**Gebied I**			**Gebied II**			**Gebied III**	
m	Kust	Onbebouwd	Bebouwd	Kust	Onbebouwd	Bebouwd	Onbebouwd	Bebouwd
1	0,93	0,71	0,69	0,78	0,60	0,58	0,49	0,48
2	1,11	0,71	0,69	0,93	0,60	0,58	0,49	0,48
3	1,22	0,71	0,69	1,02	0,60	0,58	0,49	0,48
4	1,30	0,71	0,69	1,09	0,60	0,58	0,49	0,48
5	1,37	0,78	0,69	1,14	0,66	0,58	0,54	0,48
6	1,42	0,84	0,69	1,19	0,71	0,58	0,58	0,48
7	1,47	0,89	0,69	1,23	0,75	0,58	0,62	0,48
8	1,51	0,94	0,73	1,26	0,79	0,62	0,65	0,51
9	1,55	0,98	0,77	1,29	0,82	0,65	0,68	0,53
10	1,58	1,02	0,81	1,32	0,85	0,68	0,70	0,56
15	1,71	1,16	0,96	1,43	0,98	0,80	0,80	0,66
20	1,80	1,27	1,07	1,51	1,07	0,90	0,88	0,74

Figuur 21: Fragment van tabel NB.5 uit Nationale Bijlage bij NEN-EN 1991-1-4+A1+C2: Eurocode 1: Belastingen op constructies. Extreme stuwdruk in kN/m² als functie van de hoogte.

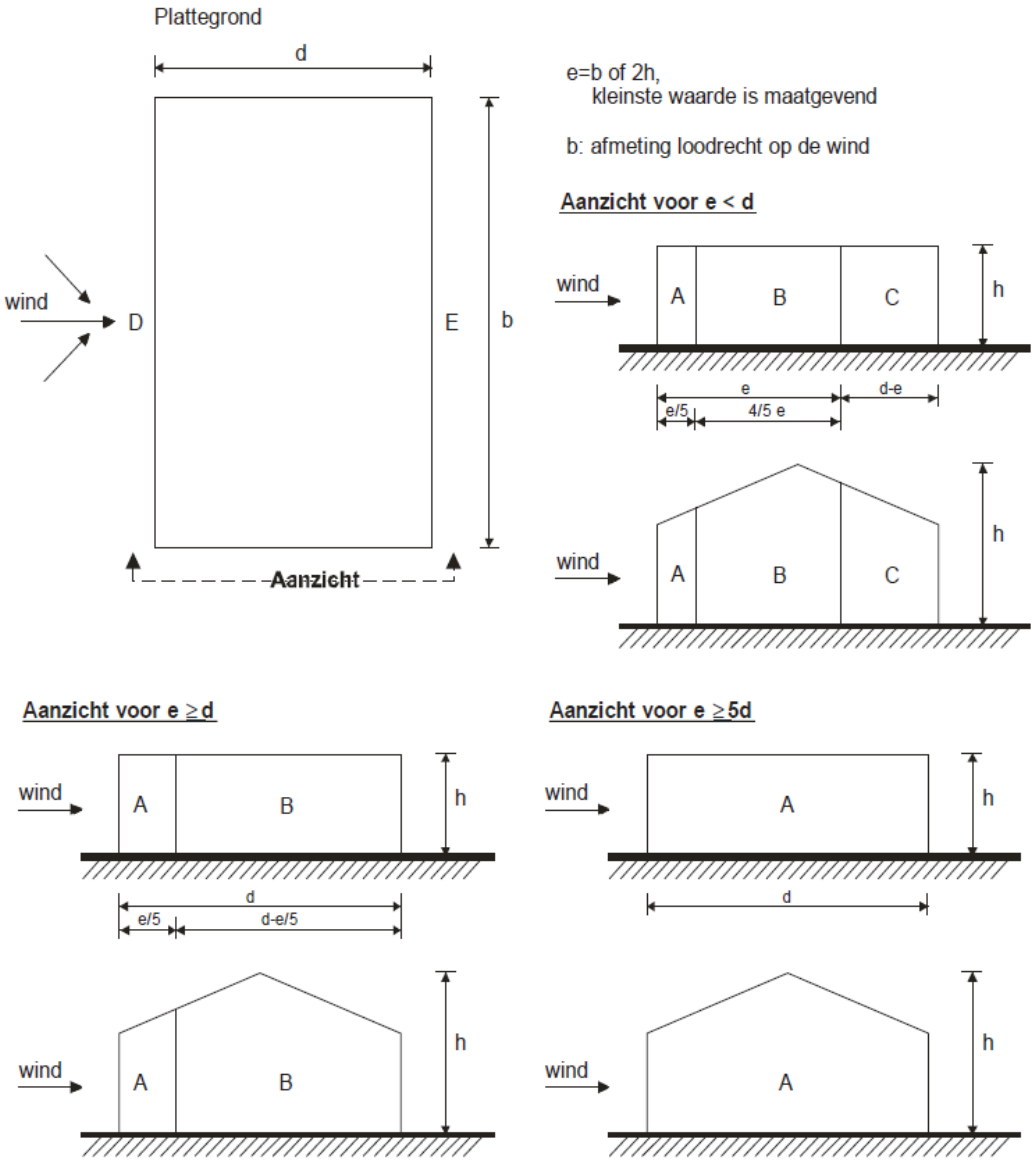
Uit bovenstaande figuur 21 kunnen de stuwdrukken op 10,00 m hoogte en 15,00 m hoogte worden bepaald:

$$q_p\ (mv. -10{,}00\ m)\ windgebied\ II\ onbebouwd = 0{,}85\ kN/m^2$$
$$q_p\ (10{,}00 - 15{,}00\ m)\ windgebied\ II\ onbebouwd = 0{,}98\ kN/m^2$$

Interpoleren geeft:

$$q_p\ (12{,}00\ m)\ windgebied\ II\ onbebouwd = 0{,}85 + \big((2{,}00/5{,}00) \cdot 0{,}13\big) = 0{,}90\ kN/m^2$$

Om de $c_{pe,10}$ te kunnen bepalen moet er eerst gekeken worden welke vormfactoren op de constructie van toepassing zijn. Dit kan aan de hand van de onderstaande figuur 22 worden bepaald.



Figuur 22: Figuur 7.5 in NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011. Zones bij verticale gevels.

b is de afmeting loodrecht op windrichting: 53,00 m.
h is de hoogte van de constructie: 12,00 m.
e is kleinste waarde van *b* of *2h*.
d is de breedte: 50,00 m.

$h/d = 12{,}00/50{,}00 = 0{,}24\ [-]$.
$2 \cdot 12{,}00 < 50{,}00 \rightarrow e = 24{,}00\ m$.
$e = 2h = 24{,}00\ m$.
Conclusie: $e < d$ is het maatgevende aanzicht.

Zone	A		B		C		D		E	
h/d	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
5	−1,2	−1,4	−0,8	−1,1	−0,5		+0,8	+1,0	−0,7	
≤ 1	−1,2	−1,4	−0,8	−1,1	−0,5		+0,8	+1,0	−0,5	

Figuur 23: Tabel NB.6-7.1 in NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011/NB:2019+C1:2020. Uitwendige drukcoëfficiënten voor verticale gevels van gebouwen met rechthoekige plattegrond. De waarden $c_{pe,1}$ gelden voor lokale oppervlakten van 1 m² of kleiner en de waarden $c_{pe,10}$ voor globale effecten bij oppervlakten van 10 m² of groter.

De uitwendige drukcoëfficiënten bij een verticale gevel van 53,00 meter breed en 12,00 meter hoog zijn dus:

- In gebied A met een breedte van 4,80 m geldt: $c_{pe,10} = -1{,}20$.
- In gebied B met een breedte van 19,20 m geldt: $c_{pe,10} = -0{,}80$.
- In gebied C met een breedte van 26,00 m geldt: $c_{pe,10} = -0{,}50$.
- In gebied D aan de loefzijde van de constructie geldt: $c_{pe,10} = +0{,}80$.
- In gebied E aan de lijzijde van de constructie geldt: $c_{pe,10} = -0{,}50$.

De industriehal heeft een aantal overheaddeuren. Dat betekent dat ook inwendige druk zal optreden bij openstaande deuren. Inwendige en uitwendige druk moeten daarom volgens de norm worden gezien als gelijktijdig optredende belastingen. De inwendige drukcoëfficiënt c_{pi} hangt af van de grootte en de verdeling van de openingen in de schil van het gebouw. In de norm wordt de voorwaarde gesteld dat als in ten minste twee zijden van het gebouw (gevel of dak) de totale oppervlakte van de openingen per zijde meer is dan 30% van de oppervlakte van deze zijde. Dat is beslist niet het geval bij de industriehal, dus moeten de regels aangehouden worden van *Paragraaf 7.2.9 Inwendige druk* in NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011.

Uit deze bijlage blijkt dan weer dat de inwendige drukcoëfficiënt moet worden bepaald aan de hand van de diagrammen in figuur 7.13 in de desbetreffende Eurocode. Hiervoor is de openingsverhouding nodig, tenzij deze niet te rechtvaardigen valt of te bepalen. In dat geval hoort voor c_{pi} de meest ongunstige waarde te zijn genomen van +0,20 en -0,30, zoals ook nu het geval is.

Nu alle drukcoëfficiënten bekend zijn kan de winddruk tot een hoogte van 12,00 meter worden bepaald bij een inwendige druk van -0,30 in kN/m²:

- Gebied A: $q_w\,(z) = 0{,}90 \cdot (-1{,}20 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = -0{,}81\ kN/m^2$.
- Gebied B: $q_w\,(z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}80 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = -0{,}45\ kN/m^2$.
- Gebied C: $q_w\,(z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}50 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = -0{,}18\ kN/m^2$.
- Gebied D: $q_w\,(z) = 0{,}90 \cdot (0{,}80 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = 0{,}99\ kN/m^2$.
- Gebied E: $q_w\,(z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}50 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = -0{,}18\ kN/m^2$.

Hetzelfde kan worden gedaan voor een inwendige druk van +0,20 in kN/m^2:

› Gebied A: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-1{,}20 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = -1{,}26\ kN/m^2$.
› Gebied B: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}80 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = -0{,}90\ kN/m^2$.
› Gebied C: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}50 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = -0{,}63\ kN/m^2$.
› Gebied D: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (0{,}80 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = 0{,}54\ kN/m^2$.
› Gebied E: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}50 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = -0{,}63\ kN/m^2$.

Door bovenstaande drukcoëfficiënten te vermenigvuldigen met de h.o.h. afstand tussen de kolommen en de extreme stuwdruk kunnen de daadwerkelijke lijnlasten worden bepaald. Dit moet worden gedaan voor 4,50 m afstand tussen de kolommen en 5,83 m tussen de kolommen. Dit ziet er als volgt uit:

› q-last zone A (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}81 \cdot 4{,}50 = -3{,}65\ kN/m$.
› q-last zone B (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}45 \cdot 4{,}50 = -2{,}03\ kN/m$.
› q-last zone C (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}18 \cdot 4{,}50 = -0{,}81\ kN/m$.
› q-last zone D (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = 0{,}99 \cdot 4{,}50 = 4{,}46\ kN/m$.
› q-last zone E (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}18 \cdot 4{,}50 = -0{,}81\ kN/m$.

› q-last zone A (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}81 \cdot 5{,}83 = -4{,}73\ kN/m$.
› q-last zone B (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}45 \cdot 5{,}83 = -2{,}63\ kN/m$.
› q-last zone C (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}18 \cdot 5{,}83 = -1{,}05\ kN/m$.
› q-last zone D (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = 0{,}99 \cdot 5{,}83 = 5{,}78\ kN/m$.
› q-last zone E (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}18 \cdot 5{,}83 = -1{,}05\ kN/m$.

› q-last zone A (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -1{,}26 \cdot 4{,}50 = -5{,}67\ kN/m$.
› q-last zone B (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}90 \cdot 4{,}50 = -4{,}05\ kN/m$.
› q-last zone C (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}63 \cdot 4{,}50 = -2{,}84\ kN/m$.
› q-last zone D (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = 0{,}54 \cdot 4{,}50 = 2{,}43\ kN/m$.
› q-last zone E (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}63 \cdot 4{,}50 = -2{,}84\ kN/m$.

› q-last zone A (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -1{,}26 \cdot 5{,}83 = -7{,}35\ kN/m$.
› q-last zone B (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}90 \cdot 5{,}83 = -5{,}25\ kN/m$.
› q-last zone C (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}63 \cdot 5{,}83 = -3{,}68\ kN/m$.
› q-last zone D (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = 0{,}54 \cdot 5{,}83 = 3{,}15\ kN/m$.
› q-last zone E (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}63 \cdot 5{,}83 = -3{,}68\ kN/m$.

E.2 Wind op de langsgevels

De wind kan ook van richting veranderen. Om te bepalen wat de effecten daarvan zijn op de constructie zal de berekening van *Bijlage E.1 Wind op de kopgevels* worden herhaald met waarden die horen bij deze situatie.

$$q_p\ (12{,}00\ m)\ windgebied\ II\ onbebouwd = 0{,}85 + \big((2{,}00/5{,}00) \cdot 0{,}13\big) = 0{,}90\ kN/m^2$$

b is de afmeting loodrecht op windrichting: 50,00 m.
h is de hoogte van de constructie: 12,00 m.
e is kleinste waarde van *b* of *2h*.
d is de breedte: 53,00 m.

$h/d = 12{,}00/53{,}00 = 0{,}23\ [-]$.
$2 \cdot 12{,}00 < 53{,}00 \rightarrow e = 24{,}00\ m$.
$e = 2h = 24{,}00\ m$.
Conclusie: $e < d$ is het maatgevende aanzicht.

De uitwendige drukcoëfficiënten bij een verticale gevel van 50,00 meter breed en 12,00 meter hoog zijn dus:

- In gebied A met een breedte van 4,80 m geldt: $c_{pe,10} = -1{,}20$.
- In gebied B met een breedte van 19,20 m geldt: $c_{pe,10} = -0{,}80$.
- In gebied C met een breedte van 26,00 m geldt: $c_{pe,10} = -0{,}50$.
- In gebied D aan de loefzijde van de constructie geldt: $c_{pe,10} = +0{,}80$.
- In gebied E aan de lijzijde van de constructie geldt: $c_{pe,10} = -0{,}50$.

Nu de drukcoëfficiënten bekend zijn kan de winddruk tot een hoogte van 12,00 meter worden bepaald bij een inwendige druk van -0,30 in kN/m^2:

- Gebied A: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-1{,}20 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = -0{,}81\ kN/m^2$.
- Gebied B: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}80 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = -0{,}45\ kN/m^2$.
- Gebied C: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}50 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = -0{,}18\ kN/m^2$.
- Gebied D: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (0{,}80 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = 0{,}99\ kN/m^2$.
- Gebied E: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}50 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = -0{,}18\ kN/m^2$.

Hetzelfde kan worden gedaan voor een inwendige druk van +0,20 in kN/m^2:

- Gebied A: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-1{,}20 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = -1{,}26\ kN/m^2$.
- Gebied B: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}80 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = -0{,}90\ kN/m^2$.
- Gebied C: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}50 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = -0{,}63\ kN/m^2$.
- Gebied D: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (0{,}80 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = 0{,}54\ kN/m^2$.
- Gebied E: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}50 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = -0{,}63\ kN/m^2$.

Door bovenstaande drukcoëfficiënten te vermenigvuldigen met de h.o.h. afstand tussen de kolommen en de extreme stuwdruk kunnen de daadwerkelijke lijnlasten worden bepaald. Dit moet worden gedaan voor 6,25 m afstand tussen de portalen. Dit ziet er als volgt uit:

- q-last zone A (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}81 \cdot 6{,}25 = -5{,}07\ kN/m$.
- q-last zone B (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}45 \cdot 6{,}25 = -2{,}82\ kN/m$.
- q-last zone C (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}18 \cdot 6{,}25 = -1{,}13\ kN/m$.
- q-last zone D (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = 0{,}99 \cdot 6{,}25 = 6{,}20\ kN/m$.
- q-last zone E (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}18 \cdot 6{,}25 = -1{,}13\ kN/m$.

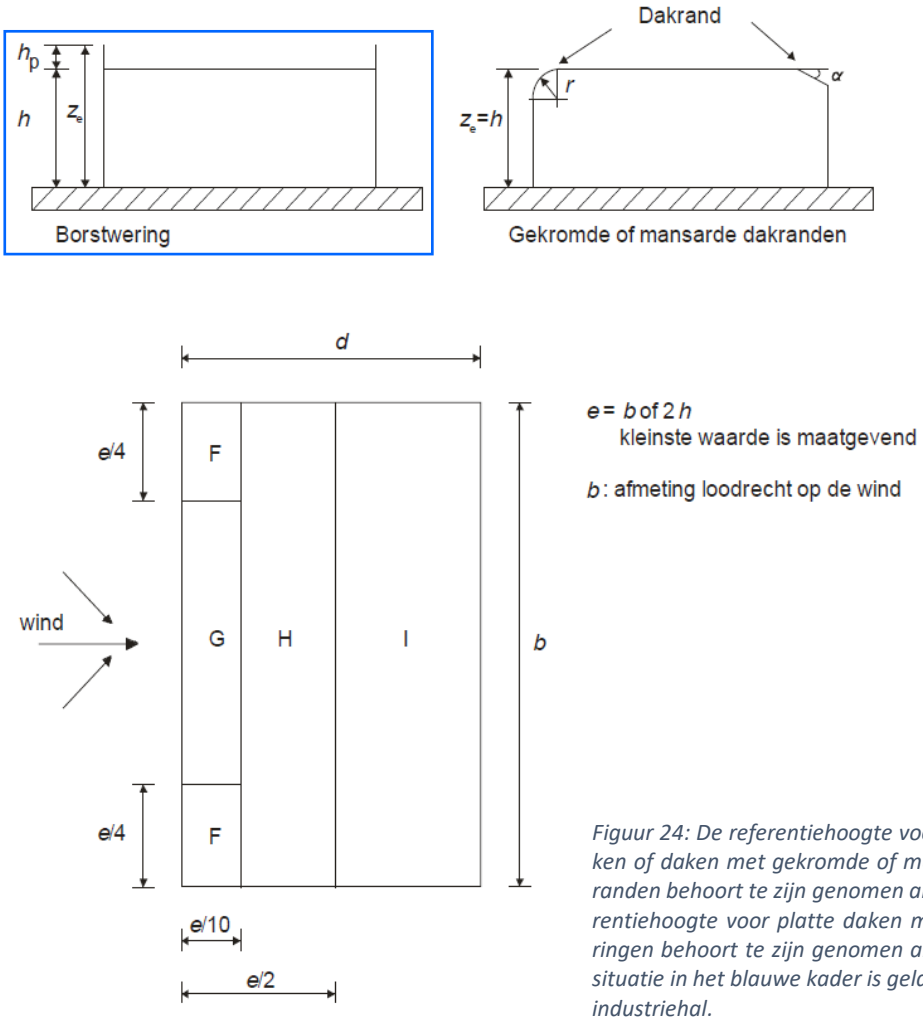
› q-last zone A (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -1{,}26 \cdot 6{,}25 = -7{,}89\ kN/m.$
› q-last zone B (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}90 \cdot 6{,}25 = -5{,}64\ kN/m.$
› q-last zone C (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}63 \cdot 6{,}25 = -3{,}95\ kN/m.$
› q-last zone D (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = 0{,}54 \cdot 6{,}25 = 3{,}38\ kN/m.$
› q-last zone E (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -0{,}63 \cdot 6{,}25 = -3{,}95\ kN/m.$

E.3 Wind op platte daken (gericht op de kopgevel)

Wind die loodrecht op de gevels van een gebouw waait, zal zorgen voor winddruk en windzuiging op de daken. In dit geval betreft het een platdak met borstweringen langs de randen waar hoofdzakelijk sprake van windzuiging zal zijn.

$$q_p\ (12{,}00\ m)\ windgebied\ II\ onbebouwd = 0{,}85 + \big((2{,}00/5{,}00) \cdot 0{,}13\big) = 0{,}90\ kN/m^2$$

Bovenstaande stappen worden herhaald voor het platte dak waar hoofdzakelijk sprake zal zijn van windzuiging. Platte daken worden vastgesteld als vlakken met een helling (α) van –5°< α < 5°. Bij de industriehal die centraal staat in dit eindwerk wordt uitgegaan van een plat dak van een dergelijk vorm met een daktype bestaande uit scherpe dakranden.



Figuur 24: De referentiehoogte voor platte daken of daken met gekromde of mansardedakranden behoort te zijn genomen als h. De referentiehoogte voor platte daken met borstweringen behoort te zijn genomen als h + h_p. De situatie in het blauwe kader is geldend voor de industriehal.

b is de afmeting loodrecht op windrichting: 53,00 m.
h is de hoogte van de constructie: 12,00 m.
e is kleinste waarde van *b* of *2h*.
d is de breedte: 50,00 m.

$h/d = 12{,}00/50{,}00 = 0{,}24\ [-]$.
$2 \cdot 12{,}00 < 50{,}00 \rightarrow e = 24{,}00\ m$.
$e = 2h = 24{,}00\ m$.
Conclusie: $e < d$ is het maatgevende aanzicht.
Windgebied F heeft een breedte van $e/4 = 24{,}00/4 = 6{,}00\ m$

Daktype		Zone							
		F		G		H		I	
		$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$	$c_{pe,10}$	$c_{pe,1}$
Scherpe dakranden		−1,8	−2,5	−1,2	−2,0	−0,7	−1,2	+0,2	
								−0,2	−0,5
Borstweringen	h_p/h = 0,025	−1,6	−2,2	−1,1	−1,8	−0,7	−1,2	+0,2	
								−0,2	−0,5
	h_p/h = 0,05	−1,4	−2,0	−0,9	−1,6	−0,7	−1,2	+0,2	
								−0,2	−0,5
	h_p/h= 0,10	−1,2	−1,8	−0,8	−1,4	−0,7	−1,2	+0,2	
								−0,2	−0,5

Figuur 25: Tabel NB.7 – 7.2 in NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011/NB:2019+C1:2020— Uitwendige drukcoëfficiënten voor platte daken.

Het dakafschot wordt aangenomen op 20 mm/m. De gevel steekt nog eens 100 mm extra uit, dus $h_p = 100 + 20 \cdot 17{,}5 = 450\ mm$. De verhouding h_p/h aan de dakranden is daardoor: $h_p/h = 450/(12000 - 450) \cong 0{,}039\ [-]$. De verhouding h_p/h aan de nok van de werkplaats is daardoor: $h_p/h = 100/(12000 - 100) \cong 0{,}008\ [-]$. De verhouding h_p/h aan de nok van de opslag is daardoor: $h_p/h = 270/(12000 - 270) \cong 0{,}023\ [-]$.

De volgende beredenering kan worden toegepast: Hoe lager de verhouding h_p/p, hoger de uitwendige winddrukcoëfficiënten, des te groter de windlasten per windzone. Voor het platte dak dat nu wordt beschouwd is het daarom dus beter om te kiezen voor een scherpe dakrand, ook al is er sprake van een kleine borstwering van 100 mm. De norm schrijft bij deze situatie een aantal drukcoëfficiënten voor.

De uitwendige drukcoëfficiënten zijn dus:

› In gebied F met een lengte van 6,00 m en een breedte van 2,40 m geldt: $c_{pe,10} = -1{,}80$.
› In gebied G met een lengte van 41,00 m en een breedte van 2,40 m geldt: $c_{pe,10} = -1{,}20$.
› In gebied H met een lengte van 53,00 m en een breedte van 9,60 m geldt: $c_{pe,10} = -0{,}70$.
› In gebied I met een lengte van 53,00 m en een breedte van 38,00 m geldt: $c_{pe,10} = +/-0{,}20$.

Nu de drukcoëfficiënten van het platte dak bekend zijn kan de winddruk in de verschillende gebieden worden bepaald bij een inwendige druk van -0,30 in kN/m^2:

› Gebied F: $q_w\,(z) = 0{,}90 \cdot (-1{,}80 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = -1{,}35\ kN/m^2$.
› Gebied G: $q_w\,(z) = 0{,}90 \cdot (-1{,}20 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = -0{,}81\ kN/m^2$.
› Gebied H: $q_w\,(z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}70 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = -0{,}36\ kN/m^2$.
› Gebied I: $q_w\,(z) = 0{,}90 \cdot (+0{,}20 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = 0{,}45\ kN/m^2$.
› Gebied I: $q_w\,(z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}20 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = 0{,}09\ kN/m^2$.

Hetzelfde kan worden gedaan voor een inwendige druk van +0,20 in kN/m^2:

› Gebied F: $q_w\,(z) = 0{,}90 \cdot (-1{,}80 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = -1{,}80\ kN/m^2$.
› Gebied G: $q_w\,(z) = 0{,}90 \cdot (-1{,}20 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = -1{,}26\ kN/m^2$.
› Gebied H: $q_w\,(z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}70 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = -0{,}81\ kN/m^2$.
› Gebied I: $q_w\,(z) = 0{,}90 \cdot (+0{,}20 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = 0{,}00\ kN/m^2$.
› Gebied I: $q_w\,(z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}20 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = -0{,}36\ kN/m^2$.

Door bovenstaande drukcoëfficiënten te vermenigvuldigen met de h.o.h. afstand tussen de liggers en de extreme stuwdruk kunnen de daadwerkelijke lijnlasten worden bepaald in kN/m. Dit moet worden gedaan voor een afstand van 6,25 m tussen de liggers van de portalen. Dit ziet er als volgt uit:

› q-last zone F: $q_w\,(z) = -1{,}35 \cdot 6{,}25 = -8{,}44\ kN/m$.
› q-last zone G: $q_w\,(z) = -0{,}81 \cdot 6{,}25 = -5{,}06\ kN/m$.
› q-last zone H: $q_w\,(z) = -0{,}36 \cdot 6{,}25 = -2{,}25\ kN/m$.
› q-last zone I: $q_w\,(z) = 0{,}45 \cdot 6{,}25 = 2{,}81\ kN/m$.
› q-last zone I: $q_w\,(z) = 0{,}09 \cdot 6{,}25 = 0{,}56\ kN/m$.

› q-last zone F: $q_w\,(z) = -1{,}80 \cdot 6{,}25 = -11{,}25\ kN/m$.
› q-last zone G: $q_w\,(z) = -1{,}26 \cdot 6{,}25 = -7{,}88\ kN/m$.
› q-last zone H: $q_w\,(z) = -0{,}81 \cdot 6{,}25 = -5{,}06\ kN/m$.
› q-last zone I: $q_w\,(z) = 0{,}00 \cdot 6{,}25 = 0{,}00\ kN/m$.
› q-last zone I: $q_w\,(z) = -0{,}36 \cdot 6{,}25 = -2{,}25\ kN/m$.

E.4 Wind op platte daken (gericht op de langsgevel)

De wind kan opnieuw van richting veranderen. Om te bepalen wat de effecten daarvan zijn op de constructie zal de berekening van *Bijlage E.3 Wind op platte daken (gericht op de kopgevels)* worden herhaald met waarden die horen bij deze situatie.

$$q_p\ (12{,}00\ m)\ windgebied\ II\ onbebouwd = 0{,}85 + \big((2{,}00/5{,}00) \cdot 0{,}13\big) = 0{,}90\ kN/m^2$$

b is de afmeting loodrecht op windrichting: 50,00 m.
h is de hoogte van de constructie: 12,00 m.
e is kleinste waarde van *b* of *2h*.
d is de breedte: 53,00 m.

$h/d = 12{,}00/53{,}00 = 0{,}23\ [-]$.
$2 \cdot 12{,}00 < 53{,}00 \rightarrow e = 24{,}00\ m$.
$e = 2h = 24{,}00\ m$.
Conclusie: $e < d$ is het maatgevende aanzicht.

$$h_p/h = 450/(12000 - 450) \cong 0{,}039\ [-]$$

De norm schrijft bij deze situatie een aantal drukcoëfficiënten voor.
De uitwendige drukcoëfficiënten zijn dus:

- In gebied F met een lengte van 6,00 m en een breedte van 2,40 m geldt: $c_{pe,10} = -1{,}60 + \big((0{,}014/0{,}025) \cdot 0{,}20\big) = -1{,}49$.
- In gebied G met een lengte van 38,00 m en een breedte van 2,40 m geldt: $c_{pe,10} = -1{,}10 + \big((0{,}014/0{,}025) \cdot 0{,}20\big) = -0{,}99$.
- In gebied H met een lengte van 50,00 m en een breedte van 9,60 m geldt: $c_{pe,10} = -0{,}70$.
- In gebied I met een lengte van 50,00 m en een breedte van 38,00 m geldt: $c_{pe,10} = \pm 0{,}20$.

Nu de drukcoëfficiënten van het platte dak bekend zijn kan de winddruk in de verschillende gebieden worden bepaald bij een inwendige druk van -0,30 in kN/m^2.

- Gebied F: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-1{,}49 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = -1{,}07\ kN/m^2$.
- Gebied G: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}99 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = -0{,}62\ kN/m^2$.
- Gebied H: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}70 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = -0{,}36\ kN/m^2$.
- Gebied I: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (+0{,}20 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = 0{,}45\ kN/m^2$.
- Gebied I: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}20 + 0{,}30) \cdot 1{,}00 = 0{,}09\ kN/m^2$.

Hetzelfde kan worden gedaan voor een inwendige druk van +0,20:

- Gebied F: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-1{,}49 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = -1{,}52\ kN/m^2$.
- Gebied G: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}99 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = -1{,}07\ kN/m^2$.
- Gebied H: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}70 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = -0{,}81\ kN/m^2$.
- Gebied I: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (+0{,}20 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = 0{,}00\ kN/m^2$.
- Gebied I: $q_w\ (z) = 0{,}90 \cdot (-0{,}20 - 0{,}20) \cdot 1{,}00 = -0{,}36\ kN/m^2$.

Door bovenstaande drukcoëfficiënten te vermenigvuldigen met de h.o.h. afstand tussen de liggers en de extreme stuwdruk kunnen de daadwerkelijke lijnlasten worden bepaald in kN/m.

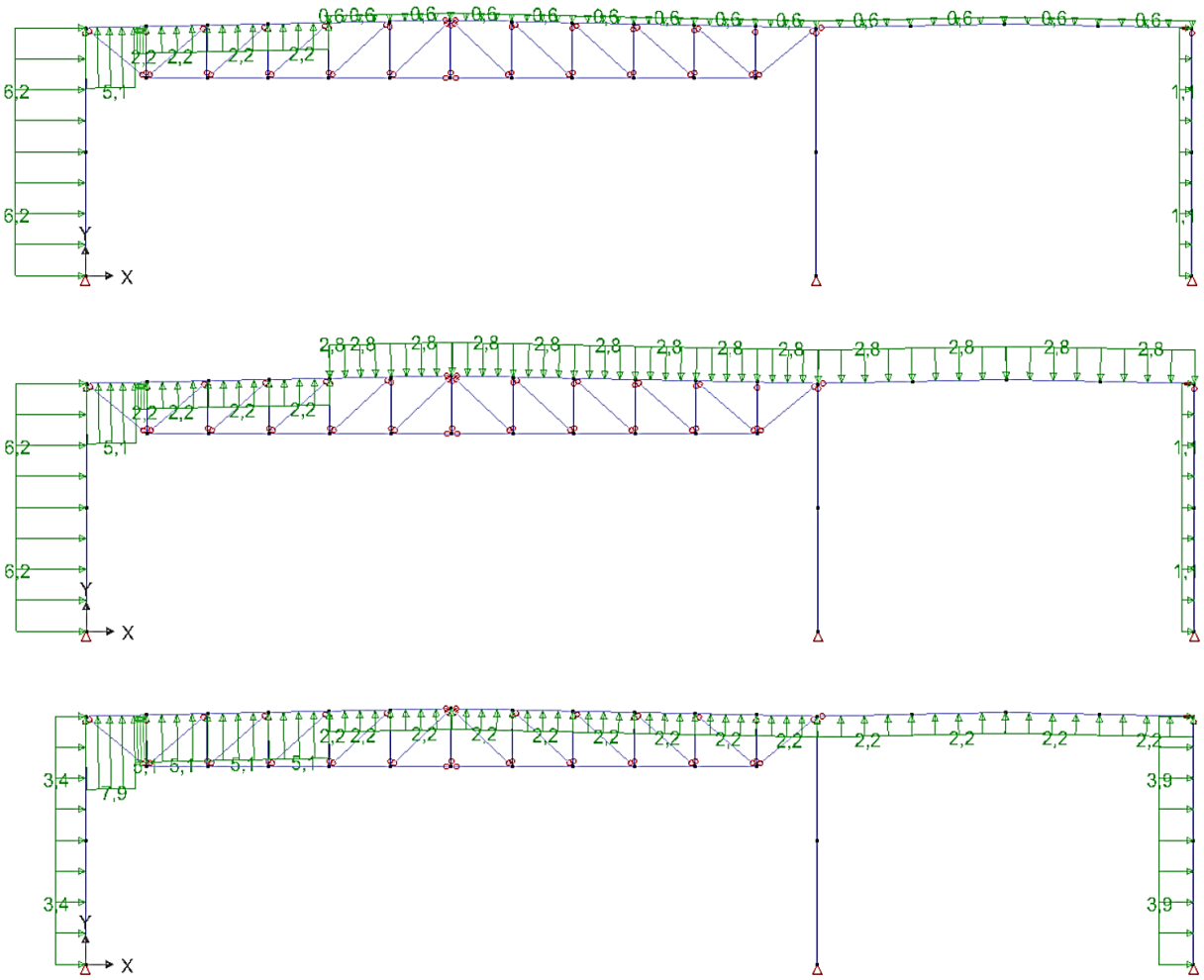
Dit moet worden gedaan voor een afstand van 6,25 m tussen de liggers van de portalen. Dit ziet er als volgt uit:

- q-last zone F: $q_w\ (z) = -1{,}07 \cdot 6{,}25 = -6{,}70\ kN/m.$
- q-last zone G: $q_w\ (z) = -0{,}62 \cdot 6{,}25 = -3{,}88\ kN/m.$
- q-last zone H: $q_w\ (z) = -0{,}36 \cdot 6{,}25 = -2{,}26\ kN/m.$
- q-last zone I: $q_w\ (z) = 0{,}45 \cdot 6{,}25 = 2{,}82\ kN/m.$
- q-last zone I: $q_w\ (z) = 0{,}09 \cdot 6{,}25 = 0{,}56\ kN/m.$

- q-last zone F: $q_w\ (z) = -1{,}52 \cdot 6{,}25 = -9{,}52\ kN/m.$
- q-last zone G: $q_w\ (z) = -1{,}07 \cdot 6{,}25 = -6{,}70\ kN/m.$
- q-last zone H: $q_w\ (z) = -0{,}81 \cdot 6{,}25 = -5{,}07\ kN/m.$
- q-last zone I: $q_w\ (z) = 0{,}00 \cdot 6{,}25 = 0{,}00\ kN/m.$
- q-last zone I: $q_w\ (z) = -0{,}36 \cdot 6{,}25 = -2{,}26\ kN/m.$

E.5 Windbelastingen in Diamonds BuildSoft

Diamonds BuildSoft maakt het berekenen van constructies erg eenvoudig door alles te automatiseren. Dit maakt het werk zo eenvoudig dat soms niet duidelijk is waar de waarden zich op baseren. Om die reden worden de windbelastingen van de handberekeningen in voorgaande paragrafen vergeleken met de resultaten van windbelastingen in Diamonds BuildSoft. BuildSoft beschouwd vele verschillende gevallen door verschillende combinaties te maken van de uitwendige en inwendige winddrukken. Binnen zeer korte tijd worden zo 24 verschillende gevallen beschouwd. Voor de controle beschouwen wij alleen geval 1. In onderstaande figuur 26 is het resultaat te zien van de windbelastingen in geval 1 op het middelste portaal van de industriehal (portaal 5).



Figuur 26:

Windgeval 1 op het portaal in Diamonds BuildSoft:

- *In gebied D treedt een winddruk op van 6,2 kN/m;*
- *In gebied E treedt een windzuiging op van 1,1 kN/m;*
- *In gebied G treedt een windzuiging op van 5,1 kN/m;*
- *In gebied H treedt een windzuiging op van 2,2 kN/m;*
- *In gebied I treedt een winddruk op van 0,6 kN/m.*

Windgeval 2 op het portaal in Diamonds BuildSoft:

- *In gebied D treedt een winddruk op van 6,2 kN/m;*
- *In gebied E treedt een windzuiging op van 1,1 kN/m;*
- *In gebied G treedt een windzuiging op van 5,1 kN/m;*
- *In gebied H treedt een windzuiging op van 2,2 kN/m;*
- *In gebied I treedt een winddruk op van 2,8 kN/m.*

Windgeval 5 op het portaal in Diamonds BuildSoft:

- *In gebied D treedt een winddruk op van 3,4 kN/m;*
- *In gebied E treedt een windzuiging op van 3,9 kN/m;*
- *In gebied G treedt een windzuiging op van 7,9 kN/m;*
- *In gebied H treedt een windzuiging op van 5,1 kN/m;*
- *In gebied I treedt een winddruk op van 2,2 kN/m.*

Uit voorgaande paragrafen is gebleken dat bij een inwendige druk van -0,30 in kN/m^2:

- Gebied D: $q_w\ (z) = 0{,}99\ kN/m^2$.
- Gebied E: $q_w\ (z) = -0{,}18\ kN/m^2$.
- Gebied D: $q_w\ (z) = 0{,}54\ kN/m^2$.
- Gebied E: $q_w\ (z) = -0{,}63\ kN/m^2$.
- Gebied G: $q_w\ (z) = -0{,}62\ kN/m^2$.
- Gebied H: $q_w\ (z) = -0{,}36\ kN/m^2$.
- Gebied I: $q_w\ (z) = 0{,}45\ kN/m^2$.
- Gebied I: $q_w\ (z) = 0{,}09\ kN/m^2$.
- Gebied G: $q_w\ (z) = -1{,}07\ kN/m^2$.
- Gebied H: $q_w\ (z) = -0{,}81\ kN/m^2$.
- Gebied I: $q_w\ (z) = 0{,}00\ kN/m^2$.
- Gebied I: $q_w\ (z) = -0{,}36\ kN/m^2$.

Door bovenstaande waarden te vermenigvuldigen met de afstand tussen de portalen wordt de winddruk die optreedt op het portaal bepaald in kN/m:

- q-last zone D (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = 6{,}20\ kN/m$.
- q-last zone E (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -1{,}13\ kN/m$.
- q-last zone D (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = 3{,}38\ kN/m$.
- q-last zone E (mv.-12,00 m): $q_w\ (z) = -3{,}95\ kN/m$.
- q-last zone G: $q_w\ (z) = -3{,}88\ kN/m$.
- q-last zone H: $q_w\ (z) = -2{,}26\ kN/m$.
- q-last zone I: $q_w\ (z) = 2{,}82\ kN/m$.
- q-last zone I: $q_w\ (z) = 0{,}56\ kN/m$.
- q-last zone G: $q_w\ (z) = -6{,}70\ kN/m$.
- q-last zone H: $q_w\ (z) = -5{,}07\ kN/m$.
- q-last zone I: $q_w\ (z) = 0{,}00\ kN/m$.
- q-last zone I: $q_w\ (z) = -2{,}26\ kN/m$.

Bovenstaande winddrukken komen, op een paar punten na, exact overeen met de winddrukken die Diamonds BuildSoft heeft bepaald. Er is een verschil te zien in windzone G; uit de handberekening volgt 3,88 kN/m, maar uit BuildSoft blijkt dat dit 5,1 kN/m moet zijn. Uit de windnorm van BuildSoft blijkt dat voor windzone G een c_{pe} van -1,20 is gebruikt in de berekening. In mijn handberekening is dit -0,99. Zo blijkt ook uit onderstaande correctieberekening.

$$q_w\ (z) = 0{,}902 \cdot (-1{,}20 + 0{,}30) \cdot 6{,}25 = 5{,}07\ kN/m$$

Verder er is ook een verschil te zien in windzones H en I; uit de handberekening volgt -2,26 kN/m, maar in het rekenmodel wordt -2,2 kN/m aangenomen. Dit is een verschil dat komt door tussentijdse afrondingen. In het rekenmodel wordt deze waarden dan ook niet aangepast.

De winddrukken uit deze handberekening zijn dus nauwkeuriger dan de automatische invoer van Diamonds BuildSoft. Om die reden worden de geautomatiseerde winddrukken in alle 24 gevallen gecontroleerd en aangepast naar de waarden die in deze bijlage te vinden zijn. Deze belastingen ten gevolge van wind worden ingevoerd in Diamonds BuildSoft in de lastgroep 'Wind'.

Nu zijn we alleen uitgegaan van het portaal in het midden van de industriehal. In *Bijlage E.3 Wind op platte daken (gericht op de kopgevel)* hebben we gezien dat er verschillende zones zijn op het dak, waarbij zone F zwaarder belast wordt met wind dan zone G. Datzelfde hebben we gezien voor gevels, zoals te zien in *Bijlage E.1 Wind op de kopgevels*, waarbij zone A te maken krijgt met meer windzuiging dan zones B en C. Om te bepalen welk portaal het zwaarste wordt belast worden verschillende modellen gemaakt van meerdere portalen in de industriehal. Slechts één daarvan wordt beschouwd in dit eindwerk. Het eindresultaat is gebaseerd op de maatgevende uitkomsten.

Bijlage F: Sneeuwbelastingen

In deze bijlage wordt Europese Commissie voor Normalisatie (CEN) als bron gebruikt bij de theoretische achtergrond, formules en beschrijvingen. Op dezelfde manier wordt ook de Nationale Bijlage gebruikt van het Nederlands Normalisatie-instituut. Daarbij worden de sneeuwbelastingen bepaald aan de hand van Eurocode NEN-EN 1991-1-3. De sneeuwbelastingen zijn afhankelijk van de situatie, het ontwerp en de locatie. De vastgestelde belastingen kunnen dan worden gebruikt om met behulp van Diamonds BuildSoft de staafkrachten en spanningen in elk staafelement van de hal te berekenen. Dit gebeurt voor 2 verschillende combinaties (met invloed van wind en zonder invloed van wind op de verdeling van de sneeuw).

F.1 Sneeuwbelastingen met handberekeningen

In deze bijlage wordt Europese Commissie voor Normalisatie (CEN) als bron gebruikt bij de theoretische achtergrond, formules en beschrijvingen. Op dezelfde manier wordt ook de Nationale Bijlage gebruikt van het Nederlands Normalisatie-instituut.

In NEN-EN 1991-1-3+C1:2011 wordt rekening gehouden met verschillende eigenschappen van daken en andere factoren die bijdragen tot verschillende neerslagpatronen (Europese Commissie voor Normalisatie, 2011):

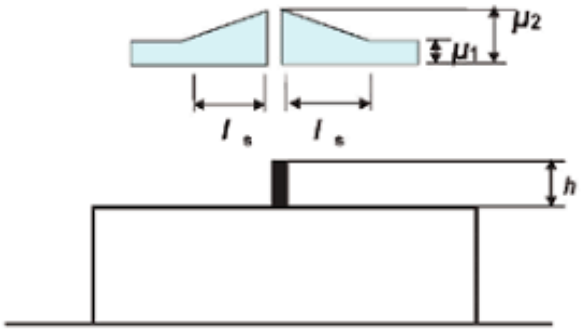
- De vorm van het dak;
- De thermische eigenschappen van het dak;
- De ruwheid van het dakoppervlak;
- De hoeveelheid warmte die onder het dak wordt opgewekt;
- De nabijheid van omliggende gebouwen;
- Het omliggende terrein;
- Het plaatselijke klimaat, in het bijzonder wind, temperatuurschommelingen en waarschijnlijkheid van neerslag (in de vorm van regen of sneeuw).

De sneeuwbelastingen op daken moeten volgens NEN-EN 1991-1-3+C1:2011 als volgt worden bepaald (Europese Commissie voor Normalisatie, 2011):

- Voor blijvende of tijdelijke situaties: $s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_k$;
- Voor buitengewone ontwerpsituaties waar uitzonderlijke sneeuwbelasting de buitengewone belasting vormt: $s = \mu_i \cdot C_e \cdot C_t \cdot s_{Ad}$. Volgens de Nationale Bijlage hoeft deze niet te worden beschouwd. Er geldt geen waarde voor C_{esl} die nodig is voor de berekening van s_{Ad} (Nederlands Normalisatie-instituut, 2011).

In de Nationale Bijlage bij deze Eurocode staat vermeldt dat blootstellingscoëfficiënt $C_e = 1{,}00$ mag worden aangenomen voor iedere locatie in Nederland. Tevens staat vermeldt dat warmtecoëfficiënt $C_t = 1{,}00$ mag worden aangenomen, tenzij er sprake is van tuinbouwkassen. Alleen in dat geval kan hiervan worden afgeweken (Nederlands Normalisatie-instituut, 2011).

Het dak van de industriehal mag worden aangenomen als een plat dak met aan de randen borstweringen met een hoogte van maximaal 450 mm. De regels omtrent sneeuwbelasting (sneeuwophoging) op platte daken ter hoogte van uitstekende delen en obstakels moet daarom worden toegepast. In onderstaande figuur 27 is te zien wat het principe is achter de effecten van sneeuw in combinatie met borstweringen.



Figuur 27: Sneeuwbelasting op platte daken met obstakels (Europese Commissie voor Normalisatie, 2011).

Deze effecten door wind met een herhalingstijd van 50 jaar is gegeven door de betrekking:

$$s = \mu_i \cdot s_k$$

Waarin:

s is de sneeuwbelasting op het dak;

μ_i is de sneeuwbelastingsvormcoëfficiënt;

μ_1 is de sneeuwbelastingsvormcoëfficiënt voor een plat dak; [$\mu_1 = 0{,}80$]

μ_2 is de sneeuwbelastingsvormcoëfficiënt voor een obstakel (dakrand);

$\mu_2 = (\gamma \cdot h)/s_k$ met de restrictie 0,8 ≤ μ_2 ≤ 2,0 (NEN-EN 1991-1- 3/NB)

Waarin:

γ is het volumieke gewicht van sneeuw; [$\gamma = 2{,}00\ kN/m^3$]

h is de hoogte van het obstakel (dakrand) (m) en h ≥ 0,25 m; [$h = 0{,}45\ m$]

l_s is de stuiflengte, m; [$l_s = 2 \cdot h = 2 \cdot 0{,}45 = 0{,}90\ m$ met de beperking 5 ≤ l_s ≤ 15 m (NEN-EN 1991-1-3/NB)]; [$l_s = 5{,}00\ m$]

s_k is de karakteristieke waarde van de sneeuwbelasting (met een herhalingstijd van 50 jaar) op de grond op de relevante locatie. [$s_k = 0{,}70\ \ kN/m^2$]

$$\mu_2 = (2{,}00 \cdot 0{,}45)/0{,}70 = 1{,}29$$

De sneeuwbelasting door wind met een herhalingstijd van 50 jaar is gegeven door de betrekking:

$$s = \mu_i \cdot s_k$$

Algemeen over het dak is: $s = \mu_1 \cdot s_k = 0{,}80 \cdot 0{,}70 = 0{,}56\, kN/m^2$.
Door bovenstaande waarde voor de sneeuwbelasting te vermenigvuldigen met de afstand tussen de portalen wordt de belasting die optreedt op het portaal bepaald in kN/m:

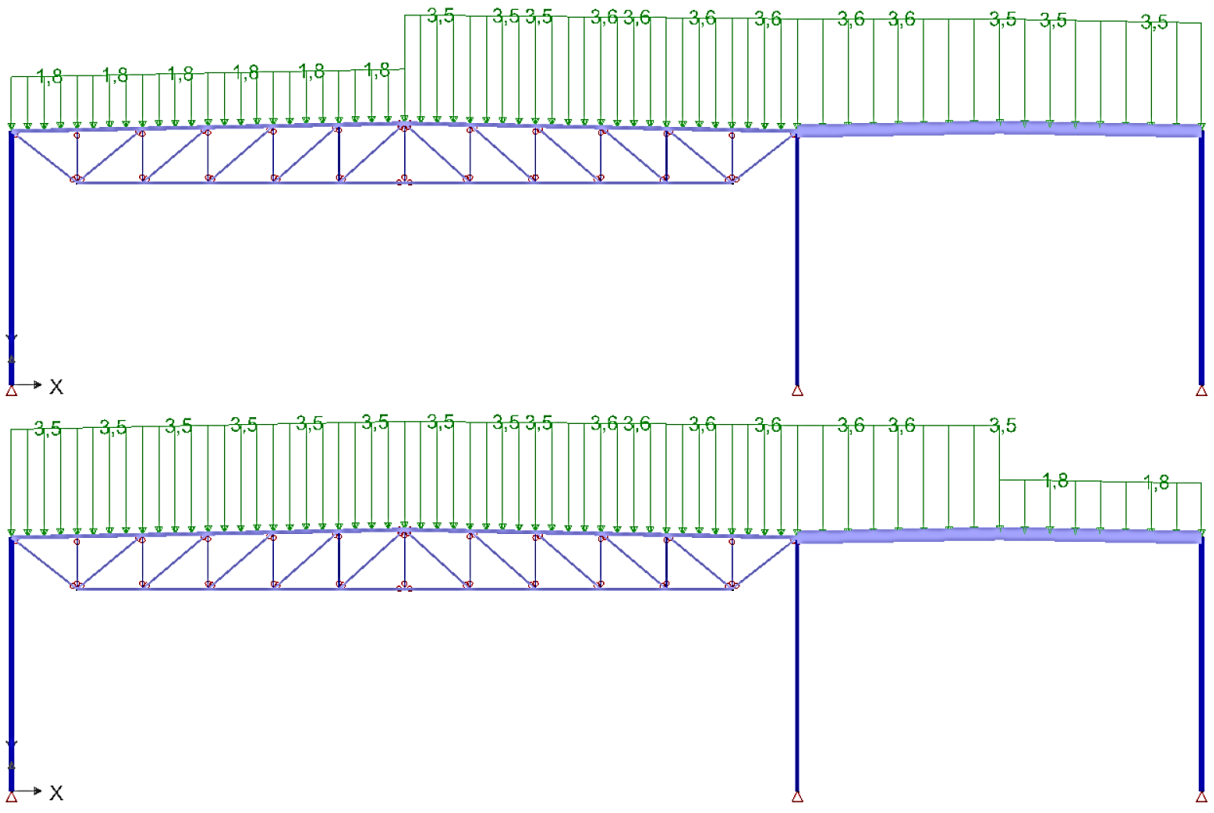
$$s_{portaal,midden} = s \cdot a = 0{,}56 \cdot 6{,}25 = 3{,}50\, kN/m$$
$$s_{portaal,kopgevel} = s \cdot a = 0{,}56 \cdot 3{,}13 = 1{,}75\, kN/m$$

Plaatselijk langs de borstweringen is: $s = \mu_2 \cdot s_k = 1{,}29 \cdot 0{,}70 = 0{,}90\, kN/m^2$.
Door bovenstaande waarde voor de sneeuwbelasting te vermenigvuldigen met de afstand tussen de portalen wordt de belasting die optreedt op het portaal bepaald in kN/m:

$$s_{portaal,midden} = s \cdot a = 0{,}90 \cdot 6{,}25 = 5{,}63\, kN/m$$
$$s_{portaal,kopgevel} = s \cdot a = 0{,}90 \cdot 3{,}13 = 2{,}81\, kN/m$$

F.2 Sneeuwbelastingen in Diamonds BuildSoft

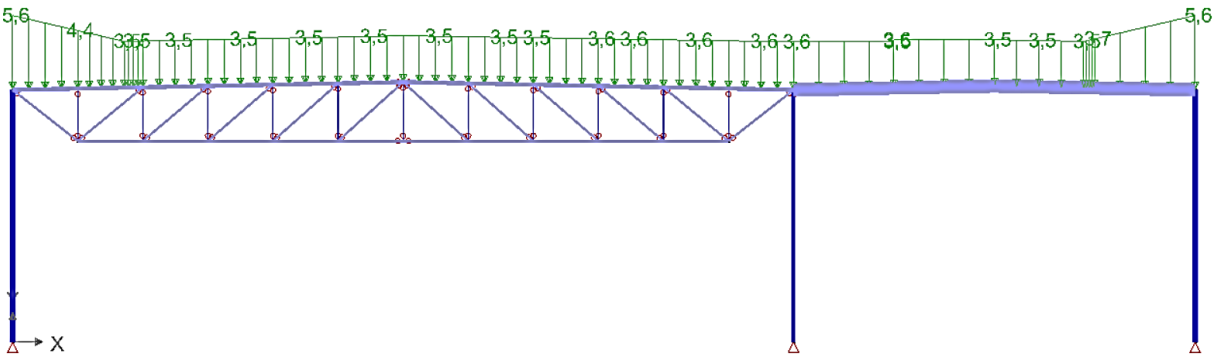
Eerder werd duidelijk dat de geautomatiseerde windbelastingen, bepaald door Diamonds BuildSoft, niet altijd overeenkomen met de werkelijke situatie in verband met obstakels. Obstakels hebben, net als bij windbelasting, invloed op de verdeling van de belasting over het dak. Opnieuw zal de geautomatiseerde invoer worden gecontroleerd en waar nodig worden aangepast met de sneeuwbelastingen van de resultaten in *Bijlage F.1 Sneeuwbelastingen met handberekeningen*. Diamonds BuildSoft heeft immers niet gevraagd hoe de dakrand eruitziet, dus deze effecten zijn in alle waarschijnlijkheid niet meegenomen in de geautomatiseerde belastingbepaling. In onderstaande figuur 28 is de automatische belastingbepaling te zien.



Figuur 28: Geautomatiseerde sneeuwbelasting waarbij in de bovenste afbeelding de wind van links komt en in de onderste afbeelding van rechts. Zonder wind is de belasting uniform. De getoonde gevallen wijken af van de werkelijke situatie.

In bovenstaande figuur 28 is te zien dat er geen opeenstapeling van sneeuw plaatsvindt achter de borstweringen. De sneeuwbelastingen van deze handberekening zijn dus nauwkeuriger dan de automatische invoer van Diamonds BuildSoft. Om die reden worden de geautomatiseerde sneeuwbelastingen van alle 3 gevallen aangepast naar de waarden die in deze bijlage te vinden zijn.
Uiteraard wordt de stuiflengte van 5,00 m hierin verwerkt. Deze belastingen ten gevolge van sneeuw worden ingevoerd in Diamonds BuildSoft in de lastgroep 'Sneeuw'.

Uit *Bijlage F.1 Sneeuwbelastingen met handberekeningen* blijkt dat bij geen wind er een gelijkmatige verdeling is van de sneeuw, waardoor de belasting overal 3,5 kN/m is. Bij wind vindt er een opeenstapeling van sneeuw plaats achter de borstwering, waardoor een maximale belasting van 5,6 kN/m ontstaat met een stijflengte van 5,00 m. De overgang van 3,5 kN/m naar 5,6 kN/m verandert geleidelijk over de stuiflengte, zoals bedoeld in figuur 27. In onderstaande figuur 29 is de aangepaste invoer te zien van de sneeuwbelasting.



Figuur 29: Sneeuwbelasting geval 2 op het portaal in Diamonds BuildSoft.

Bijlage G: Wateraccumulaties

In deze bijlage wordt Europese Commissie voor Normalisatie (CEN) als bron gebruikt bij de theoretische achtergrond, formules en beschrijvingen. Op dezelfde manier wordt ook de Nationale Bijlage gebruikt van het Nederlands Normalisatie-instituut. Daarbij worden de noodoverstorten bepaald aan de hand van Eurocode NEN-EN 1991-1-4. De waterbelastingen zijn voornamelijk afhankelijk van het aantal afvoeren/overstorten en de dakhelling.

Voor de bepaling van de belasting door regenwater moeten de volgende uitgangspunten zijn gehanteerd:

- Waterafvoer via de reguliere waterafvoeren is niet mogelijk;
- Waterafvoer via de dakrand of noodafvoeren is wel mogelijk;
- Voor het beoordelen van de bouwconstructie moet het meest ongunstige wateraccumulatiegedrag worden beschouwd. De vervorming van de constructie hangt immers af van de vorm en de plaats van de belasting. De vervorming bepaald ook weer de grootte van de wateraccumulatie die kan ontstaan.

De belasting door regenwater, rekening houdend met wateraccumulatie, op de dakoppervlakte moet zijn bepaald met de formule:

$$p_w(x) = \left(d_{hw}(x) + d_n(x)\right) \cdot \gamma_w$$

Waarin:

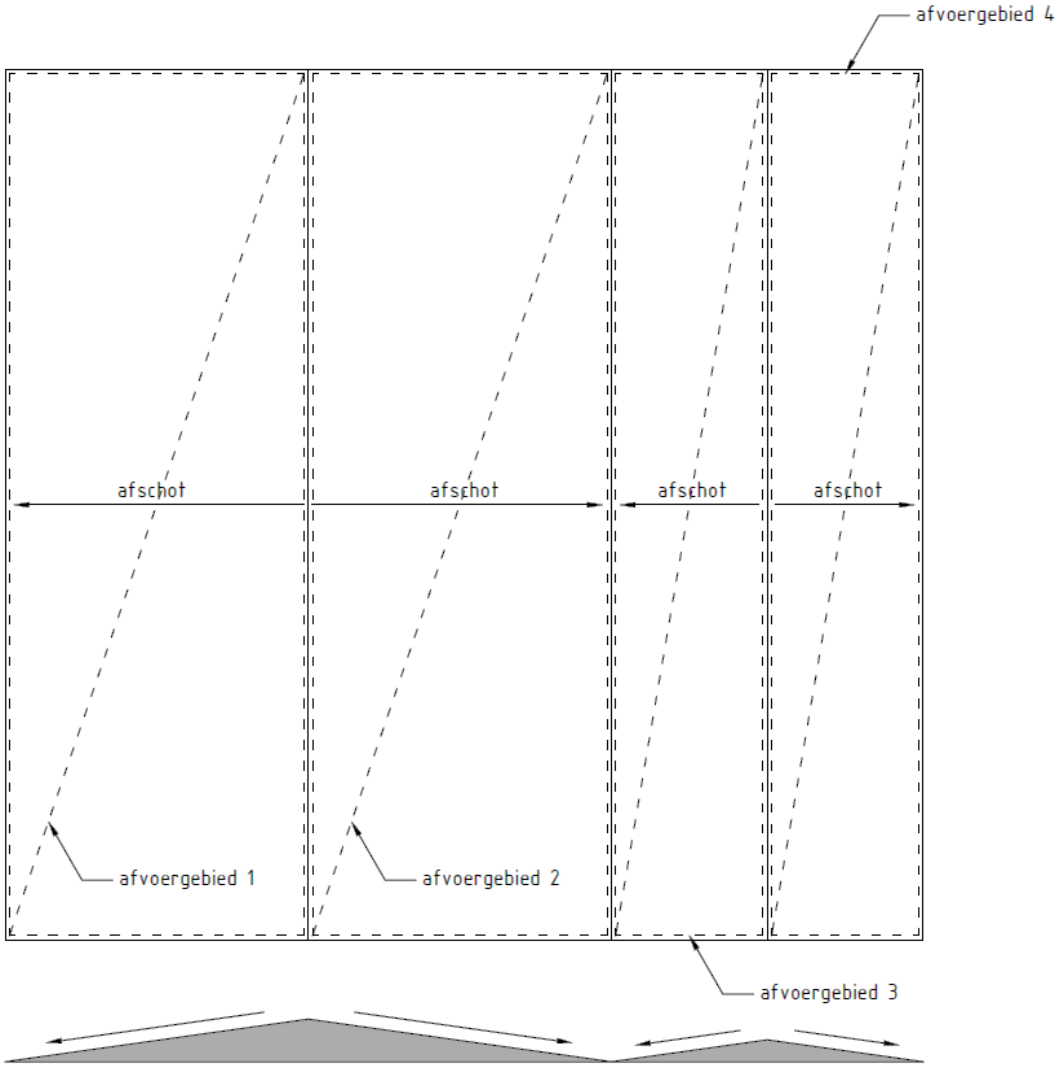
$p_w(x)$ is karakteristieke waarde van de belasting door regenwater die op positie x op het dak aanwezig is, in kN/m^2;

$d_{hw}(x)$ is de waterhoogte boven het door de waterbelasting nog onvervormde dakvlak;

$d_n(x)$ is de waterhoogte door de doorbuiging van het dakvlak veroorzaakt door wateraccumulatie;

γ_w is het volumieke gewicht van water; voor het volumieke gewicht van water moet $\gamma_w = 10{,}00\ kN/m^3$ zijn genomen.

In onderstaande figuur 30 zijn de verschillende afvoergebieden en de dakafschotten te zien.



Figuur 30: Afvoergebieden en dakafschotten. De tekening is gebaseerd op figuur NB.2 in de NEN-EN 1991-1-3+C1:2011/NB:2011. De waterstand en de vorm van het afvoergebied worden mede bepaald door het verloop van het afschot. De tekening is gemaakt met AutoCAD 2022.

Uit de tekeningen van bovenstaande figuur 30 blijkt dat: $A_1 = 875\ m^2, A_2 + A_3 = 1325\ m^2, A_4 = 450\ m^2$. Voor drie verschillende gevallen worden de reguliere afvoeren en de noodafvoeren bepaald.

Wateraccumulatie zorgt voor extra vervorming van de draagconstructie, waardoor meer water kan samenpakken en de constructie nog verder vervormt. Er is dus sprake van een iteratief proces. Om dit te voorkomen wordt aangenomen dat de wateraccumulatie niet meer mag zijn dan de sneeuwbelastingen; 0,56 kN/m^2 in het midden en 0,90 kN/m^2 aan de randen van het dak. Bij een belasting van 0,56 kN/m^2 mag de waterhoogte niet meer worden dan 57 mm en bij een belasting van 0,90 kN/m^2 mag de waterhoogte niet meer worden dan 92 mm.

G.1 Overstorten en waterhoogte voor afvoergebied 1

De in een afvoergebied aanwezige overstorten moeten in staat zijn het volgende debiet af te voeren:

$$Q_h = A \cdot i_r$$

Waarin:

Q_h is het debiet dat door de overstorten in het afvoergebied moet worden afgevoerd, in m^3/s;

A is het oppervlak van het afvoergebied, in m^2; [$A_1 = 875\ m^2$]

i_r is regenintensiteit voor een periode van 50 jaar, in m/s. [$i_r = 0{,}05 \cdot 10^{-3}\ m/s$]

$$Q_h = 875 \cdot 0{,}05 \cdot 10^{-3} \cong 0{,}044\ m^3/s$$

Met zekerheid is te zeggen dat er meerdere noodafvoeren worden toegepast.

$$\sum_{i=1}^{n} Q_{h;i} = Q_h$$

Waarin:

Q_h is het debiet dat door de overstorten in het afvoergebied moet worden afgevoerd, in m^3/s;

$Q_{h;i}$ is het debiet dat door overstort *i* moet worden afgevoerd, in m^3/s;

n is het aantal overstorten in het afvoergebied. [10 wordt aangenomen met een tussenafstand van 5,00 m]

$$Q_{h;i} = 0{,}044/10 = 0{,}0044\ m^3/s$$

De overstort zal worden toegepast in de vorm van een rechte vrije overlaat. De waterhoogte boven de overstort wordt als volgt berekend:

$$d_{nd} = 0{,}70 \cdot \left(\frac{Q_h}{b}\right)^{\frac{2}{3}}$$

Waarin:

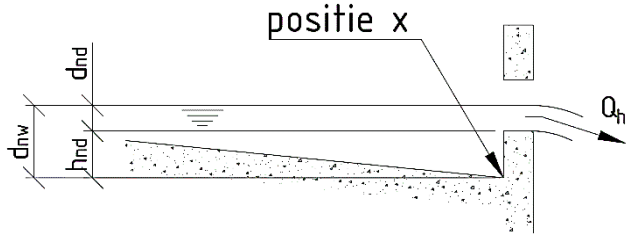
d_{nd} is de waterhoogte boven de overstort, in m;

Q_h is het debiet dat door de overstort moet worden afgevoerd, in m^3/s;

b is de breedte van de overstort, in m.

$$d_{nd} = 0{,}70 \cdot \left(\frac{0{,}0044}{0{,}61}\right)^{\frac{2}{3}} = 0{,}026\ m \cong 26\ mm$$

Voor h_{nd} (zien onderstaande figuur 31) dient minimaal 30 mm aangenomen te worden volgens de norm.



Figuur 31: Principe van een noodafvoer (Sweco Nederland B.V., 2018).

$$d_{hw} = d_{nd} + h_{nd}$$

Waarin:

d_{hw} is de waterhoogte ter plaatse van de dakrand of de overstort, in mm;

d_{nd} is de waterhoogte boven de overstort of de dakrand, in mm;

h_{nd} is de hoogte van de overstort boven het dakvlak, in mm.

$d_{hw} = 26 + 30 = 56\ mm < 57\ mm$, dus voldoet.

G.2 Hemelwaterafvoer (HWA) en noodafvoeren voor afvoergebied 2 en 3

In deze bijlage wordt de afvoercapaciteit van een dak berekend, omdat het midden van het dak geen mogelijkheden biedt voor voldoende noodafvoeren. Voor de berekening van de afvoercapaciteit zijn de afmetingen van de dakafvoeren in de vorm van HWA-buizen en het aantal HWA-buizen medebepalend. Dit aantal wordt bepaald door de totale oppervlakte van afvoergebieden 2 en 3, de hoeveelheid neerslag en de afvoercapaciteit. Aan de hand daarvan is de keuze voor de goot te maken. De inhoud van deze bijlage is gebaseerd op de berekeningsmethode die NedZink hanteert. “Bepaling van de benodigde capaciteit van het hemelwaterafvoer waaronder de afvoerbuizen en HWA-dakgoten gebeurt volgens NEN3215 en de NTR3216” (NedZink, 2021).

De in een afvoergebied aanwezige HWA-buizen moeten in staat zijn het volgende debiet af te voeren:

$$Q_h = (\alpha \cdot i) \cdot (\beta \cdot F)$$

Waarin:

Q_h is het debiet dat door de HWA-buizen in het afvoergebied moet worden afgevoerd, in l/min;

α is de reductiefactor voor de regenintensiteit voor daken;

- $\alpha = 0{,}60$ voor een plat dak met ballast van grind;
- $\alpha = 0{,}75$ voor alle overige platte daken;
- $\alpha = 1{,}00$ voor alle overige gevallen (alle hellende daken);

i is de regenintensiteit, in l/min·m^2; [$i = 1{,}80\ l/min \cdot m^2$]

β is de reductiefactor voor de dakbreedte die wordt bepaald door de dakhelling; [$\beta = 1{,}00$]

F is het oppervlak van het afvoergebied, in m^2; [$A_2 + A_3 = 1325\ m^2$]

α en β worden afgelezen uit onderstaande tabel 5 met reductiefactoren voor verschillende typen daken. Bij platte daken wordt de afvoer van regenwater naar de dakafvoer vertraagd, dus dient er een reductiefactor te worden verrekend.

Tabel 5: Reductiefactoren voor bepalen belastingen HWA-buizen bij een regenintensiteit (i) of 1,8 l⁄(min·m^2) (NedZink, 2021).

		(Denkbeeldig) dakvlak met dakhelling E				Platte daken	Platte daken met grind
Reductiefactoren		E ≤ 45˚	45˚ - 60˚	61˚ - 85˚	86˚ - 90˚		
Reductiefactor op dakbreedte	$\boldsymbol{\beta}$	1	0,8	0,6	0,3	1	1
Reductie factor bij platte daken	$\boldsymbol{\alpha}$	1	1	1	1	0,75	0,6

$$Q_h = (0{,}75 \cdot 3{,}00) \cdot (1{,}00 \cdot 1325) = 2981{,}25 \ \ l/min$$

Nu moet eerst het aantal HWA-buizen (n) worden bepaald. Hierbij dient rekening te worden gehouden met een aantal randvoorwaarden: aantal HWA-buizen per lengte dakgoot (zie onderstaande tabel 6) en aantal HWA-buizen per m^2 dakoppervlak (zie onderstaande tabel 7).

Tabel 6: Minimaal aantal HWA-buizen per lengte dakgoot (NedZink, 2021).

Afmetingen HWA-buis	Maximale lengte van de dakgoot per aangesloten HWA-buis
Ø 80 mm	20 m
Ø 100 mm	20 m
Ø 120 mm	20 m

Tabel 7: Aantal dakafvoeren per dakoppervlak (NedZink, 2021).

Dakoppervlak	Aantal dakafvoeren
≤ 100 m^2	Minimaal 2
> 100 m^2	Minimaal 2

Plaats de HWA-buis minimaal 1,00 m vanaf de hoek van de dakopstanden. Er wordt ditmaal gekozen voor 9 HWA-buizen. De af te voeren hoeveelheid water per HWA-buis is te bereken met onderstaande formule:

$$\sum_{i=1}^{n} Q_{h;i} = Q_h$$

Waarin:

Q_h is het debiet dat door de HWA-buizen in het afvoergebied moet worden afgevoerd, in l/min;

$Q_{h;i}$ is het debiet dat door de HWA-buizen *i* moet worden afgevoerd, in l/min;

n is het aantal dakafvoeren in het afvoergebied. [9 wordt aangenomen met een tussenafstand van ca. 5,00 m]

$$Q_{h;i} = 2981{,}25/9 = 331{,}25\ l/min$$

Uit onderstaande tabel 8 blijkt dat HWA-buizen met een buisdiameter van 120 mm moeten worden aangebracht met een minimale doorsnede van de goot van 181 cm^2. Een dakgoottype B55 past daar het beste bij. Grotere goten dan de vereiste minimum afmetingen kunnen ook worden aangebracht. De dakgoot moet uiteraard op afschot liggen en van laag naar hoog worden gemonteerd.

Tabel 8: Type standaard goot bij de gekozen buisdiameter (NedZink, 2021).

Maximale hoeveelheid water Q_h in l/min	**Ø buis in mm**	**Minimale doorsnede (A) goot (A ≥ 1,3 di 2) in cm²**	**Kleinste type standaard goot**
117	80	79	B37 of M37
210	100	125	B44 of M44
338	120	181	B55

G.3 Overstorten en waterhoogte voor afvoergebieden 4

In deze bijlage worden dezelfde formules gebruikt als in *Bijlage G.1 Overstorten en waterhoogte voor afvoergebied 1*.

$$Q_h = 450 \cdot 0{,}05 \cdot 10^{-3} = 0{,}023\ m^3/s$$

Er wordt ditmaal gekozen voor 10 overstorten met een tussenafstand van 5,00 m:

$$Q_{h;i} = 0{,}0225/10 = 0{,}0023\ m^3/s$$

$$d_{nd} = 0{,}70 \cdot \left(\frac{0{,}0023}{0{,}61}\right)^{\frac{2}{3}} = 0{,}017\ m = 17\ mm$$

Voor h_{nd} dient minimaal 30 mm aangenomen te worden volgens de norm.
$d_{hw} = 17 + 30 = 47\ mm$, dus voldoet.

Bijlage H: Blijvende belastingen

Het dak en de gevel staan uit verschillende geprofileerde platen en hebben een verschillende isolatie dikte. De permanente en variabele belastingen worden voor het dak en de gevel afzonderlijk bepaald aan de hand van de Hallenbouw keuzegids. Hierin zijn de karakteristieke gewichten te vinden van dakmaterialen.

$$G_k = 0{,}36\ kN/m^2$$
$$Q_k = 0{,}25\ kN/m^2$$

Gewicht dak per portaal (h.o.h. afstand 6,25 m):

$$q_{permanent} = 0{,}36 \cdot 6{,}25 = 2{,}24\ kN/m$$
$$q_{variabel} = 0{,}25 \cdot 6{,}25 = 1{,}56\ kN/m$$

In *Bijlage D.7.5 Bepalen profielen verticale gevels* bleek uit tabel 3 dat de oost- en westgevel bij een binnendoossysteem van SAB B140/600 een plaatdikte van 1,00 mm nodig hebben over de volledige lengte, met uitzondering van de hoeksegmenten. De hoeken hebben namelijk te maken met meer windzuiging, dus is daar een plaatdikte van 1,13 mm nodig. Niet alle portalen worden even zwaar belast door het gevelsysteem, al zijn de verschillen klein. Voor de eenvoud van de berekening gaan we uit van de grootste plaatdikte (1,13 mm) met een gewicht van 14,64 kg/m^2.

$$G_k = 0{,}40\ kN/m^2$$

Gewicht gevel per buitenkolom van een middenportaal (h.o.h. afstand 6,25 m):

$$q_{permanent} = 0{,}40 \cdot 6{,}25 = 2{,}49\ kN/m$$

Gewicht gevel per kolom in de kopgevel (h.o.h. afstand 5,83 m):

$$q_{permanent} = 0{,}40 \cdot 5{,}83 = 2{,}32\ kN/m$$

Gewicht gevel per kolom in de kopgevel (h.o.h. afstand 4,50 m):

$$q_{permanent} = 0{,}40 \cdot 4{,}50 = 1{,}79\ kN/m$$

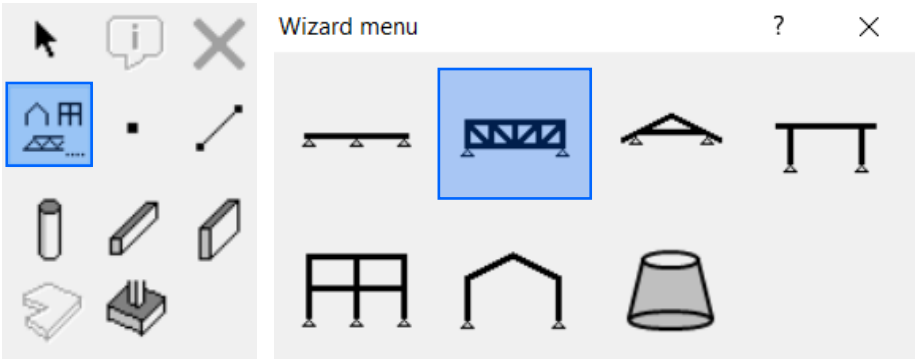
De veiligheidsfactoren worden in rekening gebracht door Diamonds BuildSoft. De belastingen van het dak op de draagconstructie worden in Diamonds BuildSoft ingevoerd in de lastgroep ‘permanente lasten’. De belastingen ten gevolge van het aanbrengen van zonnepanelen worden ingevoerd in de lastgroep ‘nuttige lasten H: daken’.

Bijlage I: Diamonds BuildSoft

In dit project worden drie varianten beschouwd van overspanningsconstructie om de overspanning van 35,00 m te realiseren. Voor de overspanning van 18,00 m wordt gekozen voor een gewalst profiel, met een eventuele optimalisatie naar een raatligger. Uit Paragraaf 4.31 Schattingsregels overspannings-constructies in staal *in het boek* Tabellen voor bouw- en waterbouwkundigen *blijkt dat deze overspanningen prima te maken zijn met vakwerken, maar dat dit ook mogelijk is met plaatspanten en raatliggers. Doordat de belastingen, bestaande uit eigengewicht, permanente lasten en nuttige lasten in combinatie met wind of sneeuw, wordt de berekening van de momenten, dwarskrachten en normaalkrachten in de verschillende constructiedelen erg complex. Om die reden wordt gebruik gemaakt van Diamonds BuildSoft rekensoftware. In deze bijlage wordt een beschrijving gegeven van het proces dat wordt doorlopen om een rekenmodel van één van de portalen van de industriehal in Diamonds BuildSoft in te voeren.*

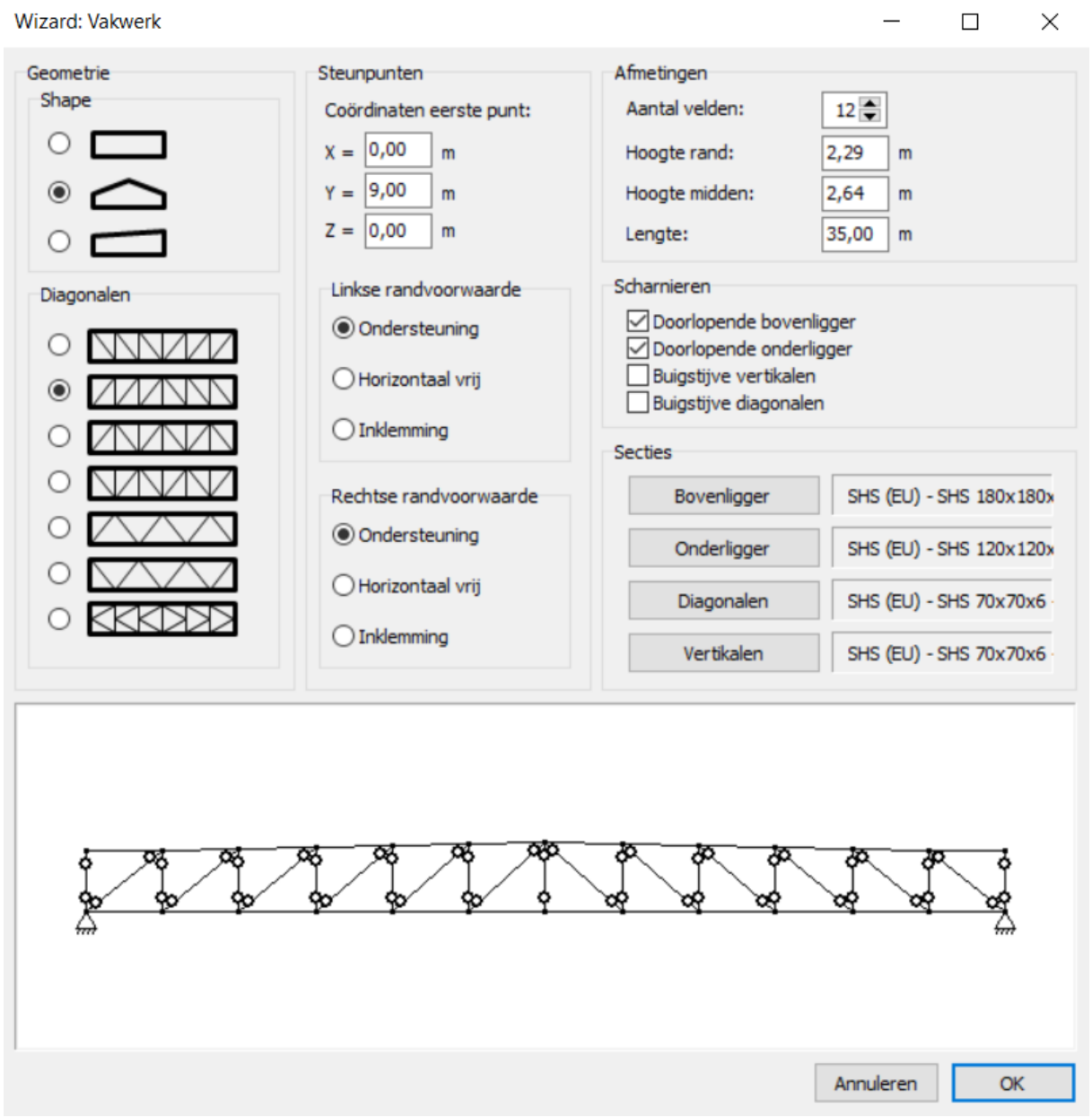
I.1 Structuur definiëren

De vorm van de structuur kan op verschillende manieren worden ingegeven, namelijk door nieuwe lijnen in te tekenen of door gebruik te maken van de structuur generator. In onderstaande figuur 32 is te zien welke functie wordt gebruikt voor de invoer van een vakwerkligger.



Figuur 32: Links is het palet te zien met allerlei verschillende functies om een structuur in te tekenen. In het blauw staat de structuur generator aangegeven. Rechts is het zogenoemde wizard menu te zien van de structuur generator. In het blauw staat de keuze voor een vakwerk aangegeven.

Na het aanklikken van de vakwerkfunctie in de structuur generator verschijnt het wizardscherm voor vakwerken, zoals te zien in onderstaande figuur 33. Het vakwerk dat is te zien is in de preview is gebaseerd op de ingevoerde gegevens. De minimale vrije hoogte van 9,00 m is ingevoerd als een y-coördinaat. Er zijn verschillende aantallen velden mogelijk, waarbij om te beginnen is gekozen voor 12 velden. De hoogte van de rand is het verschil tussen de bovenkant van het staalwerk en de minimale vrije hoogte van 9,00 m. Voor deze parameter is 2,29 m ingevoerd. De bovenkant van de kolom ligt hierdoor op 11,29 m, zoals te zien op de detailtekeningen van de buitenschil op de staalconstructie. In het midden heeft het vakwerk een hoogte van 2,64 m.

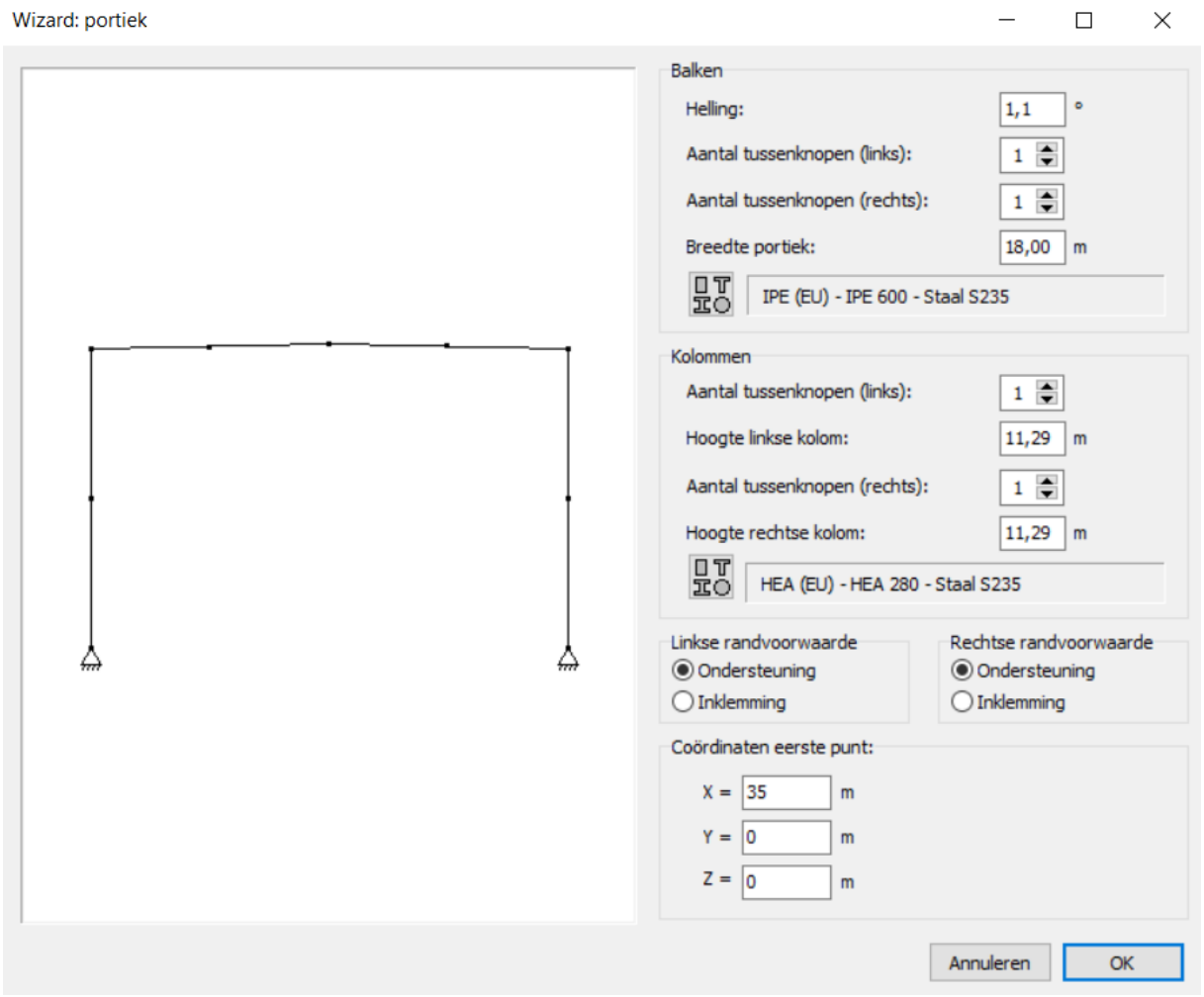


Figuur 33: Wizard: Vakwerk in Diamonds BuildSoft. De gegevens die worden weergegeven zijn de gegevens voor het vakwerk van 35,00 m. De gekozen secties voor bovenligger, onderligger, diagonalen en verticalen zullen later worden geoptimaliseerd.

In het kader 'secties' kunnen profielen worden ingevoerd voor de bovenligger, onderligger, diagonalen en verticalen. De profielen kunnen later worden aangepast door de bibliotheek te gebruiken voor de sectie te herdefiniëren. De staalkwaliteit kan ook in een later stadium worden aangepast door het materiaal te herdefiniëren in de bibliotheek.

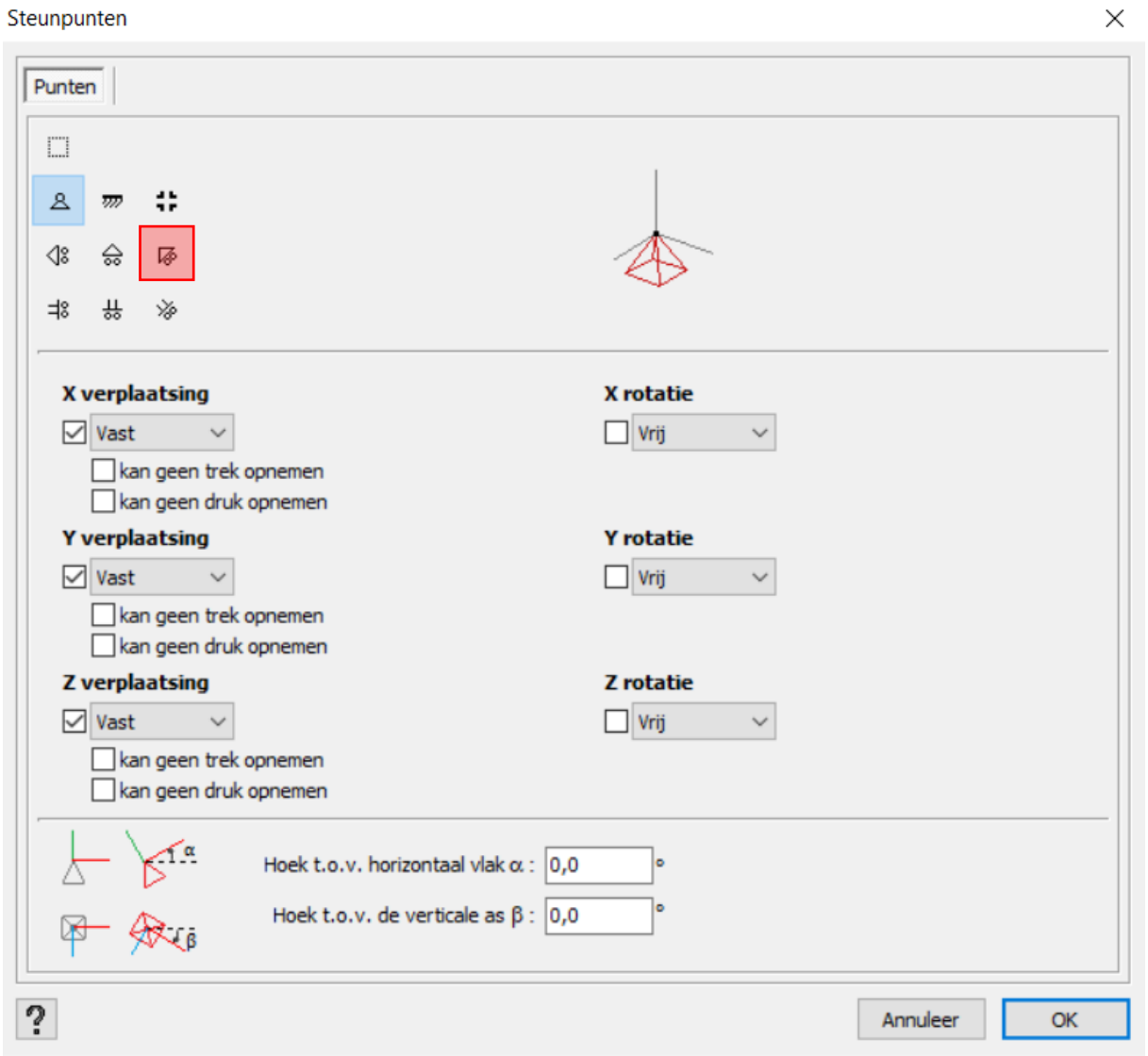
In bepaalde situaties is een vakwerk niet wenselijk en is de keuze voor een plaatligger of raatligger een voor de hand liggende keuze. De opties voor andere portaal zijn te zien in het wizard menu van bovenstaande figuur 32. Voor het portaal van de opslag moet een portiek worden toegepast met de portiekfunctie.

Na het aanklikken van de portiekfunctie in de structuur generator verschijnt opnieuw het wizard-scherm voor vakwerken, zoals te zien in onderstaande figuur 34. De portiek is te zien is in de preview is gebaseerd op de ingevoerde gegevens.



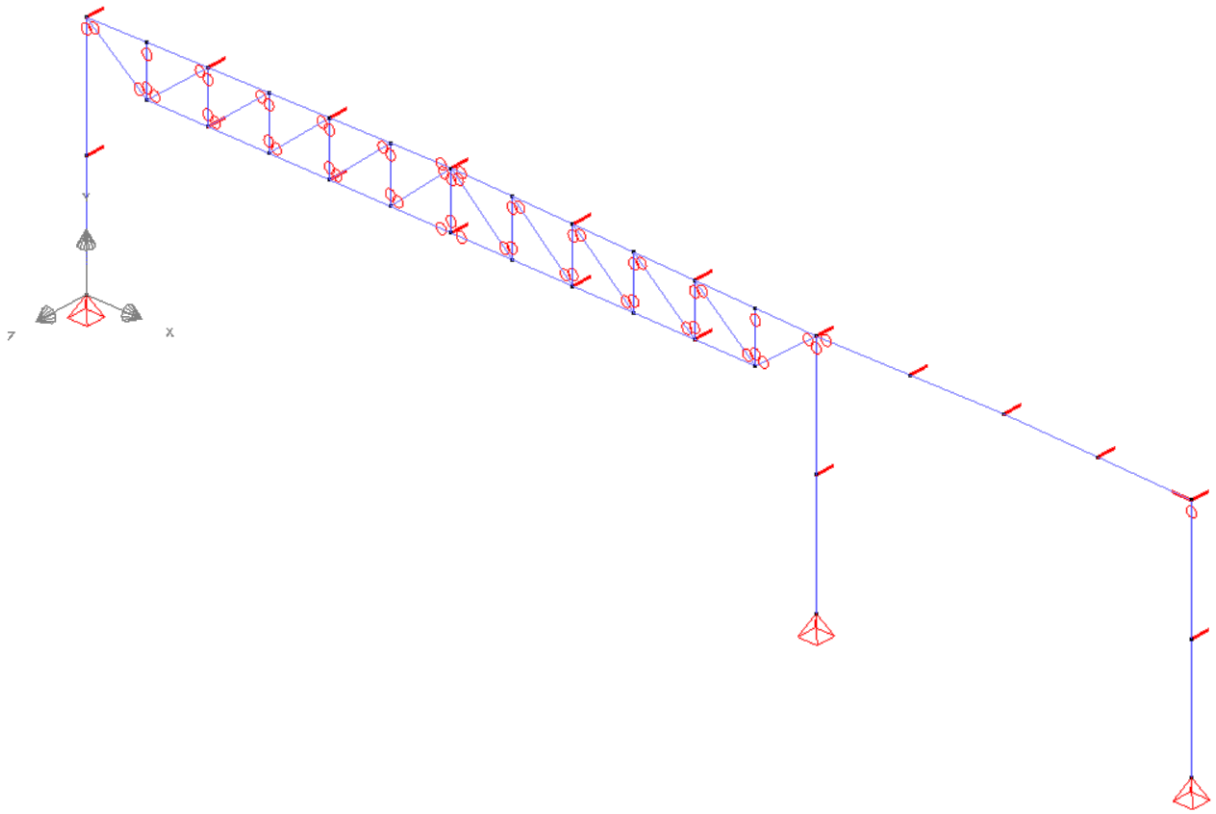
Figuur 34: Wizard: portiek in Diamonds BuildSoft. De gegevens die worden weergegeven zijn de gegevens voor de portiek met een overspanning van 18,00 m. De gekozen secties voor de liggers en de kolommen zullen later worden geoptimaliseerd.

Door op 'OK' te klikken worden de structuren in de preview getekend in het werkvlak. Onder het vakwerk moeten nog kolommen worden toegevoegd. Dat kan door de functie 'Nieuwe lijn' te gebruiken. Door de punten aan de onderkant van de nieuwgetekende kolommen te selecteren kan op die punten een steunpunt worden ingevoerd door 'Definieer steunpunt' te gebruiken. Het venster in onderstaande figuur 35 waarbij geopend. Er wordt gekozen voor scharnierende steunpunten.



Figuur 35: Scherm om de steunpunten te definiëren. In het rood is de optie voor zijdelingse steunen aangegeven.

Om aan te geven dat dit portaal uit een 3D-industriehal komt en dus zijdelings gesteund wordt, worden de knooppunten in de z-richting vastgezet met uitzondering van de steunpunten die al vaststaan in de z-richting. De industriehal is verder vierzijdig geschoord. Dat wil zeggen dat er in het rekenmodel van het portaal alleen scharnierende knopen worden aangebracht, maar dat er wel een steun moet worden aangebracht in de x-richting. Het resultaat hiervan is dat er rode streepjes verschijnen in de globale z-richting, zoals te zien in onderstaande figuur 36. Daarmee wordt aangegeven dat verplaatsing in die richting niet mogelijk is.



Figuur 36: Het portaal na het volgen van de beschrijving van de invoer in Diamonds BuildSoft. In het rood zijn de steunpunten, scharnieren en zijdelingse steunen aangegeven.

De zijdelingse steunen hebben invloed op knikken om de z'-as (de zwakke as van de profielen) en hebben daarmee ook een invloed op de kniklengtes. Als een profiel geen belemmeringen ondervindt om naar voor of naar achter uit te buigen, dan dienen de staven, waaruit bijvoorbeeld een kolom of ligger bestaat, te worden gegroepeerd. Is dat niet het geval, dan dienen de staven te worden gedegroepeerd. Iedere staaf buigt dan afzonderlijk van de andere staaf. Simpel gezegd, tussen de zijdelingse steunen is alles om de z'-as gegroepeerd, met op de zijdelingse steunen een onderbreking. In onderstaande figuur 37 is de functie te zien waarbij dit kan worden aangepast.

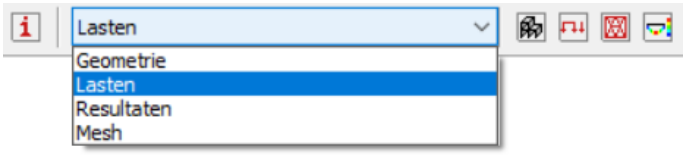


Figuur 37: Knoppen om staven en lasten te groeperen of te degroeperen.

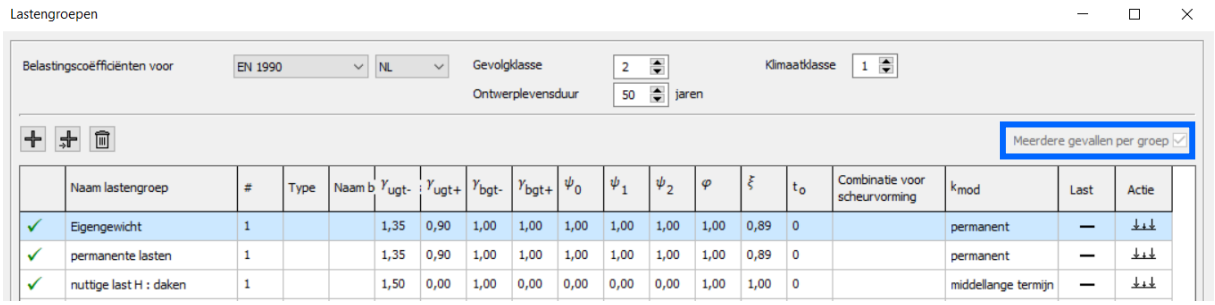
Hetzelfde geldt voor knikken om de y'-as (de sterke as van de profielen) met een invloed op de kniklengtes. Als een profiel geen belemmeringen ondervindt om uit het vooraanzicht van het portaal te buigen (boven, onder, links en rechts), dan dienen de staven, waaruit bijvoorbeeld een kolom of liggers bestaat, te worden gegroepeerd. Is dat niet het geval, dan dienen de staven te worden gedegroepeerd. De groepen fysisch, lasten en secties worden niet aangepast.

I.2 Belastingen definiëren

Voor de lasteninvoer gaan we naar de configuratie ‘Lasten’. ‘Lasten’ is een afzonderlijk palet met daarin alle functies voor het definiëren van de verschillende belastingen en het genereren daarvan.



Het definiëren van belastingen begint bij de functie ‘Definiëren lastgroepen’ $\gamma_g^{\gamma_u}$. Het venster in onderstaande figuur 38 wordt vervolgens geopend. Hier kunnen de juiste belastingcoëfficiënten worden gekozen en de gevolgklasse, ontwerplevensduur en klimaatklasse worden ingevoerd.



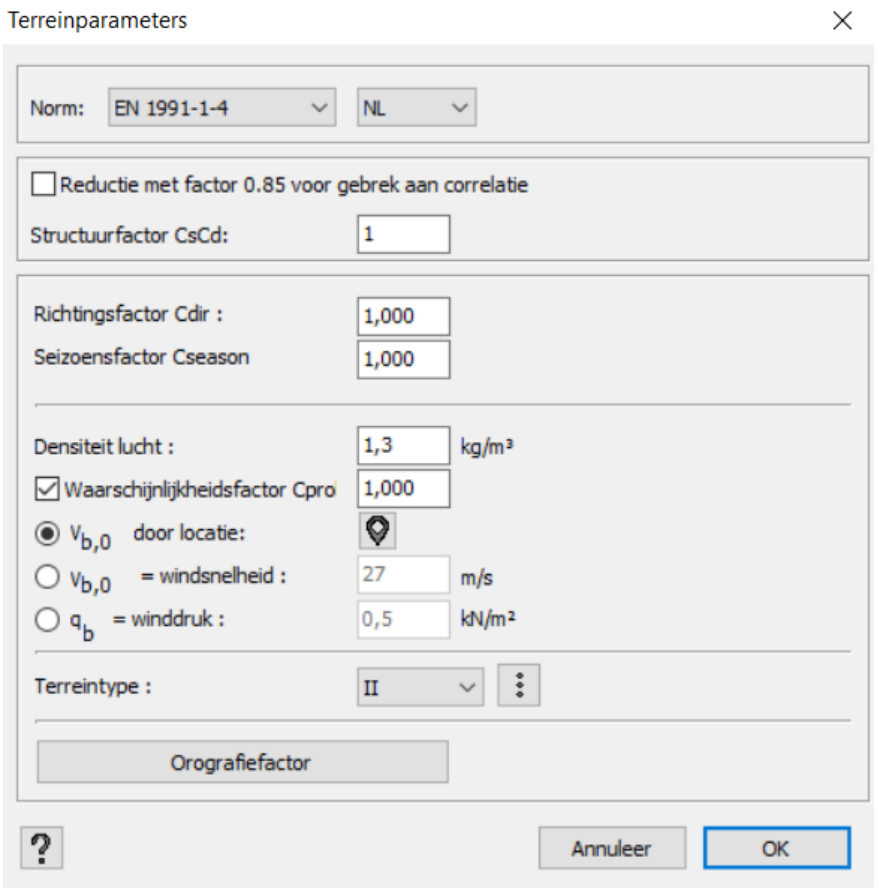
Figuur 38: Lastgroepenscherm in Diamonds BuildSoft. Door de functie in het blauwe kader aan te vinken, kan voor iedere lastengroep meerdere gevallen worden gegenereerd.

In deze constructieberekening wordt gekeken naar 4 verschillende lastgroepen per rekenmodel:

- Lastgroep 1: Eigengewicht van de constructiedelen
- Lastgroep 2: Permanente lasten
- Lastgroep 3: Nuttige lasten H: Daken
- Lastgroep 4a: Wind
- Lastgroep 4b: Sneeuw

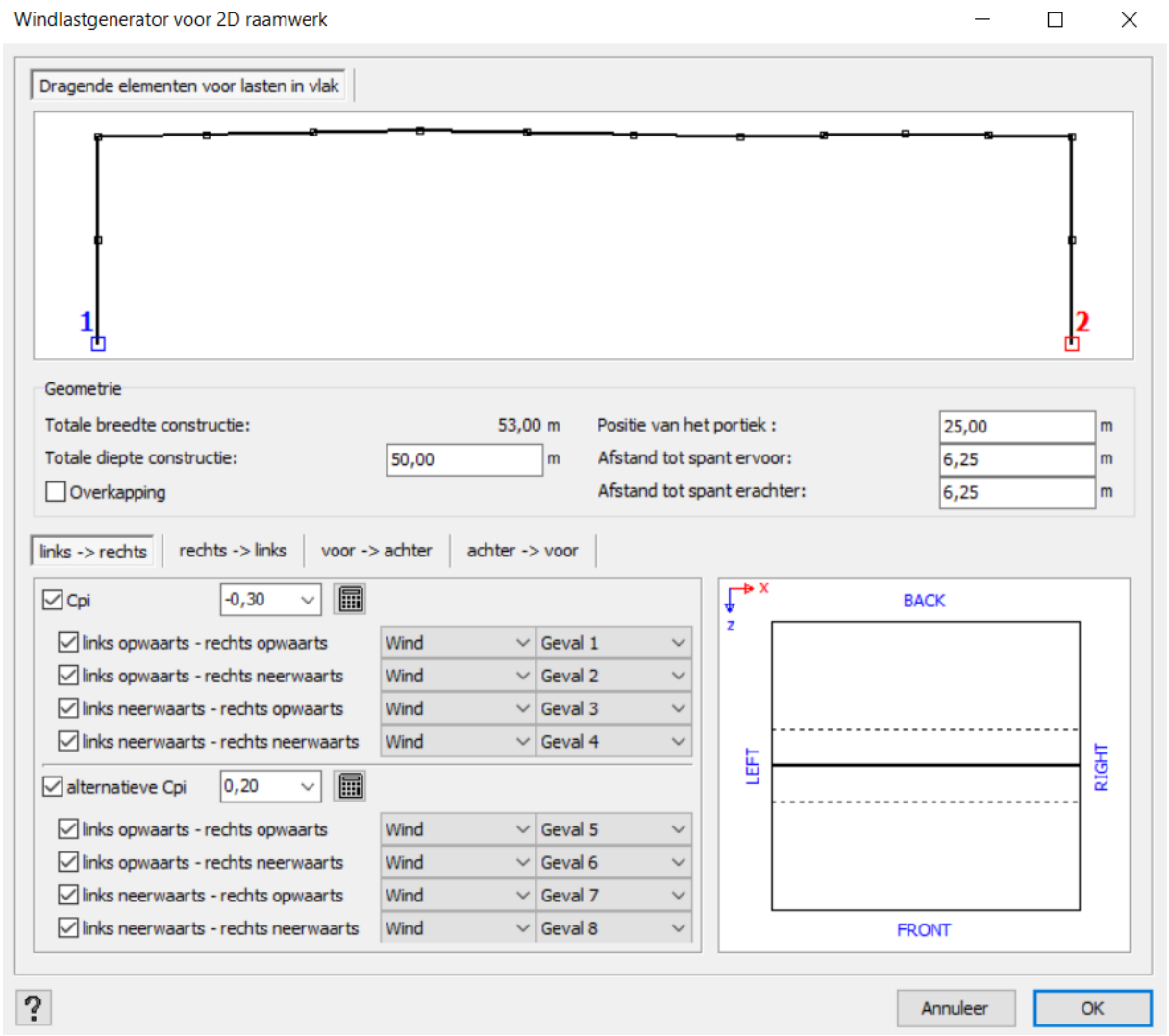
Lastgroepen 4a en 4b kunnen door Diamonds BuildSoft automatisch worden gegenereerd. Met de functie ‘Voeg lastgroep toe’ kunnen lastgroepen worden toegevoegd aan de lijst. Via een uitklapmenu kan worden gekozen voor het juiste lasttype. Door ‘Meerdere gevallen per groep’ aan te vinken kan ervoor worden gekozen om 24 gevallen in beschouwing te nemen voor windbelastingen of bijvoorbeeld 3 gevallen voor sneeuwbelasting. Later in deze bijlage wordt hier dieper op ingegaan. Door op ‘OK’ te klikken worden de lastengroepen onthouden.

Om belastingen automatisch te genereren moeten een aantal gegevens worden ingevoerd; norm, windgebied, terreintype II, etc. Deze gegevens worden bepaald in het ‘Terreinparameters’-scherm dat geopend kan worden door te klikken op . In onderstaande figuur 39 is het scherm te zien, waar terreinparameters worden ingevoerd.



Figuur 39: Terreinparameters in Diamonds BuildSoft. Met deze gegevens worden de windbelastingen automatisch gegenereerd voor alle 24 gevallen.

Door de buitenrand van het portaal te selecteren (de dragende elementen voor lasten in het vlak) en te klikken op wordt het scherm geopend van de windlastgenerator voor 2D raamwerken, zoals te zien in onderstaande figuur 40. Door te klikken op 'OK' worden de windbelastingen voor alle 24 gevallen gegenereerd. Vanaf hier worden de belastingen aangepast volgens de beschrijving in *Bijlage E.5 Windbelastingen in Diamonds BuildSoft*.



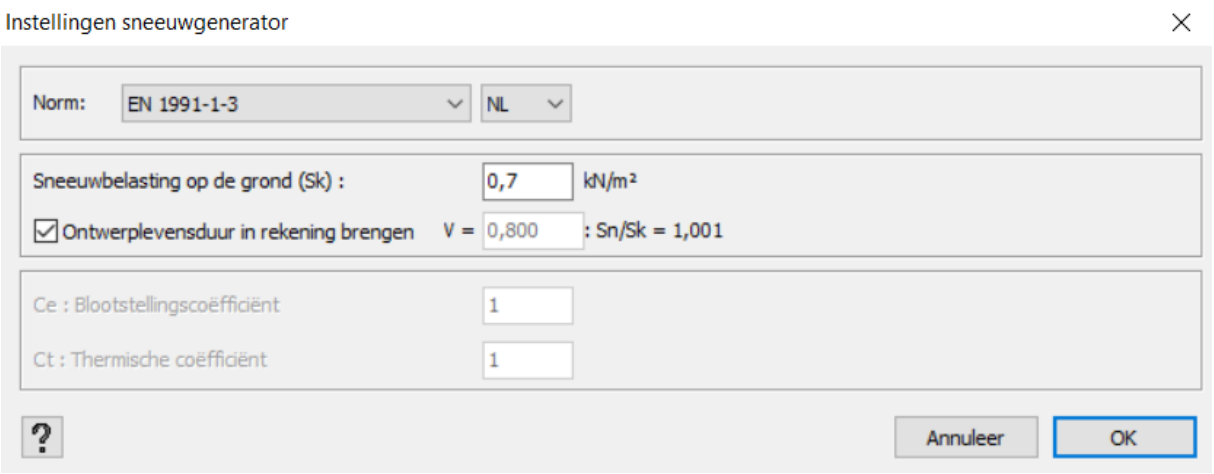
Figuur 40: Windlastgenerator voor 2D raamwerk in Diamonds BuildSoft. In de preview zijn de dragende elementen voor lasten in het vlak te zien (de buitenrand van de portiek). Verder kan de positie van de portiek worden bepaald en de afstand tussen de spanten. In het plaatje rechtsonder is de positie van de portiek te zien en het veld dat hierop rust.

De volgende 24 gevallen voor wind worden er beschouwd:

1. Wind links opwaarts -> rechts opwaarts (c_{pi} = −0,3)
2. Wind links opwaarts -> rechts neerwaarts (c_{pi} = −0,3)
3. Wind links neerwaarts -> rechts opwaarts (c_{pi} = −0,3)
4. Wind links neerwaarts -> rechts neerwaarts (c_{pi} = −0,3)
5. Wind links opwaarts -> rechts opwaarts (c_{pi} = 0,2)
6. Wind links opwaarts -> rechts neerwaarts (c_{pi} = 0,2)
7. Wind links neerwaarts -> rechts opwaarts (c_{pi} = 0,2)
8. Wind links neerwaarts -> rechts neerwaarts (c_{pi} = 0,2)
9. Wind rechts opwaarts -> links opwaarts c_{pi} = −0,3)
10. Wind rechts opwaarts -> links neerwaarts (c_{pi} = −0,3)
11. Wind rechts neerwaarts -> links opwaarts (c_{pi} = −0,3)
12. Wind rechts neerwaarts -> links neerwaarts c_{pi} = −0,3)

13. Wind rechts opwaarts -> links opwaarts (c_{pi} = 0,2)
14. Wind rechts opwaarts -> links neerwaarts (c_{pi} = 0,2)
15. Wind rechts neerwaarts -> links opwaarts (c_{pi} = 0,2)
16. Wind rechts neerwaarts -> links neerwaarts (c_{pi} = 0,2)
17. Wind voor opwaarts achter opwaarts (c_{pi} = −0,3)
18. Wind voor neerwaarts achter neerwaarts (c_{pi} = −0,3)
19. Wind voor opwaarts achter opwaarts (c_{pi} = 0,2)
20. Wind voor neerwaarts achter neerwaarts (c_{pi} = 0,2)
21. Wind achter opwaarts voor opwaarts (c_{pi} = −0,3)
22. Wind achter neerwaarts voor opwaarts (c_{pi} = −0,3)
23. Wind achter opwaarts voor opwaarts (c_{pi} = 0,2)
24. Wind achter neerwaarts voor opwaarts (c_{pi} = 0,2)

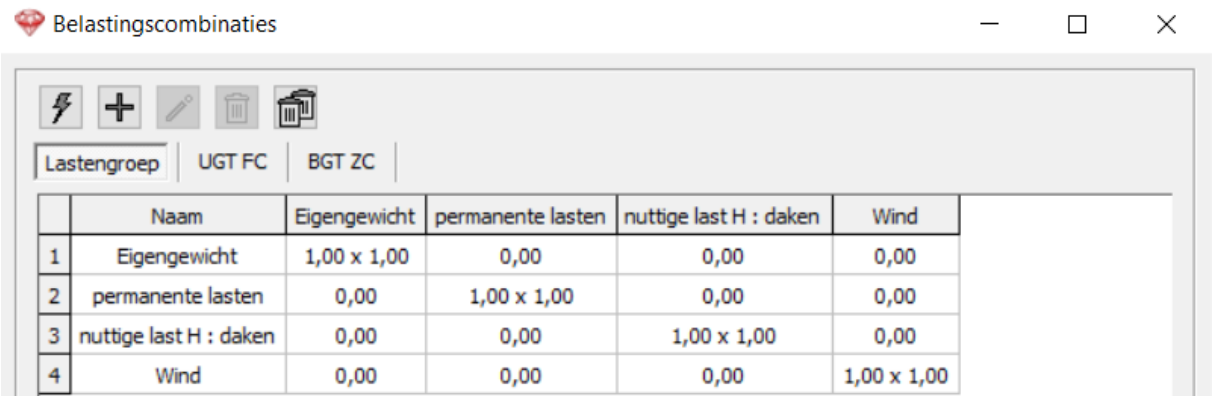
Er worden twee gevallen voor sneeuw beschouwd: één zonder windinvloeden en één met windinvloeden. Aan beide kanten bevinden zich borstweringen, dus de richting van de wind maakt niet uit voor de ophoping van de sneeuw. De automatische invoer voor sneeuwbelastingen wordt aangepast volgens de beschrijving in *Bijlage F.2 Sneeuwbelastingen in Diamonds BuildSoft*.



Figuur 41: Instellingen sneeuwgenerator in Diamonds BuildSoft.

I.3 Belastinggevallen en belastingcombinaties

Met de invoer van de lastengroepen kunnen de belastingcombinaties automatisch worden gegenereerd. Door te klikken op  opent het scherm waar de belastingcombinatie worden bepaald. Door te klikken op  worden de belastingcombinaties automatisch gegenereerd. In onderstaande figuur 42 is het scherm te zien met de automatisch gegenereerde belastingcombinaties. Door op ‘OK’ te klikken worden de belastingcombinaties onthouden en toegepast bij elastische analyses.



	Naam	Eigengewicht	permanente lasten	nuttige last H : daken	Wind
1	Eigengewicht	1,00 x 1,00	0,00	0,00	0,00
2	permanente lasten	0,00	1,00 x 1,00	0,00	0,00
3	nuttige last H : daken	0,00	0,00	1,00 x 1,00	0,00
4	Wind	0,00	0,00	0,00	1,00 x 1,00

Figuur 42: Belastingscombinaties in Diamonds BuildSoft. Alle combinaties zijn te bekijken in de tabbladen 'Lastengroep', 'UGT FC' en 'BGT ZC'.

Belastingcombinaties UGT FC

B.G.	Omschrijving	Fu.C.1	Fu.C.2	Fu.C.3	Fu.C.4	Fu.C.5	Fu.C.6
B.G.1	Eigengewicht	1,20	1,20	1,35	0,90	0,90	0,90
B.G.2	Permanente last	1,20	1,20	1,35	1,20	1,20	1,35
B.G.3	Nuttige last	1,50	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00
B.G.4	Wind	0,00	1,50	0,00	0,00	1,50	0,00

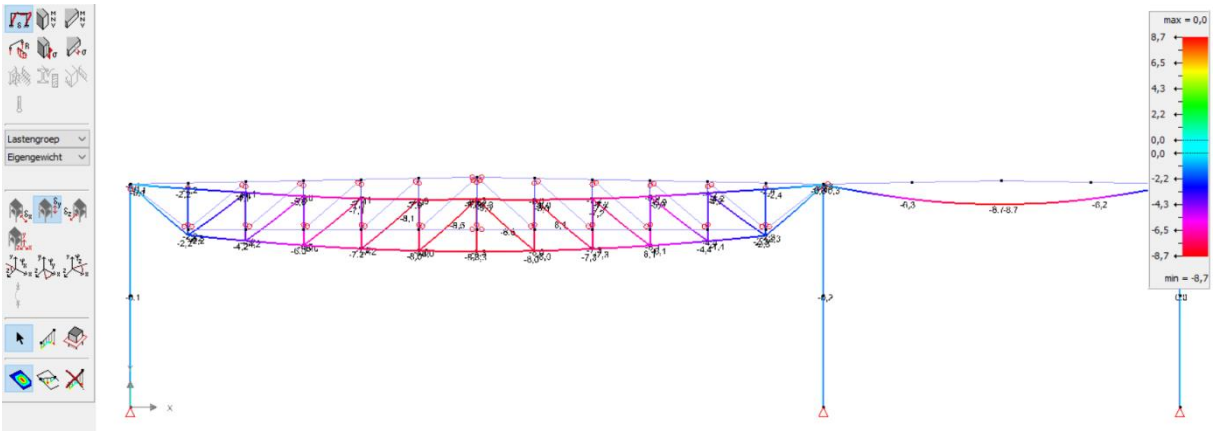
B.G.	Omschrijving	Fu.C.7	Fu.C.8	Fu.C.9	Fu.C.10	Fu.C.11	Fu.C.12
B.G.1	Eigengewicht	1,20	1,20	1,35	0,90	0,90	0,90
B.G.2	Permanente last	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90	0,90
B.G.3	Nuttige last	1,50	0,00	0,00	1,50	0,00	0,00
B.G.4	Wind	0,00	1,50	0,00	0,00	1,50	0,00

Belastingcombinaties BGT ZC

B.G.	Omschrijving	Ze.C.1	Ze.C.2	Ze.C.3
B.G.1	Eigengewicht	1,00	1,00	1,00
B.G.2	Permanente last	1,00	1,00	1,00
B.G.3	Nuttige last	1,00	0,00	0,00
B.G.4	Wind	0,00	1,00	0,00

I.4 Elastisch analyseren

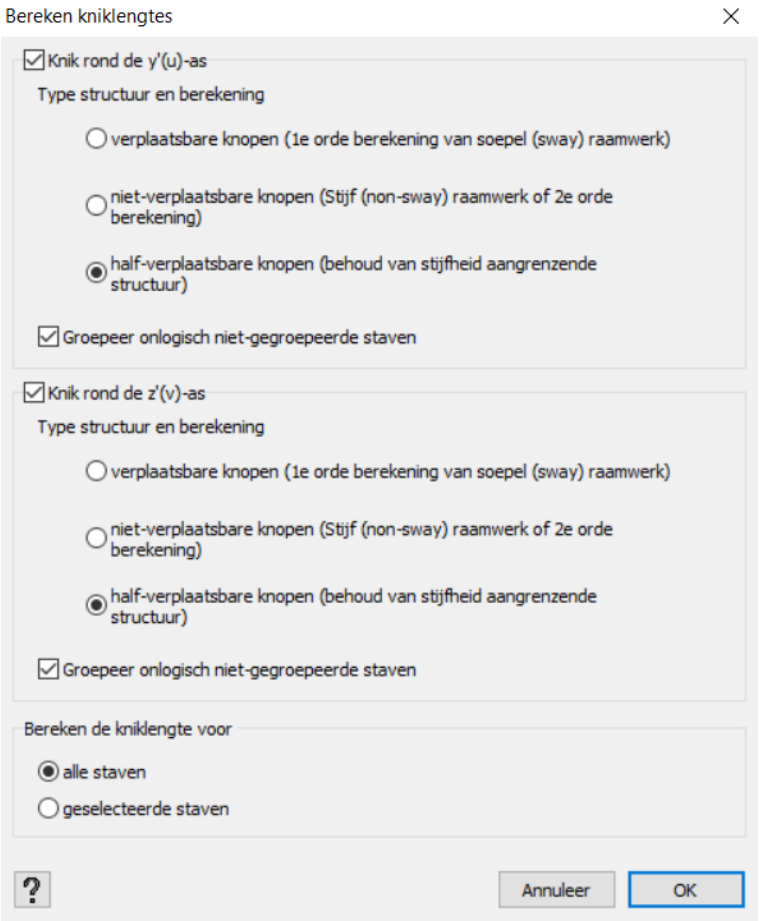
Na alle voorgaande stappen te hebben doorlopen is het rekenmodel gereed om elastisch te worden geanalyseerd. De elastische analyse wordt gestart door te drukken op . Als eerste wordt gevraagd om een 'mesh' te genereren. Na het genereren van een 'mesh' wordt gevraagd naar de parameters, zoals het aantal iteraties. Standaard staat deze op 50 iteraties ingesteld, dus daar wordt niets aan aangepast. Door op 'OK' te klikken wordt de elastische analyse gestart. Na afloop van de analyse zijn voor alle lastgroepen en belastingcombinaties de resultaten in te zien voor doorbuiging , interne staafkrachten en bijvoorbeeld reactiekrachten en spanningen . Dit is te zien in onderstaande figuur 43.



Figuur 43: Resultatenscherm in Diamonds BuildSoft. In het grijze kader aan de linkerzijde kunnen verschillende vormen van resultaten worden aangeklikt en een andere lastengroep worden geselecteerd.

I.5 Weerstand en stabiliteitscontrole

In bovenstaande figuur 43 is te zien dat de weerstand en stabiliteitscontrole grijsgekleurd is. Allereerst moet een normtoets voor staal worden uitgevoerd . Nog voordat de normtoets kan worden uitgevoerd moeten uiteraard eerst de kniklengtes worden bepaald met . In onderstaande figuur 44 is een scherm te zien waar gekozen kan worden voor verschillende structuren en berekeningen voor knik rond de y'-as en knik rond de z'-as. Er wordt gekozen voor half-verplaatsbare knopen (behoud van stijfheid aangrenzende structuur). Deze berekeningswijze van de kniklengtes is de beste benadering van de realiteit. Voor alle staven worden de kniklengtes berekend.

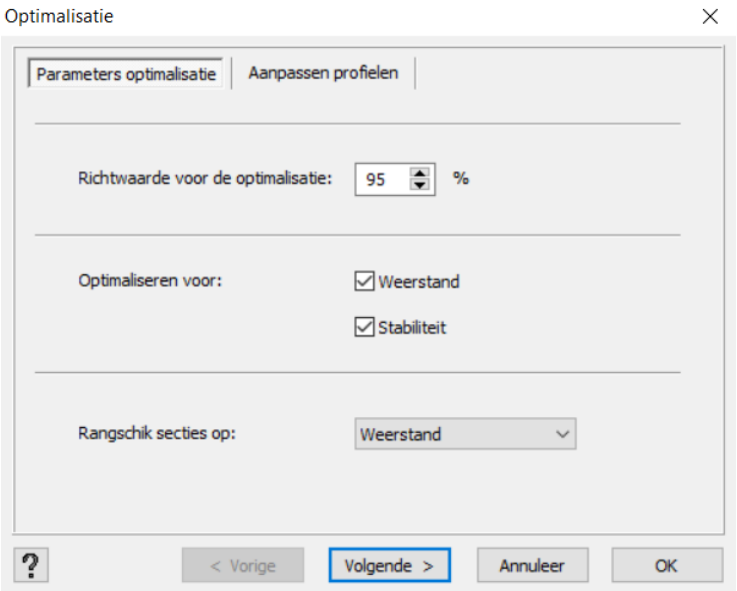


Figuur 44: Berekening kniklengtes in Diamonds BuildSoft.

Na de berekening van de kniklengtes kan de normtoets worden uitgevoerd. Via het tabblad ‘Analyseer’ op beginscherm is allereerst gekozen voor Eurocode 3: 1993-1-1/3 volgens de Nederlandse Nationale Bijlage. Na de uitvoer van de normtoets wordt de weerstand- en stabiliteitscontrole in het resultatenscherm geactiveerd.

I.6 Optimalisatie

Het is niet zeker of de gekozen profielen voldoen aan de voorwaarden voor spanning, stabiliteit en doorbuiging. Diamonds BuildSoft biedt de functie voor optimalisatie  Door op deze knop te klikken verschijnt het scherm dat is te zien in onderstaande figuur 45.



Figuur 45: Optimalisatie in Diamonds BuildSoft. De richtwaarde voor de optimalisatie kan hier worden gekozen, net als een optimalisatie voor weerstand en/of stabiliteit.

De enige aanpassing die is gedaan voor de optimalisatie is het verlagen van de richtwaarde van 95% naar 85%. Door op ‘OK’ te klikken wordt de optimalisatie gestart. Het duurt ongeveer 10 minuten voordat de optimalisatie is afgerond, waarbij de profieltypen blijven behouden. Dat wil zeggen dat bijvoorbeeld een HEA-profiel een HEA-profiel blijft, maar dat alleen de grootte van het profiel wordt aangepast. Na afloop verschijnt een scherm waar aanpassingen voor de profielen worden voorgesteld. Hier kunnen optimalisaties worden aangevinkt of afgevinkt, afhankelijk van de voorkeuren. Door op ‘OK’ te klikken worden de gekozen optimalisaties verwerkt in model. Voor de resultaten moet de elastische analyse opnieuw worden uitgevoerd. Voor weerstand- en stabiliteitsgegevens moet de normtoets opnieuw worden uitgevoerd.

Op basis van deze uitkomst worden de profielen definitief vastgesteld met handberekeningen. De handberekeningen hebben het eindoordeel en zijn de definitieve optimalisatie voor het vakwerk, de plaatligger en de raatligger van dit eindwerk.

Bijlage J: Vakwerkligger

Anders dan bij plaatspanten of raatliggers bestaat er grote diversiteit in het ontwerp van een vakwerk. Een vakwerk is een veel geziene toepassing bij bruggen en liggers. In dit hoofdstuk beperken wij ons tot de vakwerkliggers en gaan we kijken naar verschillende vakwerktypen die veel worden toegepast in industriegebouwen. Uit een korte en eenvoudige voorselectie zullen drie vakwerktypen overblijven die potentieel toegepast kunnen worden in de industriehal. Van beide vakwerken worden rekenmodellen gemaakt in Diamonds BuildSoft, waarbij gevarieerd wordt met windbelasting, sneeuwbelasting en zonnepanelen. Aan de hand van de maximale druk- en trekkrachten die hieruit voortkomen worden berekeningen gemaakt en profielen bepaald. Als de vakwerkligger aan alle voorwaarden voldoet, zal deze worden meegenomen in de calculatie waarin de kosten voor materiaal, conservering, productie en transport worden meegenomen.

J.1 Basisprincipes van een vakwerkligger

Vakwerkliggers zijn gebaseerd op een eeuwen oud principe dat zich baseert op de vormvastheid van driehoeken. Driehoeken, ongeacht de vorm waarin ze voorkomen, zijn namelijk de enige vormen in de meetkunde die zelf-stabiel zijn. Significante vervormingen kunnen alleen optreden als de staven scheuren of knikken als gevolg van te grote druk- en trekkrachten. Alle driehoeken in een vakwerk zorgen voor een grote drukband in de bovenzone en een grote trekband in de onderzone. Bij standaardprofielen wordt een hoger traagheidsmoment bereikt door meer materiaal op een grotere afstand van het middelpunt van de doorsnede aan te brengen. Daardoor is de inwendige arm van de doorsnede groter en kan het profiel zwaarder worden belast. Feitelijk gebeurt hetzelfde bij een vakwerkligger; een hogere vakwerkligger heeft een grotere inwendige arm en meer materiaal op grote afstand van het middelpunt van de doorsnede. Het traagheidsmoment van de doorsnede is derhalve groter, waardoor grotere overspanningen gemaakt kunnen worden (InfoNu, 2013).

De knooppunten van een vakwerkligger zijn in principe scharnierend met elkaar verbonden, waardoor de staven geen momenten kunnen overbrengen. De belastingen worden op die manier doorgegeven als normaalkrachten, al dan niet als druk- of trekkracht. Of er druk- of trekkrachten optreden hangt af van het vakwerktype. De spanningen in de staven van het vakwerk zijn daarom vooral het resultaat van de optredende normaalkrachten, die zorgen voor veel lagere spanningen en vervormingen, waardoor grotere overspanning te maken zijn. In een vakwerk wordt het materiaal in de meest optimale vorm gebruikt (P.E. Romijn, persoonlijke communicatie, 2018).

Vakwerkliggers blijven vaak zichtbaar, dus kunnen deze ook op esthetische gronden wenselijk zijn. Het gaat dus lang niet altijd om alleen de functionaliteit van de constructie. Leidingen zijn bijvoorbeeld makkelijk door vakwerkligger heen te voeren, waardoor het gebouw een coherent uiterlijk krijgt. Als er door de functie van het gebouw geen beperkingen zijn, worden vakwerkliggers meestal uit I-profielen opgebouwde (Euro-build in Steel, 2008, pp. 3–33).

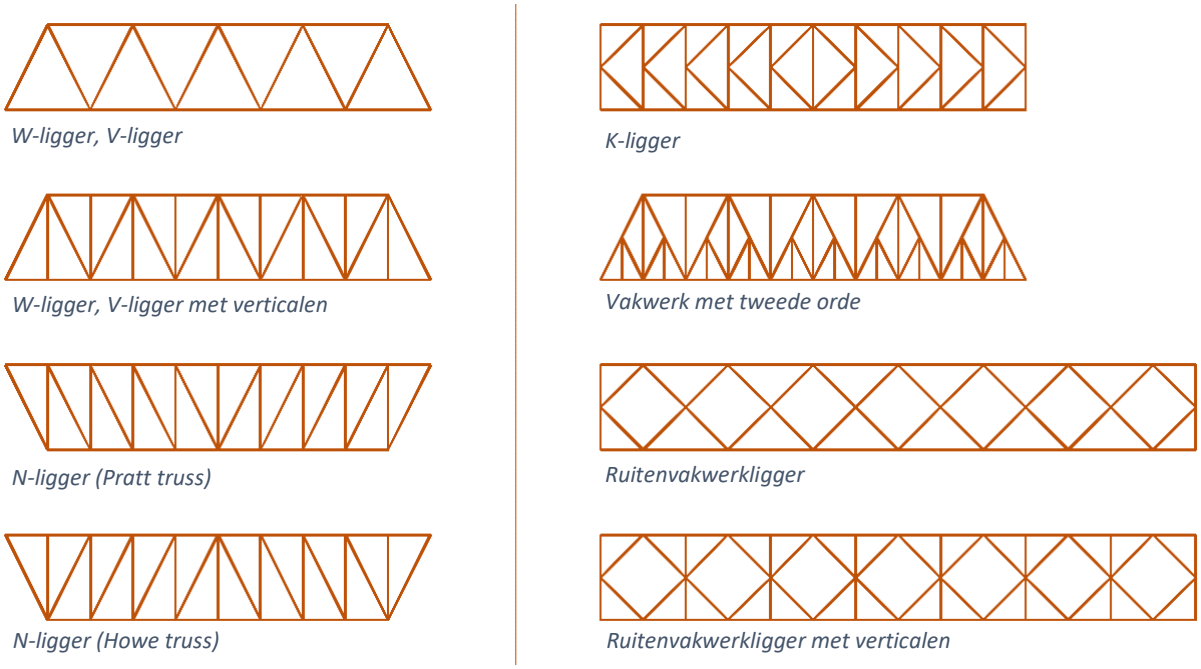
Bij het ontwerpen van een vakwerkligger is veel keuzevrijheid. Er is niet alleen keuze uit verschillende vakwerktypen, maar er zijn ook keuzes te maken als het gaat om het aantal velden waaruit de ligger bestaat en de profielen waar het vakwerk uit is opgebouwd (C-profielen, H-profielen, O-profielen, …). De keuzevrijheid is echter niet onbeperkt, omdat het aantal velden in sterke mate afhankelijk is van de hoogte van de vakwerkligger en de overspanning. Daarmee wordt ook de hoek van de diagonalen bepaald. Minder scherpe hoeken zorgen ervoor dat de diagonalen een groter deel van de horizontale krachten overdragen. Het aantal diagonalen wordt ook flink gereduceerd, wat het eigengewicht en de kosten van het vakwerk ten goede komt. Ook op dit punt zijn er restricties te bedenken, omdat er ook windverbanden worden aangebracht die fungeren als zijdelingse steunen van het vakwerk.

Door de grote keuzevrijheid baseert het ontwerp van een vakwerk zich vrijwel altijd op willekeurige keuzes. Je kunt dus zeggen dat er geen foute ontwerpen vakwerkontwerpen bestaan; alles is immers te maken en aan te passen naar de omstandigheden. Om in dit eindwerk te kunnen spreken van een ideaal vakwerk moet er worden voldaan aan een aantal voorwaarden:

- De staven in de vakwerkligger worden enkel belast op normaalkrachten, dus er is geen sprake van buigmomenten of dwarskrachten op de staven.
- De aslijnen van de verschillende toekomende staven in een knooppunt zijn recht en komen centrisch samen in de knooppunten.
- Alle knooppunten in het vakwerk worden verondersteld wrijvingsloze scharnieren te zijn.
- Uitwendige belastingen dienen uitsluitend op de knooppunten aan te grijpen.

Er zijn in algemene zin meerdere soorten vakwerkliggers, zoals te zien in onderstaande figuur 46. Alvorens er definitief een vakwerktype kan worden gekozen voor de industriehal worden de belangrijkste vakwerken genoemd in het volgende overzicht (Euro-build in Steel, 2008, p. 7):

- Vakwerkligger met W-vorm of V-vorm (W-ligger of V-ligger);
- Vakwerkligger met W-vorm of V-vorm met verticalen (W-ligger of V-ligger);
- Vakwerkligger met N-vorm (N-ligger);
- Vakwerkligger met K-vorm (K-ligger);
- Vakwerk van de tweede orde;
- Ruitenvakwerkligger;
- Ruitenvakwerkligger met verticalen;
- Vakwerkligger met nok;
- Vakwerkligger met toog;
- Vakwerkligger met afgeknotte paraboolvorm;
- Vakwerkligger met zuivere paraboolvorm;
- Driehoekvormige vakwerkspant met rechte onderkant;
- Gebogen vakwerkligger;
- Gebogen vakwerkligger met overstekken;
- Onderspannen vakwerkligger;
- Hellende vakwerkligger met overstek.



Figuur 46: Achter verschillende vakwerken. Er zijn meerdere variaties per vakwerktype mogelijk door nokken, togen en overstekken toe te passen (Nederlandse Bruggenstichting, z.d.-b). De tekeningen zijn gemaakt met AutoCAD 2022 en zijn gebaseerd op de afbeeldingen op de webpagina over vakwerken van de Nederlandse Bruggenstichting. De ruitenvakwerkligger komen het vaakste voor in oude spoorbruggen (Euro-build in Steel, 2008, p. 7).

Van bovenstaande vakwerkliggers worden de volgende vakwerkliggers het vaakst gebruikt voor industriële gebouwen:

- Vakwerkligger met W-vorm of V-vorm (W-ligger of V-ligger);
- Vakwerkligger met N-vorm (N-ligger);
- Vakwerkligger met nok;
- Vakwerkligger met toog;
- Gebogen vakwerkligger;
- Gebogen vakwerkligger met overstekken;
- Onderspannen vakwerkligger;
- Hellende vakwerkligger met overstek.

J.2 Vakwerkontwerp

In deze bijlage wordt op basis van de basisprincipes en beredenering een basisontwerp gemaakt van de vakwerkligger die voor 35,00 m moet overspannen. Allereerst wordt een voorselectie gemaakt, waaruit drie gangbare vakwerktypen overblijven. Vervolgens wordt het aantal velden bepaald aan de hand van de hoogte van de vakwerkligger.

J.2.1 Voorselectie

Het is in eerste instantie belangrijk dat het vakwerk past bij de dakvorm van de industriehal. De gebogen, onderspannen en hellende vakwerkliggers en de vakwerkligger met toog hebben niet de juiste vorm om te worden toegepast in platte daken, liggen daarom niet voor de hand, en vallen om die reden dus af. De industriehal biedt dus eigenlijk alleen gelegenheid om de toepassing van vakwerkliggers met evenwijdige onder- en bovenrandstaven met de toevoeging van een kleine nok voor het

dakafschot. Een vakwerkligger met W-vorm en N-vorm met een kleine nok zijn dus het meest geschikte vakwerktype. Het is bovendien algemeen bekend dat de vakwerkliggers met W-vorm en N-vorm het meest gangbaar zijn.

In een Warren vakwerk lopen de diagonalen als een zigzag tussen de onder- en bovenrandstaven, waarbij elk diagonaal vertrekt uit het knooppunt waar de vorige diagonaal toekomt. Hierbij worden de diagonalen van de buitenzijde naar de binnenzijde afwisselen op druk en trek belast en de twee middelste diagonalen beide op druk of trek.

Een Pratt vakwerk is een variant op de N-ligger. In een Pratt vakwerk lopen de diagonalen telkens in dezelfde richting in één helft van het vakwerk, namelijk vertrekkend van de buitenkant-boven naar de binnenkant-onder. Ook zijn er verticale staven aanwezig. In dergelijke vakwerken worden de diagonalen op trek belast en zullen de verticale staven dienst dien als drukstaven. In dit type vakwerk treden alleen trekkrachten op in de diagonalen en drukkrachten in de verticalen.

Een Howe vakwerk is vergelijkbaar met een Pratt vakwerk, omdat beide behoren tot de N-liggers. Het verschil is alleen dat de richting van de diagonalen omgekeerd is, dus vertrekkend van buitenkant-onder naar binnenkant-boven. Dit zorgt ervoor dat de diagonalen op druk belast worden en hier worden dus de verticale staven aan trek onderworpen. In dit type vakwerk treden alleen drukkrachten op in de diagonalen en trekkrachten in de verticalen.

J.2.2 Hoogte van de ligger

Volgens *Tabel 4.31 Schattingsregels overspanningsconstructies* in staal van het boek *Tabellen voor bouw- en waterbouwkundigen* behoort bij vakwerkliggers in staal de hoogte $\frac{1}{10} - \frac{1}{15} \cdot l$ te zijn, waarbij l de lengte is van de overspanning. Voor een overspanning van 35,00 m komt dit neer op een minimale hoogte van $\frac{1}{15} \cdot 35 = 2{,}33\ m$ en een maximale hoogte van $\frac{1}{10} \cdot 35 = 3{,}50\ m$. Bij een vrije hoogte van 9,00 m en een nokhoogte van 11,64 m heeft de vakwerkligger een maximale hoogte van 2,64 m in het midden van de overspanning en, vanwege het dakafschot, een minimale hoogte van 2,29 m aan de steunpunten. Volgens de schattingsregels zijn deze hoogtes acceptabel, dus aan de hand van deze hoogtes worden de analyses met betrekking tot de vakwerkligger uitgevoerd.

J.2.3 Aantal velden

Eerder in dit hoofdstuk werd gesproken over windverbanden die als zijdelingse steunen fungeren voor het vakwerk. Het is het beste om deze aan te laten sluiten in de knopen, al is het slechts voor de eenvoud van het ontwerp. De afstand tussen de portalen is 6,25 m. In een ideale situatie maken de windverbanden een hoek van 45˚. Voor een afstand van 35,00 m is 6 windverbanden de beste optie. Aansluitingen in de knopen zijn dus alleen haalbaar met 8 velden of 12 velden. Voor hoeklassen is een minimale hoek van 30˚ nodig. In een vakwerkligger met 8 velden sluiten de diagonalen aan in een hoek van 27,6˚ ($\tan^{-1} \cdot (2{,}29/4{,}38) = 27{,}6$˚). Dat is niet voldoende en valt daarom dus al af. Er wordt gekozen voor een 12-velden-vakwerkligger.

De alsmaar meer wordende populariteit van de Pratt vakwerkliggers is te danken aan het feit dat de configuratie van de staven ervoor zorgt dat er alleen trekkrachten optreden in de diagonalen, waardoor langere diagonalen mogelijk zijn. Hierdoor kunnen deze staven efficiënter worden gebruikt, aangezien slankheidseffecten die verband houden met knikken onder drukbelastingen doorgaans geen invloed hebben op het ontwerp. In een Howe vakwerkligger, waarbij druk optreedt in de diagonalen, hebben de slankheidseffecten die verband houden met knikken onder drukbelasting weldegelijk invloed op het ontwerp.

J.3 Warren vakwerkligger

J.3.1 Sterktecontrole bovenrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin:

N_{Ed} is de rekenwaarde van de drukkracht ten gevolge van de belasting; [514,6 kN]

$N_{c,Rd}$ is de rekenwaarde van de uiterst opneembare drukkracht voor de gegeven doorsnede.

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_y$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de brutodoorsnede (**SHS 160x160x8** is gekozen); [4800 mm^2]

f_y is de vloeigrens; [275 N/mm^2]

$$N_{c,Rd} = 4800 \cdot 275 = 1320\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{514{,}6}{1320} = 0{,}39 \leq 1{,}0$$

SHS 160x160x8 voldoet aan de voorwaarde voor sterkte. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 4643,9 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 40%.

J.3.2 Stabiliteitscontrole bovenrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_z:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_z is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi_z \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

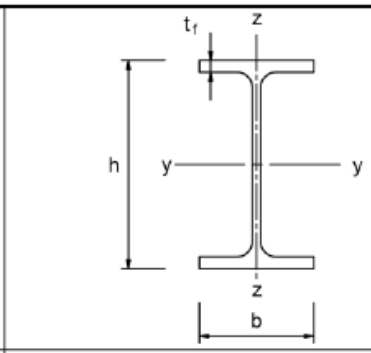
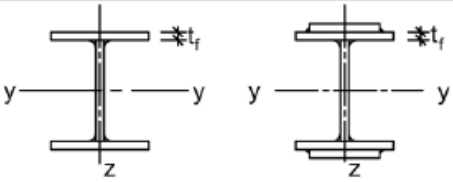
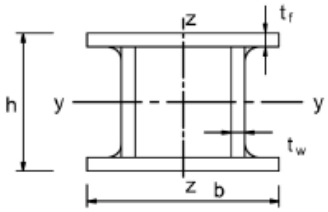
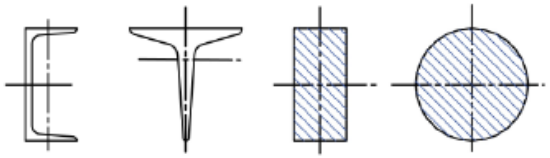
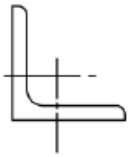
$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/275} = 86{,}81$

$$i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1830 \cdot 10^4}{4800}} = 61{,}75\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5834{,}5}{61{,}25} \cdot \frac{1}{86{,}81} = 1{,}09$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De SHS-profielen zijn warmgewalst, dus voor een staalkwaliteit van S275 moet curve a worden gebruikt, zoals te zien in onderstaande figuur 47. De te hanteren waarde voor de imperfectiefactor α wordt bepaald met de daaropvolgende tabel.

Cross section		Limits		Buckling about axis	Buckling curve S 235 S 275 S 355 S 420	Buckling curve S 460
Rolled sections		h/b > 1,2	$t_f \leq 40$ mm	y – y z – z	a b	a_0 a_0
			40 mm < $t_f \leq 100$	y – y z – z	b c	a a
		h/b ≤ 1,2	$t_f \leq 100$ mm	y – y z – z	b c	a a
			$t_f > 100$ mm	y – y z – z	d d	c c
Welded I-sections			$t_f \leq 40$ mm	y – y z – z	b c	b c
			$t_f > 40$ mm	y – y z – z	c d	c d
Hollow sections			hot finished	any	a	a_0
			cold formed	any	c	c
Welded box sections			generally (except as below)	any	b	b
			thick welds: a > 0,5t_f b/t_f < 30 h/t_w <30	any	c	c
U-, T- and solid sections				any	c	c
L-sections				any	b	b

Figuur 47: Profielconfiguratie en keuze stabiliteitskromme volgens Eurocode 3.

Tabel 9: Imperfectiefactoren voor verschillende curves.

	a_0	a	b	c	d
α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Er geldt: α = 0,21

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}21(1{,}09 - 0{,}2) + 1{,}09^2] = 1{,}19$$

$$\chi_z = \frac{1}{1{,}19 + \sqrt{1{,}19^2 - 1{,}09^2}} = 0{,}60 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}60 \cdot \frac{4800 \cdot 275}{1{,}0} = 797{,}21\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{514{,}6}{797{,}21} = 0{,}65 \leq 1{,}0$$

SHS 160x160x8 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 4643,9 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 67%. In Diamonds BuildSoft wordt ook de stabiliteit voor een combinatie van knik om de z'-as met buiging. Hierbij komt de eenheidscontrole op 78%. Het gekozen buisprofiel voldoet dus nog steeds aan de voorwaarde voor stabiliteit. In dit vakwerk heeft de stabiliteit van de bovenrandstaaf een bepalende rol ten aanzien van de sterkte.

J.3.3 Sterktecontrole onderrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin:

N_{Ed} is de rekenwaarde van de trekkracht ten gevolge van de belasting; [515,7 kN]

$N_{c,Rd}$ is de rekenwaarde van de uiterst opneembare drukkracht voor de gegeven doorsnede.

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_y$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de brutodoorsnede (**SHS 120x120x5** is gekozen); [2270 mm^2]

f_y is de vloeigrens; [275 N/mm^2]

$$N_{c,Rd} = 2270 \cdot 275 = 624{,}25\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{515{,}7}{624{,}25} = 0{,}83 \leq 1{,}0$$

SHS 120x120x5 voldoet aan de voorwaarde voor sterkte. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 2235,5 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 84%.

J.3.4 Stabiliteitscontrole onderrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_z:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_z is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi_z \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5 / 275} = 86{,}81$

$$i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{498 \cdot 10^4}{2270}} = 46{,}84\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5833}{46{,}84} \cdot \frac{1}{86{,}81} = 1{,}43$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De SHS-profielen zijn warmgewalst, dus voor een staalkwaliteit van S275 moet curve a worden gebruikt (zie eerdere figuur 47 en tabel 9 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,21.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}21(1{,}43 - 0{,}2) + 1{,}43^2] = 1{,}66$$

$$\chi_z = \frac{1}{1{,}66 + \sqrt{1{,}66^2 - 1{,}43^2}} = 0{,}40 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}40 \cdot \frac{2270 \cdot 275}{1{,}0} = 250{,}59\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{120{,}3}{250{,}59} = 0{,}48 \leq 1{,}0$$

SHS 120x120x5 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 2235,5 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 49%. In Diamonds BuildSoft wordt ook de stabiliteit voor een combinatie van knik om de z'-as met buiging. Hierbij komt de eenheidscontrole op 51%. Het gekozen buisprofiel voldoet dus nog steeds aan de voorwaarde voor stabiliteit. In dit vakwerk heeft de sterkte van de onderrandstaaf een bepalende rol ten aanzien van de stabiliteit.

J.3.5 Sterktecontrole diagonalen

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin:

N_{Ed} is de rekenwaarde van de trekkracht ten gevolge van de belasting; [181,2 kN]

$N_{c,Rd}$ is de rekenwaarde van de uiterst opneembare drukkracht voor de gegeven doorsnede.

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_y$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de brutodoorsnede (**SHS 80x80x5** is gekozen); [1470 mm^2]

f_y is de vloeigrens; [275 N/mm^2]

$$N_{c,Rd} = 1470 \cdot 275 = 404{,}25\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{181{,}2}{404{,}25} = 0{,}45 \leq 1{,}0$$

SHS 80x80x5 voldoet aan de voorwaarde voor sterkte. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 1435,5 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 46%.

J.3.6 Stabiliteitscontrole diagonalen

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_y:

$$N_{b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_y is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi_y \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/275} = 86{,}81$

$$i_y = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{137 \cdot 10^4}{1470}} = 30{,}53\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{2938}{30{,}53} \cdot \frac{1}{86{,}81} = 1{,}11$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De SHS-profielen zijn warmgewalst, dus voor een staalkwaliteit van S275 moet curve a worden gebruikt (zie eerdere figuur 47 en tabel 9 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,21.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}21(1{,}11 - 0{,}2) + 1{,}11^2] = 1{,}21$$

$$\chi_y = \frac{1}{1{,}21 + \sqrt{1{,}21^2 - 1{,}12^2}} = 0{,}59 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}59 \cdot \frac{1470 \cdot 275}{1{,}0} = 238{,}54\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{177,7}{238,54} = 0,74 \leq 1,0$$

SHS 80x80x5 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 1435,5 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 77%. In Diamonds BuildSoft wordt ook de stabiliteit voor een combinatie van knik om de y'-as/z'-as met buiging. Hierbij komt de eenheidscontrole op 78%. Het gekozen buisprofiel voldoet dus nog steeds aan de voorwaarde voor stabiliteit. In dit vakwerk heeft de stabiliteit van de diagonaal een bepalende rol ten aanzien van de sterkte.

J.4 Pratt vakwerkligger

J.4.1 Sterktecontrole bovenrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Waarin:

N_{Ed} is de rekenwaarde van de drukkracht ten gevolge van de belasting; [516,0 kN]

$N_{c,Rd}$ is de rekenwaarde van de uiterst opneembare drukkracht voor de gegeven doorsnede.

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_y$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de brutodoorsnede (**SHS 160x160x8** is gekozen); [4800 mm^2]

f_y is de vloeigrens; [275 N/mm^2]

$$N_{c,Rd} = 4800 \cdot 275 = 1320\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{516,0}{1320} = 0,39 \leq 1,0$$

SHS 160x160x8 voldoet aan de voorwaarde voor sterkte. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 4643,9 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 40%.

J.4.2 Stabiliteitscontrole bovenrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_z:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_z is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ en } \chi_z \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/275} = 86{,}81$

$$i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1830 \cdot 10^4}{4800}} = 61{,}75\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5834{,}5}{61{,}75} \cdot \frac{1}{86{,}81} = 1{,}09$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De SHS-profielen zijn warmgewalst, dus voor een staalkwaliteit van S275 moet curve a worden gebruikt (zie eerdere figuur 47 en tabel 9 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,21.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}21(1{,}09 - 0{,}2) + 1{,}09^2] = 1{,}19$$

$$\chi_z = \frac{1}{1{,}19 + \sqrt{1{,}19^2 - 1{,}09^2}} = 0{,}60 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}60 \cdot \frac{4800 \cdot 275}{1{,}0} = 797{,}21\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{516{,}0}{797{,}21} = 0{,}65 \leq 1{,}0$$

SHS 160x160x8 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 4643,9 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 68%. In Diamonds BuildSoft wordt ook de stabiliteit voor een combinatie van knik om de z'-as met buiging. Hierbij komt de eenheidscontrole op 75%. Het gekozen buisprofiel voldoet dus nog steeds aan de voorwaarde voor stabiliteit. In dit vakwerk heeft de stabiliteit van de bovenrandstaaf een bepalende rol ten aanzien van de sterkte.

J.4.3 Sterktecontrole onderrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin:

N_{Ed} is de rekenwaarde van de trekkracht ten gevolge van de belasting; [514,1 kN]

$N_{c,Rd}$ is de rekenwaarde van de uiterst opneembare drukkracht voor de gegeven doorsnede.

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_y$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de brutodoorsnede (**SHS 120x120x5** is gekozen); [2270 mm^2]

f_y is de vloeigrens; [275 N/mm^2]

$$N_{c,Rd} = 2270 \cdot 275 = 624{,}25\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{514{,}1}{624{,}25} = 0{,}82 \leq 1{,}0$$

SHS 120x120x5 voldoet aan de voorwaarde voor sterkte. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 2235,5 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 84%.

J.4.4 Stabiliteitscontrole onderrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_z:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_z is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ en } \chi_z \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/275} = 86{,}81$

$$i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{498 \cdot 10^4}{2270}} = 46{,}84\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5833}{46{,}84} \cdot \frac{1}{86{,}81} = 1{,}43$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De SHS-profielen zijn warmgewalst, dus voor een staalkwaliteit van S275 moet curve a worden gebruikt (zie eerdere figuur 47 en tabel 9 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,21.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}21(1{,}43 - 0{,}2) + 1{,}43^2] = 1{,}66$$

$$\chi_z = \frac{1}{1{,}66 + \sqrt{1{,}66^2 - 1{,}43^2}} = 0{,}40 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}40 \cdot \frac{2270 \cdot 275}{1{,}0} = 250{,}59\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{117,9}{250,59} = 0,47 \leq 1,0$$

SHS 120x120x5 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 2235,5 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 48%. In Diamonds BuildSoft wordt ook de stabiliteit voor een combinatie van knik om de z'-as met buiging. Hierbij komt de eenheidscontrole op 50%. Het gekozen buisprofiel voldoet dus nog steeds aan de voorwaarde voor stabiliteit. In dit vakwerk heeft de sterkte van de onderrandstaaf een bepalende rol ten aanzien van de stabiliteit.

J.4.5 Sterktecontrole diagonalen

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1,0$$

Waarin:

N_{Ed} is de rekenwaarde van de trekkracht ten gevolge van de belasting; [234,1 kN]

$N_{c,Rd}$ is de rekenwaarde van de uiterst opneembare drukkracht voor de gegeven doorsnede.

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_y$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de brutodoorsnede (**SHS 70x70x5** is gekozen); [1270 mm^2]

f_y is de vloeigrens; [275 N/mm^2]

$$N_{c,Rd} = 1270 \cdot 275 = 349,25\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{234,1}{349,25} = 0,67 \leq 1,0$$

SHS 70x70x5 voldoet aan de voorwaarde voor sterkte. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 1235,5 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 69%.

J.4.6 Stabiliteitscontrole diagonalen

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1,0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_y:

$$N_{b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_y is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi_y \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/275} = 86{,}81$

$$i_y = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{88{,}50 \cdot 10^4}{1270}} = 26{,}40\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{3708}{26{,}40} \cdot \frac{1}{86{,}81} = 1{,}62$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De SHS-profielen zijn warmgewalst, dus voor een staalkwaliteit van S275 moet curve a worden gebruikt (zie eerdere figuur 47 en tabel 9 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,21.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}21(1{,}62 - 0{,}2) + 1{,}62^2] = 1{,}96$$

$$\chi_y = \frac{1}{1{,}96 + \sqrt{1{,}96^2 - 1{,}62^2}} = 0{,}33 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}33 \cdot \frac{1270 \cdot 275}{1{,}0} = 109{,}37\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{79{,}4}{114{,}11} = 0{,}70 \leq 1{,}0$$

SHS 70x70x5 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 1235,5 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 73%. In Diamonds

BuildSoft wordt ook de stabiliteit voor een combinatie van knik om de y'-as/z'-as met buiging. Hierbij komt de eenheidscontrole op 75%. Het gekozen buisprofiel voldoet dus nog steeds aan de voorwaarde voor stabiliteit. In dit vakwerk heeft de stabiliteit van de diagonaal een bepalende rol ten aanzien van de sterkte.

J.4.7 Sterktecontrole verticalen

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin:

N_{Ed} is de rekenwaarde van de drukkracht ten gevolge van de belasting; [142,9 kN]

$N_{c,Rd}$ is de rekenwaarde van de uiterst opneembare drukkracht voor de gegeven doorsnede.

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_y$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de brutodoorsnede (**SHS 70x70x4** is gekozen); [1040 mm^2]

f_y is de vloeigrens; [275 N/mm^2]

$$N_{c,Rd} = 1040 \cdot 275 = 286{,}00\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{142{,}9}{286{,}00} = 0{,}50 \leq 1{,}0$$

SHS 70x70x4 voldoet aan de voorwaarde voor sterkte. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 1014,7 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 51%.

J.4.8 Stabiliteitscontrole verticalen

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_y:

$$N_{b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_y is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi_y \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/275} = 86{,}81$

$$i_y = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{74{,}40 \cdot 10^4}{1040}} = 26{,}80\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{2348}{26{,}80} \cdot \frac{1}{86{,}81} = 1{,}01$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De SHS-profielen zijn warmgewalst, dus voor een staalkwaliteit van S275 moet curve a worden gebruikt (zie eerdere figuur 47 en tabel 9 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,21.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}21(1{,}01 - 0{,}2) + 1{,}01^2] = 1{,}09$$

$$\chi_y = \frac{1}{1{,}09 + \sqrt{1{,}09^2 - 1{,}01^2}} = 0{,}66 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}66 \cdot \frac{1040 \cdot 275}{1{,}0} = 188{,}50\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{142{,}9}{188{,}50} = 0{,}76 \leq 1{,}0$$

SHS 70x70x4 voldoet aan de voorwaarde stabiliteit. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 1014,7 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 78%. In dit vakwerk heeft de stabiliteit van de verticaal een bepalende rol ten aanzien van de sterkte.

J.5 Howe vakwerkligger

J.5.1 Sterktecontrole bovenrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin:

N_{Ed} is de rekenwaarde van de drukkracht ten gevolge van de belasting; [515,1 kN]

$N_{c,Rd}$ is de rekenwaarde van de uiterst opneembare drukkracht voor de gegeven doorsnede.

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_y$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de brutodoorsnede (**SHS 160x160x8** is gekozen); [4800 mm^2]

f_y is de vloeigrens; [275 N/mm^2]

$$N_{c,Rd} = 4800 \cdot 275 = 1320\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{515{,}1}{1320} = 0{,}39 \leq 1{,}0$$

SHS 160x160x8 voldoet aan de voorwaarde voor sterkte. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 4643,9 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 40%.

J.5.2 Stabiliteitscontrole bovenrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_z:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_z is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi_z \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5 / 275} = 86{,}81$

$$i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1830 \cdot 10^4}{4800}} = 61{,}75\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5834{,}5}{61{,}75} \cdot \frac{1}{86{,}81} = 1{,}09$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De SHS-profielen zijn warmgewalst, dus voor een staalkwaliteit van S275 moet curve a worden gebruikt (zie eerdere figuur 47 en tabel 9 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,21.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}21(1{,}09 - 0{,}2) + 1{,}09^2] = 1{,}19$$

$$\chi_z = \frac{1}{1{,}19 + \sqrt{1{,}19^2 - 1{,}09^2}} = 0{,}60 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}60 \cdot \frac{4800 \cdot 275}{1{,}0} = 797{,}21\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{515{,}1}{797{,}21} = 0{,}65 \leq 1{,}0$$

SHS 160x160x8 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 4643,9 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 67%. In Diamonds BuildSoft wordt ook de stabiliteit voor een combinatie van knik om de z'-as met buiging. Hierbij komt

de eenheidscontrole op 74%. Het gekozen buisprofiel voldoet dus nog steeds aan de voorwaarde voor stabiliteit. In dit vakwerk heeft de stabiliteit van de bovenrandstaaf een bepalende rol ten aanzien van de sterkte.

J.5.3 Sterktecontrole onderrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin:

N_{Ed} is de rekenwaarde van de trekkracht ten gevolge van de belasting; [516,3 kN]

$N_{c,Rd}$ is de rekenwaarde van de uiterst opneembare drukkracht voor de gegeven doorsnede.

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_y$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de brutodoorsnede (**SHS 120x120x5** is gekozen); [2270 mm^2]

f_y is de vloeigrens; [275 N/mm^2]

$$N_{c,Rd} = 2270 \cdot 275 = 624{,}25\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{516{,}3}{624{,}25} = 0{,}83 \leq 1{,}0$$

SHS 120x120x5 voldoet aan de voorwaarde voor sterkte. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 2235,5 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 84%.

J.5.4 Stabiliteitscontrole onderrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_z:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_z is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi_z \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5 / 275} = 86{,}81$

$$i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{498 \cdot 10^4}{2270}} = 46{,}84\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5833}{46{,}84} \cdot \frac{1}{86{,}81} = 1{,}43$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De SHS-profielen zijn warmgewalst, dus voor een staalkwaliteit van S275 moet curve a worden gebruikt (zie eerdere figuur 47 en tabel 9 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,21.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}21(1{,}43 - 0{,}2) + 1{,}43^2] = 1{,}66$$

$$\chi_z = \frac{1}{1{,}66 + \sqrt{1{,}66^2 - 1{,}43^2}} = 0{,}40 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}40 \cdot \frac{2270 \cdot 275}{1{,}0} = 250{,}59\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{117{,}5}{250{,}59} = 0{,}47 \leq 1{,}0$$

SHS 120x120x5 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 2235,5 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 48%. In Diamonds BuildSoft wordt ook de stabiliteit voor een combinatie van knik om de z'-as met buiging. Hierbij komt de eenheidscontrole op 50%. Het gekozen buisprofiel voldoet dus nog steeds aan de voorwaarde voor stabiliteit. In dit vakwerk heeft de sterkte van de onderrandstaaf een bepalende rol ten aanzien van de stabiliteit.

J.5.5 Sterktecontrole diagonalen

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin:

N_{Ed} is de rekenwaarde van de trekkracht ten gevolge van de belasting; [234,2 kN]

$N_{c,Rd}$ is de rekenwaarde van de uiterst opneembare drukkracht voor de gegeven doorsnede.

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_y$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de brutodoorsnede (**SHS 90x90x5** is gekozen); [1670 mm^2]

f_y is de vloeigrens; [275 N/mm^2]

$$N_{c,Rd} = 1670 \cdot 275 = 459{,}25\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{234{,}2}{459{,}25} = 0{,}51 \leq 1{,}0$$

SHS 90x90x5 voldoet aan de voorwaarde voor sterkte. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 1635,5 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 52%.

J.5.6 Stabiliteitscontrole diagonalen

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_y:

$$N_{b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_y is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi_y \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/275} = 86{,}81$

$$i_y = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{200 \cdot 10^4}{1670}} = 34{,}61\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{3781}{34{,}61} \cdot \frac{1}{86{,}81} = 1{,}26$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De SHS-profielen zijn warmgewalst, dus voor een staalkwaliteit van S275 moet curve a worden gebruikt (zie eerdere figuur 47 en tabel 9 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,21.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}21(1{,}26 - 0{,}2) + 1{,}26^2] = 1{,}40$$

$$\chi_y = \frac{1}{1{,}40 + \sqrt{1{,}40^2 - 1{,}26^2}} = 0{,}49 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}49 \cdot \frac{1670 \cdot 275}{1{,}0} = 226{,}94\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{176{,}3}{226{,}94} = 0{,}78 \leq 1{,}0$$

SHS 90x90x5 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 1635,5 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 80%. In Diamonds BuildSoft wordt ook de stabiliteit voor een combinatie van knik om de y'-as met buiging. Hierbij komt de eenheidscontrole op 82%. Het gekozen buisprofiel voldoet dus nog steeds aan de voorwaarde voor stabiliteit. In dit vakwerk heeft de stabiliteit van de diagonaal een bepalende rol ten aanzien van de sterkte.

J.5.7 Sterktecontrole verticalen

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin:

N_{Ed} is de rekenwaarde van de trekkracht ten gevolge van de belasting; [83,8 kN]

$N_{c,Rd}$ is de rekenwaarde van de uiterst opneembare drukkracht voor de gegeven doorsnede.

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_y$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de brutodoorsnede (**SHS 40x40x4** is gekozen); [559 mm^2]

f_y is de vloeigrens; [275 N/mm^2]

$$N_{c,Rd} = 559 \cdot 275 = 153{,}73\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{83{,}8}{153{,}73} = 0{,}55 \leq 1{,}0$$

SHS 40x40x4 voldoet aan de voorwaarde voor sterkte. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 534,7 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 57%.

J.5.8 Stabiliteitscontrole verticalen

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_y:

$$N_{b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_y is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi_y \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/275} = 86{,}81$

$$i_y = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{11{,}80 \cdot 10^4}{559}} = 14{,}53\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{2348}{14{,}53} \cdot \frac{1}{86{,}81} = 1{,}86$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De SHS-profielen zijn warmgewalst, dus voor een staalkwaliteit van S275 moet curve a worden gebruikt (zie eerdere figuur 47 en tabel 9 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,21.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}21(1{,}86 - 0{,}2) + 1{,}86^2] = 2{,}41$$

$$\chi_y = \frac{1}{2{,}41 + \sqrt{2{,}41^2 - 1{,}86^2}} = 0{,}25 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}25 \cdot \frac{559 \cdot 275}{1{,}0} = 39{,}07\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{31{,}1}{39{,}07} = 0{,}80 \leq 1{,}0$$

SHS 40x40x4 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 534,7 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 85%. In dit vakwerk heeft de stabiliteit van de verticaal een bepalende rol ten aanzien van de sterkte.

J.6 Optimalisatieonderzoek deel 1: HEA-profielen als boven- en onderrandstaven

J.6.1 Doorsnedeclassificatie bovenrandstaven

Voor S235 bedraagt de factor ε:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1{,}0$$

Voor S275 bedraagt de factor ε:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/275} = 0{,}92$$

Bij uniforme druk wordt de uitkragende flens op druk belast, zodat voor de grenswaarde van de doorsnedeklassen geldt: $9\varepsilon = 9$ voor klasse 1, $10\varepsilon = 10$ voor klasse 2 en $14\varepsilon = 14$ voor klasse 3. De breedte van de flens van een HEA 220 wordt gemeten vanaf de afrondingsstraal tot de flenstip: $c_f = 0{,}5(b - t_w - 2r) = 0{,}5(220 - 7 - 2 \cdot 18) = 88{,}5\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van de flens is dan: $c/t = c_f/t_f = 88{,}5/11 = 8{,}05 \leq 9$. De flens is dus van klasse 1.

Bij een uniforme druk wordt het lijf een op druk belast inwendig onderdeel, zodat voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen geldt: $33\varepsilon = 33$ voor klasse 1, $38\varepsilon = 38$ voor klasse 2 en $42\varepsilon = 42$ voor klasse 3. De hoogte van het lijf wordt gemeten tussen de afrondingsstalen: $c_w = h - 2t_f - 2r = 210 - 2 \cdot 11 - 2 \cdot 18 = 152\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van het lijf is dan: $c/t = c_w/t_w = 152/7 = 21{,}71 \leq 33$. Het lijf is dus van klasse 1. Het profiel HEA 220 in de staalsoort S235 belast op uniforme druk is van klasse 1.

Wanneer de doorsnede wordt belast op buiging om de sterke as worden de (bovenste) flenzen op druk en het lijf op buiging belast. Dat betekent dat in het lijf naast drukspanningen ook trekspanningen aanwezig zijn, zodat het lijf minder gevoelig is voor lokaal plooien. De op druk belaste flenzen vallen in doorsnedeklasse 1, zoals in de berekening hiervoor is te zien. Voor het op buiging belaste lijf geldt voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen: $72\varepsilon = 72$ voor klasse 1, $83\varepsilon = 83$ voor klasse 2 en $124\varepsilon = 124$ voor klasse 3. De toetsing van de doorsnedeklasse van het lijf is dan: $c_w/t_w = 152/7 = 21{,}71 \leq 72$. Er wordt ruim voldaan aan de begrenzing van doorsnedeklasse 1 doordat het lijf op buiging wordt belast. Het lijf is dus van klasse 1. Het profiel HEA 220 in de staalsoort S235 belast op buiging om de sterke as is van klasse 1.

J.6.2 Sterktecontrole bovenrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin:

N_{Ed} is de rekenwaarde van de drukkracht ten gevolge van de belasting; [530,5 kN]

$N_{c,Rd}$ is de rekenwaarde van de uiterst opneembare drukkracht voor de gegeven doorsnede.

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_y$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de brutodoorsnede (**HEA 220** is gekozen); [6434 mm^2]

f_y is de vloeigrens; [235 N/mm^2]

$$N_{c,Rd} = 6434 \cdot 235 = 1511{,}99\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{530{,}5}{1511{,}99} = 0{,}35 \leq 1{,}0$$

HEA 220 voldoet aan de voorwaarde voor sterkte. In Diamonds BuildSoft wordt dezelfde brutodoorsnede toegepast, waardoor de eenheidscontrole eveneens uitkomt op 35%.

J.6.3 Stabiliteitscontrole bovenrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_z:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_z is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi_z \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/235} = 93{,}91$

$$i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1955 \cdot 10^4}{6434}} = 55{,}12\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5834{,}5}{55{,}12} \cdot \frac{1}{93{,}91} = 1{,}13$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De HEA-profielen en van staalkwaliteit S235 met $h/b = 210/220 = 0{,}95 \leq 1{,}2$ en $t_f = 11 \leq 100$, dus bij knikken om de z'-as moet curve c worden gebruikt (zie eerdere figuur 47 en tabel 9 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,49.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}49(1{,}13 - 0{,}2) + 1{,}13^2] = 1{,}36$$

$$\chi_z = \frac{1}{1{,}36 + \sqrt{1{,}36^2 - 1{,}13^2}} = 0{,}47 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}47 \cdot \frac{6434 \cdot 235}{1{,}0} = 710{,}71\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{530{,}5}{710{,}71} = 0{,}75 \leq 1{,}0$$

HEA 220 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. In Diamonds BuildSoft wordt dezelfde brutodoorsnede toegepast, waardoor de eenheidscontrole eveneens uitkomt op 75%. In Diamonds BuildSoft wordt ook de stabiliteit voor een combinatie van knik om de z'-as met buiging. Hierbij komt de eenheidscontrole op 81%. Het gekozen HEA-profiel voldoet dus nog steeds aan de voorwaarde voor stabiliteit. In dit vakwerk heeft de stabiliteit van de bovenrandstaaf een bepalende rol ten aanzien van de stabiliteit.

J.6.4 Doorsnedeclassificatie onderrandstaven

Bij uniforme druk wordt de uitkragende flens op druk belast, zodat voor de grenswaarde van de doorsnedeklassen geldt: $9\varepsilon = 9$ voor klasse 1, $10\varepsilon = 10$ voor klasse 2 en $14\varepsilon = 14$ voor klasse 3. De breedte van de flens van een HEA 140 wordt gemeten vanaf de afrondingsstraal tot de flenstip: $c_f = 0{,}5(b - t_w - 2r) = 0{,}5(140 - 5{,}5 - 2 \cdot 12) = 55{,}25\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van de flens is dan: $c/t = c_f/t_f = 55{,}25/8{,}5 = 6{,}5 \leq 9$. De flens is dus van klasse 1.

Bij uniforme druk wordt het lijf een op druk belast inwendig onderdeel, zodat voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen geldt: $33\varepsilon = 33$ voor klasse 1, $38\varepsilon = 38$ voor klasse 2 en $42\varepsilon = 42$ voor klasse 3. De hoogte van het lijf wordt gemeten tussen de afrondingsstalen: $c_w = h - 2t_f - 2r = 133 - 2 \cdot 8{,}5 - 2 \cdot 12 = 92\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van het lijf is dan: $c/t = c_w/t_w = 92/5{,}5 = 16{,}73 \leq 33$. Het lijf is dus van klasse 1. Het profiel HEA 140 in de staalsoort S235 belast op uniforme druk is van klasse 1.

Wanneer de doorsnede wordt belast op buiging om de sterke as worden de (bovenste) flenzen op druk en het lijf op buiging belast. Dat betekent dat in het lijf naast drukspanningen ook trekspanningen aanwezig zijn, zodat het lijf minder gevoelig is voor lokaal plooien. De op druk belaste flenzen vallen in doorsnedeklasse 1, zoals in de berekening hiervoor is te zien. Voor het op buiging belaste lijf geldt voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen: $72\varepsilon = 72$ voor klasse 1, $83\varepsilon = 83$ voor klasse 2 en $124\varepsilon = 124$ voor klasse 3. De toetsing van de doorsnedeklasse van het lijf is dan: $c_w/t_w = 92/5{,}5 = 16{,}73 \leq 72$. Er wordt ruim voldaan aan de begrenzing van doorsnedeklasse 1 doordat het lijf op buiging wordt belast. Het lijf is dus van klasse 1. Het profiel HEA 140 in de staalsoort S235 belast op buiging om de sterke as is van klasse 1.

J.6.5 Sterktecontrole onderrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin:

N_{Ed} is de rekenwaarde van de trekkracht ten gevolge van de belasting; [526,4 kN]

$N_{c,Rd}$ is de rekenwaarde van de uiterst opneembare drukkracht voor de gegeven doorsnede.

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_y$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de brutodoorsnede (**HEA 140** is gekozen); [3142 mm^2]

f_y is de vloeigrens; [235 N/mm^2]

$$N_{c,Rd} = 3142 \cdot 235 = 738{,}37\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{526{,}4}{738{,}37} = 0{,}71 \leq 1{,}0$$

HEA 140 voldoet aan de voorwaarde voor sterkte. In Diamonds BuildSoft wordt dezelfde brutodoorsnede toegepast, waardoor de eenheidscontrole eveneens uitkomt op 71%.

J.6.6 Stabiliteitscontrole onderrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_z:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_z is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi_z \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/235} = 93{,}91$

$$i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{389{,}30 \cdot 10^4}{3142}} = 35{,}20\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5833}{35{,}20} \cdot \frac{1}{93{,}91} = 1{,}76$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De HEA-profielen en van staalkwaliteit S355 met $h/b = 133/140 = 0{,}95 \leq 1{,}2$ en $t_f = 8{,}5 \leq 100$, dus bij knikken om de z'-as moet curve c worden gebruikt (zie eerdere figuur 47 en tabel 9 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,49.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}49(1{,}76 - 0{,}2) + 1{,}76^2] = 2{,}44$$

$$\chi_z = \frac{1}{2{,}44 + \sqrt{2{,}44^2 - 1{,}76^2}} = 0{,}24 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}24 \cdot \frac{3142 \cdot 235}{1{,}0} = 178{,}96\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{108{,}2}{178{,}96} = 0{,}60 \leq 1{,}0$$

HEA 140 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. In Diamonds BuildSoft wordt dezelfde brutodoorsnede toegepast, waardoor de eenheidscontrole eveneens uitkomt op 60%. In Diamonds BuildSoft wordt ook de stabiliteit voor een combinatie van knik om de z'-as met buiging. Hierbij komt de eenheidscontrole op 63%. Het gekozen HEA-profiel voldoet dus nog steeds aan de voorwaarde voor stabiliteit. In dit vakwerk heeft de sterkte van de onderrandstaaf een bepalende rol ten aanzien van de stabiliteit.

J.6.7 Doorsnedeclassificatie diagonalen

Bij uniforme druk wordt de flens van het buisprofiel een op druk belast inwendig onderdeel, zodat voor de grenswaarde van de doorsnedeklassen geldt: $33\varepsilon = 30{,}51$ voor klasse 1,$38\varepsilon = 35{,}13$ voor klasse 2 en $42\varepsilon = 38{,}83$ voor klasse 3. De breedte van de flens van een SHS 70x70x5 wordt gemeten tussen de afrondingsstraal: $c_f = b - 2t - 2r = 70 - 2 \cdot 5 - 2 \cdot 5 = 50\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van de flens is dan: $c/t = c_f/t_f = 50/5 = 10 \leq 30{,}51$. De flens is dus van klasse 1.

Bij uniforme druk worden de lijven van het buisprofiel een op druk belast inwendig onderdeel, zodat voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen geldt: $33\varepsilon = 30{,}51$ voor klasse 1,$38\varepsilon = 35{,}13$ voor klasse 2 en $42\varepsilon = 38{,}83$ voor klasse 3. De hoogte van de lijven van een SHS 70x70x5 wordt gemeten tussen de afrondingsstalen: $c_w = h - 2t - 2r = 70 - 2 \cdot 5 - 2 \cdot 5 = 50\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van de lijven is dan: $c/t = c_w/t_w = 50/5 = 10 \leq 30{,}51$. De lijven zijn dus van klasse 1. Het profiel SHS 70x70x5 in de staalsoort S275 belast op uniforme druk is van klasse 1.

Wanneer de doorsnede wordt belast op buiging om de sterke as worden de flenzen op druk en de lijven op buiging belast. Dat betekent dat in de lijven naast drukspanningen ook trekspanningen aanwezig zijn, zodat de lijven minder gevoelig zijn voor lokaal plooien. De op druk belaste flenzen vallen in doorsnedeklasse 1, zoals in de berekening hiervoor is te zien. Voor het op buiging belaste lijven geldt voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen: $72\varepsilon = 66{,}56$ voor klasse 1, $83\varepsilon = 76{,}73$ voor klasse 2 en $124\varepsilon = 114{,}63$ voor klasse 3. De toetsing van de doorsnedeklasse van het lijf is dan: $c_w/t_w = 50/5 = 10 \leq 66{,}56$. Er wordt ruim voldaan aan de begrenzing van doorsnedeklasse 1 doordat de lijven op buiging worden belast. De lijven zijn dus van klasse 1. Het profiel SHS 70x70x5 in de staalsoort S275 belast op buiging om de sterke as is van klasse 1.

J.6.8 Sterktecontrole diagonalen

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin:

N_{Ed} is de rekenwaarde van de trekkracht ten gevolge van de belasting; [238,9 kN]

$N_{c,Rd}$ is de rekenwaarde van de uiterst opneembare drukkracht voor de gegeven doorsnede.

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_y$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de brutodoorsnede (**SHS 70x70x5** is gekozen); [1270 mm^2]

f_y is de vloeigrens; [275 N/mm^2]

$$N_{c,Rd} = 1270 \cdot 275 = 349{,}25\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{238{,}9}{349{,}25} = 0{,}68 \leq 1{,}0$$

SHS 70x70x5 voldoet aan de voorwaarde. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 1235,5 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 70%.

J.6.9 Stabiliteitscontrole diagonalen

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_y:

$$N_{b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_y is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi_y \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5 / 275} = 86{,}81$

$$i_y = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{88{,}50 \cdot 10^4}{1270}} = 26{,}40\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{3708}{26{,}40} \cdot \frac{1}{86{,}81} = 1{,}62$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De

SHS-profielen zijn warmgewalst, dus voor een staalkwaliteit van S275 moet curve a worden gebruikt (zie eerdere figuur 47 en tabel 9 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,21.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}21(1{,}62 - 0{,}2) + 1{,}62^2] = 1{,}96$$

$$\chi_y = \frac{1}{1{,}96 + \sqrt{1{,}96^2 - 1{,}62^2}} = 0{,}33 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}33 \cdot \frac{1270 \cdot 275}{1{,}0} = 114{,}11\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{73{,}7}{114{,}11} = 0{,}65 \leq 1{,}0$$

SHS 70x70x5 voldoet aan de voorwaarde. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 1235,5 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 67%. In Diamonds BuildSoft wordt ook de stabiliteit voor een combinatie van knik om de y'-as/z'-as met buiging. Hierbij komt de eenheidscontrole op 70%. Het gekozen buisprofiel voldoet dus nog steeds aan de voorwaarde voor stabiliteit. In dit vakwerk is de sterkte van de diagonaal even bepalend als de stabiliteit.

J.6.10 Doorsnedeclassificatie verticalen

Bij uniforme druk wordt de flens van het buisprofiel een op druk belast inwendig onderdeel, zodat voor de grenswaarde van de doorsnedeklassen geldt: $33\varepsilon = 30{,}51$ voor klasse 1,$38\varepsilon = 35{,}13$ voor klasse 2 en $42\varepsilon = 38{,}83$ voor klasse 3. De breedte van de flens van een SHS 70x70x4 wordt gemeten tussen de afrondingsstraal: $c_f = b - 2t - 2r = 70 - 2 \cdot 4 - 2 \cdot 4 = 52\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van de flens is dan: $c/t = c_f/t_f = 52/4 = 13 \leq 30{,}51$. De flens is dus van klasse 1.

Bij uniforme druk worden de lijven van het buisprofiel een op druk belast inwendig onderdeel, zodat voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen geldt: $33\varepsilon = 30{,}51$ voor klasse 1,$38\varepsilon = 35{,}13$ voor klasse 2 en $42\varepsilon = 38{,}83$ voor klasse 3. De hoogte van de lijven van een SHS 70x70x4 wordt gemeten tussen de afrondingsstalen: $c_w = h - 2t - 2r = 70 - 2 \cdot 4 - 2 \cdot 4 = 52\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van de lijven is dan: $c/t = c_w/t_w = 52/4 = 13 \leq 30{,}51$. De lijven zijn dus van klasse 1. Het profiel SHS 70x70x4 in de staalsoort S275 belast op uniforme druk is van klasse 1.

Wanneer de doorsnede wordt belast op buiging om de sterke as worden de flenzen op druk en de lijven op buiging belast. Dat betekent dat in de lijven naast drukspanningen ook trekspanningen aanwezig zijn, zodat de lijven minder gevoelig zijn voor lokaal plooien. De op druk belaste flenzen vallen in doorsnedeklasse 1, zoals in de berekening hiervoor is te zien. Voor het op buiging belaste lijven geldt voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen: $72\varepsilon = 66{,}56$ voor klasse 1, $83\varepsilon = 76{,}73$ voor klasse 2 en $124\varepsilon = 114{,}63$ voor klasse 3. De toetsing van de doorsnedeklasse van de lijven is dan: $c_w/t_w = 52/4 = 13 \leq 66{,}56$. Er wordt ruim voldaan aan de begrenzing van doorsnedeklasse 1 doordat de

lijven op buiging worden belast. De lijven zijn dus van klasse 1. Het profiel SHS 70x70x4 in de staalsoort S275 belast op buiging om de sterke as is van klasse 1.

J.6.11 Sterktecontrole verticalen

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin:

N_{Ed} is de rekenwaarde van de trekkracht ten gevolge van de belasting; [145,2 kN]

$N_{c,Rd}$ is de rekenwaarde van de uiterst opneembare drukkracht voor de gegeven doorsnede.

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_y$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de brutodoorsnede (**SHS 70x70x4** is gekozen); [1040 mm^2]

f_y is de vloeigrens; [275 N/mm^2]

$$N_{c,Rd} = 1040 \cdot 275 = 286{,}00\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{145{,}2}{286{,}00} = 0{,}51 \leq 1{,}0$$

SHS 70x70x4 voldoet aan de voorwaarde. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 1014,7 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 52%.

J.6.12 Stabiliteitscontrole verticalen

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_y:

$$N_{b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_y is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi_y \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/275} = 86{,}81$

$$i_y = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{74{,}70 \cdot 10^4}{1040}} = 26{,}80\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{2348}{26{,}80} \cdot \frac{1}{86{,}81} = 1{,}01$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De SHS-profielen zijn warmgewalst, dus voor een staalkwaliteit van S275 moet curve a worden gebruikt (zie eerdere figuur 47 en tabel 9 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,21.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}21(1{,}01 - 0{,}2) + 1{,}01^2] = 1{,}10$$

$$\chi_y = \frac{1}{1{,}09 + \sqrt{1{,}09^2 - 1{,}01^2}} = 0{,}66 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}66 \cdot \frac{1040 \cdot 275}{1{,}0} = 188{,}52\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{145{,}2}{188{,}52} = 0{,}77 \leq 1{,}0$$

SHS 70x70x4 voldoet aan de voorwaarde. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 1014,7 mm^2, waardoor de eenheidscontrole uitkomt op 79%.

J.7 Optimalisatieonderzoek deel 2: HEA-profielen in staalkwaliteit S355

J.7.1 Doorsnedeclassificatie bovenrandstaaf

Bij uniforme druk wordt de uitkragende flens op druk belast, zodat voor de grenswaarde van de doorsnedeklassen geldt: $9\varepsilon = 7{,}32$ voor klasse 1, $10\varepsilon = 8{,}14$ voor klasse 2 en $14\varepsilon = 11{,}39$ voor klasse 3.

De breedte van de flens van een HEA 200 wordt gemeten vanaf de afrondingsstraal tot de flenstip: $c_f = 0{,}5(b - t_w - 2r) = 0{,}5(200 - 6{,}5 - 2 \cdot 18) = 78{,}75\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van de flens is dan: $c/t = c_f/t_f = 78{,}75/10 = 7{,}88 \leq 8{,}14$. De flens is dus van klasse 2.

Bij een uniforme druk wordt het lijf een op druk belast inwendig onderdeel, zodat voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen geldt: $33\varepsilon = 26{,}85$ voor klasse 1, $38\varepsilon = 30{,}92$ voor klasse 2 en $42\varepsilon = 34{,}17$ voor klasse 3. De hoogte van het lijf wordt gemeten tussen de afrondingsstalen: $c_w = h - 2t_f - 2r = 190 - 2 \cdot 10 - 2 \cdot 18 = 134\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van het lijf is dan: $c/t = c_w/t_w = 134/6{,}5 = 20{,}62 \leq 26{,}85$. Het lijf is dus van klasse 1. Het profiel HEA 200 in de staalsoort S235 belast op uniforme druk is van klasse 2.

Wanneer de doorsnede wordt belast op buiging om de sterke as worden de (bovenste) flenzen op druk en het lijf op buiging belast. Dat betekent dat in het lijf naast drukspanningen ook trekspanningen aanwezig zijn, zodat het lijf minder gevoelig is voor lokaal plooien. De op druk belaste flenzen vallen in doorsnedeklasse 2, zoals in de berekening hiervoor is te zien. Voor het op buiging belaste lijf geldt voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen: $72\varepsilon = 58{,}58$ voor klasse 1, $83\varepsilon = 67{,}53$ voor klasse 2 en $124\varepsilon = 100{,}89$ voor klasse 3. De toetsing van de doorsnedeklasse van het lijf is dan: $c_w/t_w = 134/6{,}5 = 20{,}62 \leq 58{,}58$. Er wordt ruim voldaan aan de begrenzing van doorsnedeklasse 1 doordat het lijf op buiging wordt belast. Het lijf is dus van klasse 1. Het profiel HEA 200 in de staalsoort S355 belast op buiging om de sterke as is van klasse 1.

J.7.2 Sterktecontrole bovenrandstaaf

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin:

N_{Ed} is de rekenwaarde van de drukkracht ten gevolge van de belasting; [521,6 kN]

$N_{c,Rd}$ is de rekenwaarde van de uiterst opneembare drukkracht voor de gegeven doorsnede.

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_y$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de brutodoorsnede (**HEA 200** is gekozen); [5383 mm^2]

f_y is de vloeigrens; [355 N/mm^2]

$$N_{c,Rd} = 5383 \cdot 355 = 1910{,}97\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{521{,}6}{1910{,}97} = 0{,}27 \leq 1{,}0$$

HEA 200 voldoet aan de voorwaarde. In Diamonds BuildSoft wordt dezelfde brutodoorsnede toegepast, waardoor de eenheidscontrole eveneens uitkomt op 27%.

J.7.3 Stabiliteitscontrole bovenrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_z:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_z is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi_z \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5 / 355} = 76{,}41$

$$i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1336 \cdot 10^4}{5383}} = 49{,}82\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5834{,}5}{49{,}82} \cdot \frac{1}{76{,}41} = 1{,}53$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De HEA-profielen en van staalkwaliteit S355 met $h/b = 190/200 = 0{,}95 \leq 1{,}2$ en $t_f = 10 \leq 100$, dus bij knikken om de z'-as moet curve c worden gebruikt (zie eerdere figuur 47 en tabel 9 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,49.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}49(1{,}53 - 0{,}2) + 1{,}53^2] = 2{,}0$$

$$\chi_z = \frac{1}{2{,}0 + \sqrt{2{,}0^2 - 1{,}53^2}} = 0{,}30 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}30 \cdot \frac{5383 \cdot 355}{1{,}0} = 581{,}23\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{521{,}6}{581{,}23} = 0{,}89 \leq 1{,}0$$

HEA 200 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. Echter is de eenheidscontrole groter dan de beoogde 85%, dus in dit geval blijft er relatief weinig marge over. In Diamonds BuildSoft wordt ook de stabiliteit voor een combinatie van knik om de z'-as met buiging. Hierbij komt de eenheidscontrole op 95%. In dit vakwerk heeft de stabiliteit van de bovenrandstaaf een bepalende rol ten aanzien van de sterkte. Om meer marge te krijgen in de bovenrandstaaf is het dus beter om te kiezen voor een HEA 220 in staalsoort S235, zoals in het eerste deel van dit optimalisatieonderzoek was gekozen. De conclusie is dus dat een hogere staalkwaliteit er niet voor zorgt dat de HEA 220 in S235 slanker kan worden uitgevoerd tot, in dit geval, een HEA 200 in S355. Daarmee kan het gewicht van de vakwerkligger niet verder worden gereduceerd.

J.7.4 Doorsnedeclassificatie onderrandstaaf

Bij uniforme druk wordt de uitkragende flens op druk belast, zodat voor de grenswaarde van de doorsnedeklassen geldt: $9\varepsilon = 7{,}32$ voor klasse 1, $10\varepsilon = 8{,}14$ voor klasse 2 en $14\varepsilon = 11{,}39$ voor klasse 3. De breedte van de flens van een HEA 120 wordt gemeten vanaf de afrondingsstraal tot de flenstip: $c_f = 0{,}5(b - t_w - 2r) = 0{,}5(120 - 5 - 2 \cdot 12) = 45{,}5\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van de flens is dan: $c/t = c_f/t_f = 45{,}5/8 = 5{,}69 \leq 7{,}32$. De flens is dus van klasse 1.

Bij een uniforme druk wordt het lijf een op druk belast inwendig onderdeel, zodat voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen geldt: $33\varepsilon = 26{,}85$ voor klasse 1, $38\varepsilon = 30{,}92$ voor klasse 2 en $42\varepsilon = 34{,}17$ voor klasse 3. De hoogte van het lijf wordt gemeten tussen de afrondingsstalen: $c_w = h - 2t_f - 2r = 114 - 2 \cdot 8 - 2 \cdot 12 = 74\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van het lijf is dan: $c/t = c_w/t_w = 74/5 = 14{,}8 \leq 26{,}85$. Het lijf is dus van klasse 1. Het profiel HEA 120 in de staalsoort S355 belast op uniforme druk is van klasse 2.

Wanneer de doorsnede wordt belast op buiging om de sterke as worden de (bovenste) flenzen op druk en het lijf op buiging belast. Dat betekent dat in het lijf naast drukspanningen ook trekspanningen aanwezig zijn, zodat het lijf minder gevoelig is voor lokaal plooien. De op druk belaste flenzen vallen in doorsnedeklasse 1, zoals in de berekening hiervoor is te zien. Voor het op buiging belaste lijf geldt voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen: $72\varepsilon = 58{,}58$ voor klasse 1, $83\varepsilon = 67{,}53$ voor klasse 2 en $124\varepsilon = 100{,}89$ voor klasse 3. De toetsing van de doorsnedeklasse van het lijf is dan: $c_w/t_w = 74/5 = 14{,}8 \leq 58{,}58$. Er wordt ruim voldaan aan de begrenzing van doorsnedeklasse 1 doordat het lijf op

buiging wordt belast. Het lijf is dus van klasse 1. Het profiel HEA 120 in de staalsoort S355 belast op buiging om de sterke as is van klasse 1.

J.7.5 Sterktecontrole onderrandstaaf

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin:

N_{Ed} is de rekenwaarde van de trekkracht ten gevolge van de belasting; [518,3 kN]

$N_{c,Rd}$ is de rekenwaarde van de uiterst opneembare drukkracht voor de gegeven doorsnede.

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_y$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de brutodoorsnede (**HEA 120** is gekozen); [2534 mm^2]

f_y is de vloeigrens; [355 N/mm^2]

$$N_{c,Rd} = 2534 \cdot 355 = 899{,}57\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{518{,}3}{899{,}57} = 0{,}58 \leq 1{,}0$$

HEA 120 voldoet aan de voorwaarde voor sterkte. In Diamonds BuildSoft wordt dezelfde brutodoorsnede toegepast, waardoor de eenheidscontrole eveneens uitkomt op 58%.

J.7.6 Stabiliteitscontrole onderrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_z:

$$N_{b,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_z is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi_z \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/355} = 76{,}41$

$$i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{230{,}90 \cdot 10^4}{2534}} = 30{,}19\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5833}{30{,}19} \cdot \frac{1}{76{,}41} = 2{,}53$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De HEA-profielen en van staalkwaliteit S355 met $h/b = 114/120 = 0{,}95 \leq 1{,}2$ en $t_f = 8 \leq 100$, dus bij knikken om de z'-as moet curve c worden gebruikt (zie eerdere figuur 47 en tabel 9 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,49.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}49(2{,}53 - 0{,}2) + 2{,}53^2] = 4{,}27$$

$$\chi_z = \frac{1}{4{,}27 + \sqrt{4{,}27^2 - 2{,}53^2}} = 0{,}13 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}13 \cdot \frac{2534 \cdot 355}{1{,}0} = 116{,}71\ kN$$

Dus:

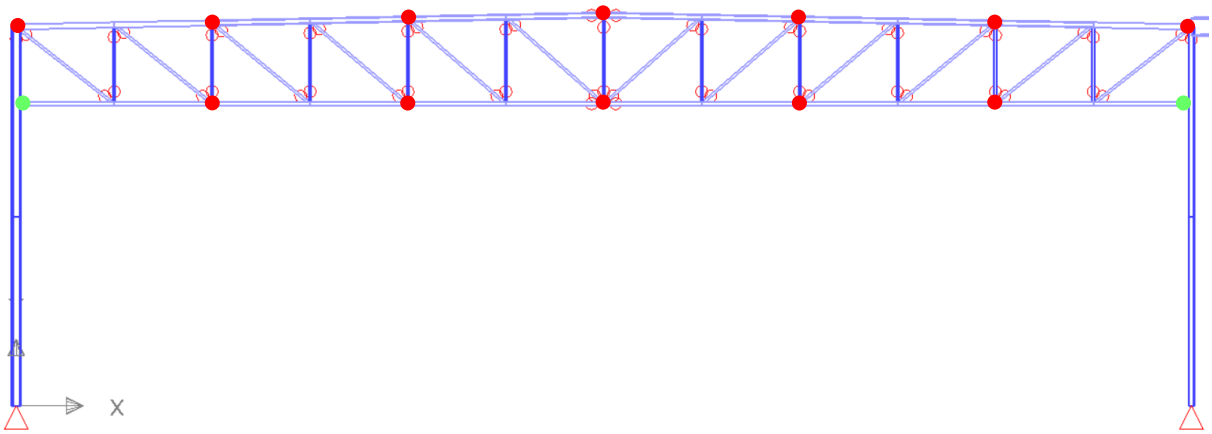
$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{113{,}8}{116{,}71} = 0{,}98 \leq 1{,}0$$

HEA 120 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. Echter is de eenheidscontrole groter dan de beoogde 85%, dus in dit geval blijft er relatief weinig marge over. In Diamonds BuildSoft wordt ook de stabiliteit voor een combinatie van knik om de z'-as met buiging. Hierbij komt de eenheidscontrole op 99%. In dit vakwerk heeft de stabiliteit van de onderrandstaaf een bepalende rol ten aanzien van de sterkte. Om meer marge te krijgen in de onderrandstaaf is het dus beter om te kiezen voor een HEA 140 in staalsoort S235, zoals in het eerste deel van dit optimalisatieonderzoek was gekozen. De conclusie is dus dat een hogere staalkwaliteit er niet voor zorgt dat de HEA 140 in S235 slanker kan worden

uitgevoerd tot, in dit geval, een HEA 120 in S355. Daarmee kan het gewicht van de vakwerkligger niet verder worden gereduceerd. Waar mogelijk zijn H-profielen toegepast om de materiaalkosten te beperken.

J.7.7 Toetsing kipstabiliteit definitieve vakwerkligger

In de stabiliteitsberekeningen zijn de kniklengtes afgestemd op zijdelingse steunpunten; de kipsteunen van de vakwerkligger. In totaal zijn dus 14 kipsteunen nodig, waarvan 7 steunen in de onderrand van type C en 7 steunen in de bovenrand van type C. In de onderrand worden de uiteinden zijdelings gesteund door middel van een zijdelingse glijoplegging met een UNP 200, zoals te zien in onderstaande figuur 48.



Figuur 48: De rode stippen geven de plaatsen aan waar kipsteunen worden aangebracht. De groene stippen geven aan dat dit een horizontale glijoplegging is met een UNP 200.

Aan kipstabiliteit is voldaan indien zijdelingse steunen (kipsteunen) aan de onderrandstaven zijn gedimensioneerd op de grootste van de volgende krachten:

$$N_{st,Ed} = 0{,}01 \cdot A_f \cdot \sigma_{f,Ed}$$

$$N_{st,Ed} = 0{,}005 \cdot A_f \cdot f_y$$

Waarin:

A_f is de oppervlakte van de bovenrandstaaf; [$A_{HEA\,140} = 3142\ mm^2$]

$\sigma_{f,Ed}$ is de rekenwaarde van de spanning in boven-/onderrandstaaf. [$176{,}4\ N/mm^2$]

Invullen geeft:

$$N_{st,Ed} = 0{,}01 \cdot 3142 \cdot 176{,}4 = 5542{,}59\ N \cong 5{,}54\ kN$$

$$N_{st,Ed} = 0{,}005 \cdot 3142 \cdot 235 = 3691{,}85\ N \cong 3{,}69\ kN$$

De grootste waarde voor $N_{st,Ed} = 5{,}54\ kN$, maar de kipsteunen maken een hoek van 45°. Hierdoor is de werkelijk optredende drukkracht in de kipsteun groter: $N_{st,Ed} = \sqrt{2} \cdot 5{,}54 = 7{,}84\ kN$. Met deze

drukkracht wordt een stabiliteitsberekening gedaan voor het kipsteun staalprofiel. Er is gekozen voor een hoekstaal L 60x60x6 in staalsoort S235.
Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_z:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_z is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi_z \leq 1{,}0$$

Waarin:
$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/235} = 93{,}91$

$$i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{22{,}79 \cdot 10^4}{691}} = 18{,}16\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{3704{,}53}{18{,}16} \cdot \frac{1}{93{,}91} = 2{,}18$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De L-profielen en van staalkwaliteit S235, dus bij knikken om de z'-as moet curve b worden gebruikt (zie eerdere figuur 47 en tabel 9 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,34.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}34(2{,}18 - 0{,}2) + 2{,}18^2] = 3{,}22$$

$$\chi_z = \frac{1}{3{,}22 + \sqrt{3{,}22^2 - 2{,}18^2}} = 0{,}18 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}18 \cdot \frac{691 \cdot 235}{1{,}0} = 29{,}10\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{st,Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{7{,}84}{29{,}10} = 0{,}27 \leq 1{,}0$$

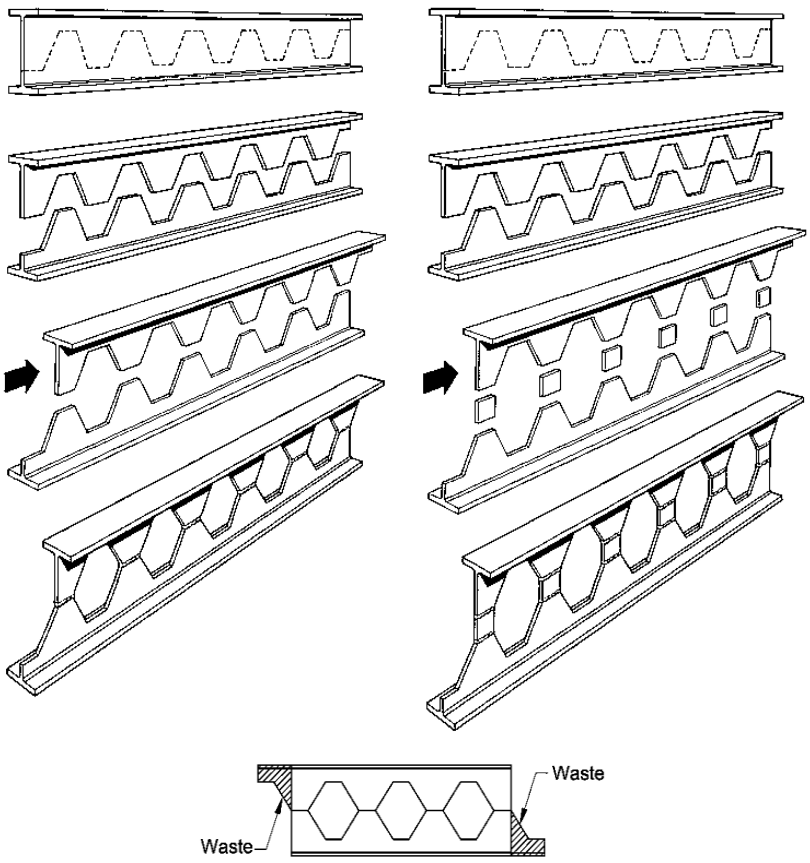
L 60x60x6 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit.

Bijlage K: Raatligger

Deze bijlage staat volledig in het teken van raatliggers. Van de raatliggers worden rekenmodellen gemaakt in Diamonds BuildSoft, waarbij gevarieerd wordt met windbelasting, sneeuwbelasting en zonnepanelen. Aan de hand van de meest belastende situatie worden toetsingen verricht voor sterkte en stabiliteit. Als de raatligger aan alle voorwaarden voldoet, zal deze worden meegenomen in de calculatie waarin de kosten voor materiaal, conservering, productie en transport worden meegenomen.

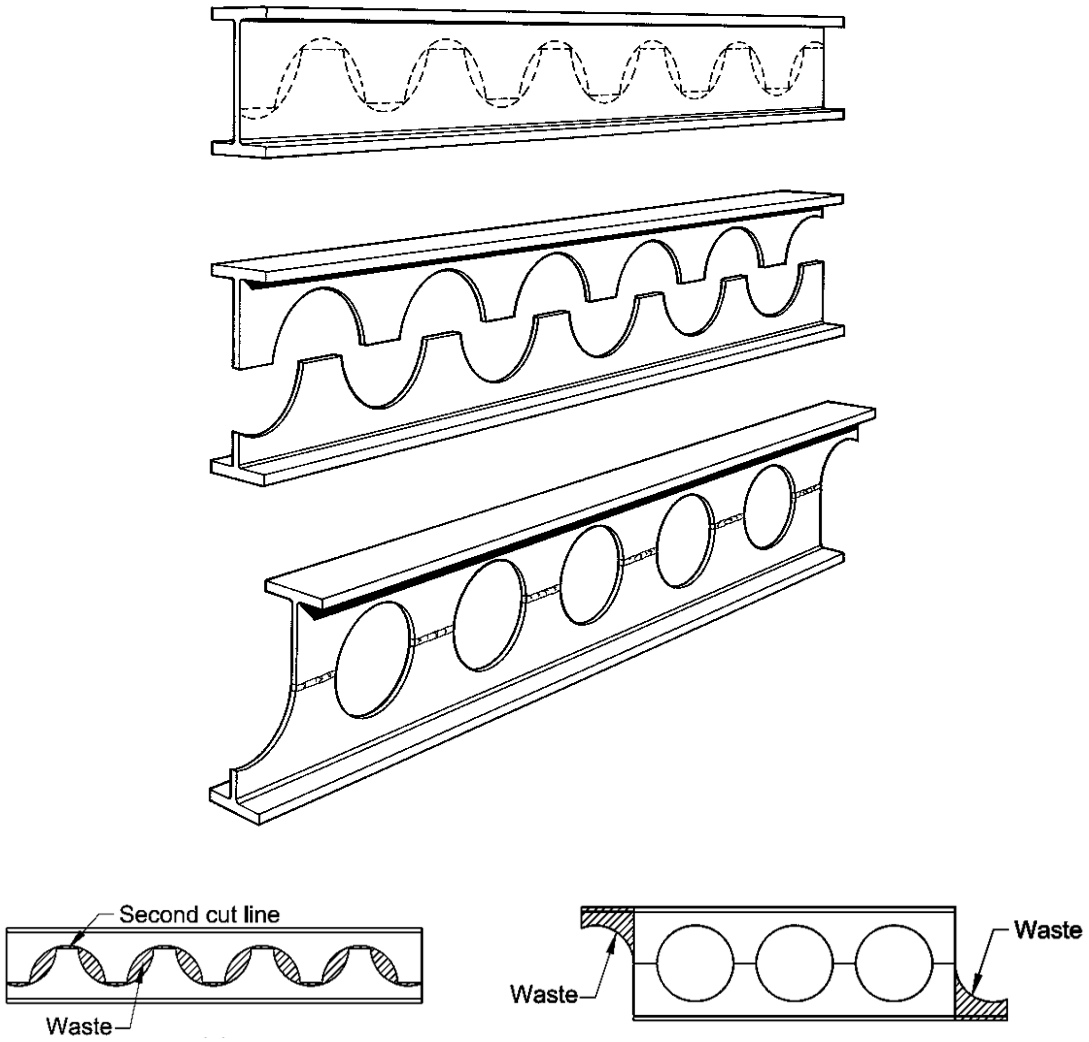
K.1 Basisprincipes van een raatligger

Een raatligger, ook wel honingraatligger genoemd, is een type balk waarbij een I-, H- of U-profiel in de lengterichting volgens een hexagonaal patroon langs het lijf wordt gesneden. Het doel is het snijpatroon te gebruiken om de balk te scheiden en weer samen te voegen met een dieperliggend lijf. De verkregen helften worden een halve steek ten opzichte van elkaar verschoven en met de toppen van de hexagonale tanden weer vastgelast. Door deze aanpassing aan het standaard profiel bevindt zich meer materiaal aan de 'buitenzijde', waardoor het traagheidsmoment van de doorsnede hoger wordt, zonder extra materiaal en dus gewicht toe te voegen. Om de hoogte van de raatligger nog verder te vergroten kunnen rechthoekige of vierkante platen tussen de losgesneden helften gelast. Dit is te zien in onderstaande figuur 49.



Figuur 49: Fabricageproces van een raatligger met zeshoekige openingen. Het lijf van het standaard I-profiel wordt met een tandheuvelvormig (hexagonaal) patroon doorgesneden. De toppen van de tanden worden vervolgens op elkaar gezet, waarna de helften worden vastgelast. Het is ook mogelijk om vierkanten of rechthoeken aan te brengen tussen de tanden om het profiel verder te verhogen. Zo ontstaan achthoekige gaten in het lijf (Joostdevree.nl, z.d.-b).

Deze raatligger dankt zijn naam aan het karakteristieke patroon van zeshoekige gaten die lijken op honingraten. Het gatenpartoon van de raatliggers mag dan technisch gezien de optimale vorm zijn, soms voldoet het niet aan de esthetische inzichten van architect of vormgever. In dat geval bestaat er een alternatief voor de raatligger met weer nieuwe mogelijkheden, namelijk de patrijspoortligger. In plaats van hoekige openingen worden ronde openingen gemaakt, uiteenlopend van ovalen tot cirkels. Patrijspoortliggers kunnen van gaten van velerlei vorm worden voorzien. Het dichtst bij de oorspronkelijke raatligger-gedachte blijven de gelaste patrijspoortliggers met ronde openingen. Ze worden net als raatliggers gemaakt uit een versneden walsprofiel. De uitgesneden helften worden voor het vastlassen een halve steek ten opzichte van elkaar verschoven. Dit fabricageproces, zoals te zien in onderstaande figuur 50, is vergelijkbaar met het fabricageproces van raatliggers.

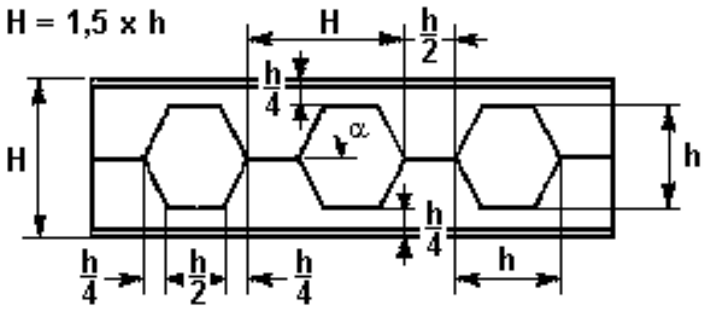


Figuur 50: Fabricageproces van een raatligger met patrijspoorten. Het lijf van het standaard I-profiel wordt met een cirkelvormig patroon doorgesneden. De toppen van de tanden worden vervolgens op elkaar gezet, waarna de helften worden vastgelast (Grünbauer, z.d.-a).

Bij de dimensionering van raatliggers zijn verschillende keuzes te maken. In Europa wordt voor de tandheugelvormige snede traditioneel vaak de zogenaamde “Peiner-Schnittführung” toegepast. Deze vorm wordt ook wel “Litzka-Schnittführung” genoemd. Deze raatligger wordt gekarakteriseerd door de volgende drie uitgangspunten:

› De verhoging H/h wordt op 1,5 gesteld (met andere woorden, de hoogte van de raatligger H is anderhalf maal zo groot als de hoogte van het uitgangs-walsprofiel h);
› De steek van de raten wordt gelijk genomen aan de hoogte H van de raatligger;
› De hoek α wordt op 63,5° gesteld (om precies te zijn, tan α = 2).

Met deze drie aannamen is de dimensionering van de raatligger geheel bepaald. De laslengte aan de kop van de tand is h/2; de grootste breedte van de raat is h. De hoogte van de raat is eveneens h, zoals te zien in onderstaande figuur 51.



Figuur 51: Standaardverhoudingen raatligger (Joostdevree.nl, z.d.-b).

Raatliggers kunnen – door hun grote hoogte – grotere buigmomenten opvangen dan de standaardprofielen waaruit ze zijn gemaakt. Dat wil zeggen dat ze aanmerkelijk buigstijver zijn dan het standaardprofiel. De opneembare dwarskracht is kleiner, dus raatliggers zijn daarom alleen geschikt voor grote overspanningen met geringere belastingen.

Andere belangrijke voordelen van raatliggers zijn:

› Architectonisch verantwoord;
› Lichtgewicht;
› Zeer sterk;
› Kostenefficiënt;
› De structuur en hoogte zijn eenvoudig aan te passen aan de hand van klantspecificaties;
› Eenvoudige doorvoer van bekabeling en leidingen;
› Makkelijk te monteren op de bouwplaats;
› De ligger kan worden getoogd;
› De ligger kan worden gezeegd;
› De ligger kan worden gebogen;
› Flexibel in hoogte en structuur;
› Na sloop van een gebouw kan het staal worden hergebruikt.

K.2 IPE 600 raatligger (S355)

K.2.1 Doorsnedeclassificatie IPE 600 raatligger (h = 1100 mm)

Voor S355 bedraagt de factor ε:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0{,}81$$

Bij uniforme druk wordt de uitkragende flens op druk belast, zodat voor de grenswaarde van de doorsnedeklassen geldt: $9\varepsilon = 7{,}32$ voor klasse 1, $10\varepsilon = 8{,}14$ voor klasse 2 en $14\varepsilon = 11{,}39$ voor klasse 3. De breedte van de flens van een IPE 600 wordt gemeten vanaf de afrondingsstraal tot de flenstip: $c_f = 0{,}5(b - t_w - 2r) = 0{,}5(220 - 12 - 2 \cdot 24) = 80\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van de flens is dan: $c/t = c_f/t_f = 80/19 = 4{,}21 \leq 7{,}32$. De flens is dus van klasse 1.

Wanneer de doorsnede wordt belast op buiging om de sterke as worden de (bovenste) flenzen op druk en het lijf op buiging belast. Dat betekent dat in het lijf naast drukspanningen ook trekspanningen aanwezig zijn, zodat het lijf minder gevoelig is voor lokaal plooien. De op druk belaste flenzen vallen in doorsnedeklasse 1, zoals in de berekening hiervoor is te zien. Voor het op buiging belaste lijf geldt voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen: $72\varepsilon = 58{,}58$ voor klasse 1, $83\varepsilon = 67{,}53$ voor klasse 2 en $124\varepsilon = 100{,}89$ voor klasse 3. De hoogte van het lijf wordt gemeten tussen de afrondingsstalen: $c_w = h - 2t_f - 2r = 1100 - 2 \cdot 19 - 2 \cdot 24 = 1014\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van het lijf is dan: $c/t = c_w/t_w = 1014/12 = 84{,}5 \leq 100{,}89$. Het lijf is dus van klasse 3. Het profiel IPE 600 vermaakt tot een raatligger met een hoogte van 1100 mm in de staalsoort S355 belast op buiging om de sterke as is van klasse 3.

K.2.2 Controle sterkte/weerstand van de doorsnede

In een ligger op twee steunpunten treden de grootste spanningen op in het midden van de overspanning als gevolg van het buigend moment. In de ligger treden dwarskrachten, momenten en normaalkrachten op, waarbij de grootste dwarskrachten bij de opleggingen optreden en de grootste momenten in het midden van de overspanning. Er is dus geen combinatie van dwarskrachten met buigende momenten.

Toetsing buigend moment

De rekenwaarde van het buigend moment M_{Ed} voor deze ligger bedraagt 1469,8 kNm. Dit is het resultaat van de belastingen in de UGT. De rekenwaarde van het buigend moment in elke dwarsdoorsnede moet voldoen aan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin $M_{c,Rd}$ is bepaald rekening houdend met de gaten voor bevestigingsmiddelen.

Omdat de doorsnede van klasse 3 is, mag alleen de elastische momentweerstand worden gebruikt.

De rekenweerstand voor buiging om een hoofdas van een dwarsdoorsnede is als volgt bepaald:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{5936 \cdot 10^3 \cdot 355}{1{,}0} = 2107{,}28\ kNm$$

De toets is dan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{1469{,}8}{2107{,}28} = 0{,}70 \leq 1{,}0$$

IPE 600 raatligger (h = 1100 mm) voldoet aan de voorwaarde voor momentweerstand. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een automatisch gegenereerd elastisch weerstandsmoment van 5942·10^3 mm^3. Ondanks dit kleine verschil komt de eenheidscontrole eveneens uit op 70%.

Toetsing dwarskracht (afschuiving)

Om de rekenwaarde van de elastische weerstand tegen dwarskracht $V_{c,Rd}$ te toetsen mag, voor een kritiek punt van de doorsnede, het volgende criterium zijn gebruikt tenzij het toetsen op plooien volgens hoofdstuk 5 van EN 1993-1-5 van toepassing is:

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\left(\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}\right)} \leq 1{,}0$$

Waarin τ_{Ed} als volgt mag zijn bepaald:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S}{I_y \cdot t_w}$$

Waarin:

V_{Ed} is de rekenwaarde van de dwarskracht; [174,5 kN]

S is het statisch moment in het beschouwde punt; [3121·10^3 mm^3]

I_y is het traagheidsmoment van de volledige doorsnede om de sterke as; [326494·10^4 mm^4]

t_w is de dikte in het beschouwde punt (het lijf); [12 mm]

Invullen geeft:

$$\tau_{Ed} = \frac{174500 \cdot 3121000}{3264940000 \cdot 12} = 13{,}90\ \ N/mm^2$$

De toets is dan:

$$\frac{13{,}90}{355/\left(\sqrt{3} \cdot 1{,}0\right)} = 0{,}07 \leq 1{,}0$$

IPE 600 raatligger (h = 1100 mm) voldoet aan de voorwaarde voor dwarskracht. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een gemodificeerde variant van een IPE 600, waarin alleen de karakteristieken van de raatligger zijn verwerkt in de waarden. Het rekenprogramma weet dus niet dat er raten in het profiel zitten en dat de doorsnede ter plaatse van een raat bestaat uit slechts twee T-stukken bestaande uit de flens en een stukje lijf. Verder wordt een andere berekeningswijze toegepast met A_{vz} als werkzaam afschuifoppervlak en komt daarmee eveneens op een eenheidscontrole van 7%.

Bovendien behoort, voor lijven zonder dwarsverstijvers, de weerstand tegen plooien door afschuiving volgens hoofdstuk 5 van EN 1993-1-5 te zijn bepaald indien:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{1014}{12} = 84{,}5 > 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0{,}81}{1{,}0} = 58{,}58$$

Het is aan de veilige kant om η gelijk aan 1,0 te stellen. Omdat de weerstand tegen plooien wordt bepaald, mag voor I- of H-profielen de schuifspanning in het lijf ook als volgt zijn bepaald:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \text{ indien } A_f/A_w = 4180/2568 = 1{,}63 \geq 0{,}6$$

Waarin:

A_f is de oppervlakte van één flens; $[A_f = h_f \cdot b_f = 19 \cdot 220 = 4180\ mm^2]$

A_w is de oppervlakte van het lijf. $[A_w = h_w \cdot t_w = 214 \cdot 12 = 2568\ mm^2]$

Invullen geeft:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{174500}{2568} = 67{,}95\ N/mm^2$$

De toets is dan:

$$\frac{67{,}95}{355/\left(\sqrt{3} \cdot 1{,}0\right)} = 0{,}33 \leq 1{,}0$$

IPE 600 raatligger (h = 1100 mm) voldoet vooralsnog aan de voorwaarde voor dwarskracht.

K.2.3 Controle doorbuiging

Doorbuiging zal invloed hebben op de waterafvoer van het dak. Om het water van het dak op de juiste manier af te voeren moet het afschot van het dak minimaal 1,6% (16 mm/m) zijn volgens Bouwbesluit 2012. Bij een overspanning van 35,00 m is daarom in het midden van de overspanning een hoogte van 280 mm vereist. Zoals bekend is in het ontwerp een afschot van 2,0% (20 mm/m) aangenomen, wat resulteert in een hoogte in het midden van de overspanning van 350 mm. Er is dus een marge van 70 mm (= 350 mm – 280 mm) die gebruikt mag worden voor de doorbuiging van de constructie om nog te voldoen aan de ondergrens van het dakafschot.

Voorwaarde:

$$u \leq u_{max}$$

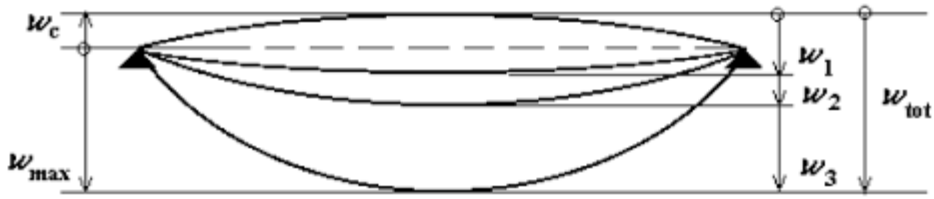
Waarin:

u doorbuiging van de gekozen ligger;

u_{max} (ook wel u_{eind} genoemd) maximale toegestane doorbuiging van de ligger.

$$u_{max} \leq 0{,}004 \cdot l_{rep} \leq 0{,}004 \cdot 35000 \leq 140\ mm$$

De limiet voor de doorbuiging van de raatligger is echter 140 mm, dat is 70 mm meer dan de marge. Dat betekent dat er minimaal een extra hoogte van 70 mm moet worden aangebracht, wat kan in de vorm van een zeeg. De verschillende doorbuigingen zijn te zien in onderstaande figuur 52.



Figuur 52: Verklaring doorbuigingen volgens NEN-EN 1990:

w_c	*zeeg van onbelaste elementen;*
w_1	*aanvangsdeel van de doorbuiging onder de blijvende belastingen;*
w_2	*langetermijndeel van de doorbuigingen onder de blijvende belastingen;*
w_3	*bijkomende deel van de doorbuigingen voor de veranderlijke belastingen;*
w_{tot}	*totale doorbuiging ($w_{tot} = w_1 + w_2 + w_3$);*
w_{max}	*blijvende totale doorbuiging, rekening houdend met de zeeg.*

Uit het rekenmodel in Diamonds BuildSoft blijkt dat de omhullende doorbuiging van de raatligger wordt bepaald door combinatie BGT ZC 2, waarin de belastinggevallen voor het eigengewicht van de raatligger, de permanente belasting van de dakbedekking (bitumen, isolatie, dakplaat, etc.) en de sneeuwbelasting als veranderlijke belasting zijn verwerkt. Er is gaandeweg in de berekening een sterk vermoeden ontstaan dat de IPE 600 raatligger niet voldoet aan de maximale doorbuigingseis, dus is het raadzaam om eerst de maximale doorbuiging te berekenen. Op het moment dat de gekozen raatligger nog niet voldoet, zal een zwaarder profiel worden gekozen die minder zal doorbuigen, waardoor wellicht minder zeeghoogte nodig is.

Primaire doorbuiging van de ligger ten gevolge van permanente en veranderlijke belastingen:

$$u_{tot} = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

Waarin:

q_{Ed} gelijkmatig verdeelde belasting met inbegrip van de veiligheidsfactoren; [7,11 kN/m *]

l lengte van de overspanning; [35,00 m]

E rekenwaarde van de elasticiteitsmodulus; [2,1·10^5 N/mm^2]

I traagheidsmoment van de doorsnede; [326494·10^4 mm^4]

* Er wordt hier teruggerekend van het buigend moment in de BGT (1088,2 kNm) naar een q-last middels de formule van het buigend moment bij een ligger op twee steunpunten ($M = 1/8 \cdot q \cdot l^2$). De q-last komt hierdoor uit op 7,11 kN/m.

Invullen geeft:

$$u_1 = \frac{5 \cdot 7{,}11 \cdot 35000^4}{384 \cdot 210000 \cdot 3264940000} = 202{,}53\ mm > 140\ mm$$

IPE 600 raatligger (h = 1100 mm) met extra platen van 200 mm tussen de tanden van de losgesneden helften voldoet niet aan de maximale doorbuigingseis. In Diamonds BuildSoft komt de doorbuiging van de IPE 600 raatligger zelfs uit op 204,1 mm en bevestigt daarmee de uitkomst van deze berekening. Dit betekent dat geen enkel raatliggervorm van een IPE-profiel zal voldoen en dat er gekozen moet worden voor een raatligger van een HEA-profiel. Bovenstaande berekeningen zullen daarom worden herhaald, waarbij benadering $I_y \geq 532000 \cdot 10^4\ mm^4$ moet zijn voor een ingeschatte q-last van 8,00 kN/m. Volgens de tabellen van Grünbauer zal een HEA 800 wel voldoen aan de maximale doorbuigingseis. Een standaard raatligger is 1,5 keer hoger dan het basisprofiel, dus een HEA 800 raatligger (h=1185 mm) met $I_y = 704636\ 10^4\ mm^4$ is gekozen. Wat betreft de zeeghoogte kan deze beter na de berekening van de HEA 800 raatligger worden vastgesteld.

K.3 HEA 800 raatligger (S355)

K.3.1 Doorsnedeclassificatie HEA 800 raatligger (h = 1185 mm)

Voor S355 bedraagt de factor ε:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0{,}81$$

Bij uniforme druk wordt de uitkragende flens op druk belast, zodat voor de grenswaarde van de doorsnedeklassen geldt: $9\varepsilon = 7{,}32$ voor klasse 1, $10\varepsilon = 8{,}14$ voor klasse 2 en $14\varepsilon = 11{,}39$ voor klasse 3. De breedte van de flens van een HEA 800 wordt gemeten vanaf de afrondingsstraal tot de flenstip: $c_f = 0{,}5(b - t_w - 2r) = 0{,}5(300 - 15 - 2 \cdot 30) = 112{,}5\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van de flens is dan: $c/t = c_f/t_f = 112{,}5/28 = 4{,}02 \leq 7{,}32$. De flens is dus van klasse 1.

Wanneer de doorsnede wordt belast op buiging om de sterke as worden de (bovenste) flenzen op druk en het lijf op buiging belast. Dat betekent dat in het lijf naast drukspanningen ook trekspanningen aanwezig zijn, zodat het lijf minder gevoelig is voor lokaal plooien. De op druk belaste flenzen vallen in doorsnedeklasse 1, zoals in de berekening hiervoor is te zien. Voor het op buiging belaste lijf geldt voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen: $72\varepsilon = 58{,}58$ voor klasse 1, $83\varepsilon = 67{,}53$ voor klasse 2 en $124\varepsilon = 100{,}89$ voor klasse 3. De hoogte van het lijf wordt gemeten tussen de afrondingsstalen: $c_w = h - 2t_f - 2r = 1185 - 2 \cdot 28 - 2 \cdot 30 = 1069\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van het lijf is dan: $c/t = c_w/t_w = 1069/15 = 71{,}27 \leq 100{,}89$. Het lijf is dus van klasse 3. Het profiel HEA 800 vermaakt tot een raatligger met een hoogte van 1185 mm in de staalsoort S355 belast op buiging om de sterke as is van klasse 3.

K.3.2 Controle sterkte/weerstand doorsnede

In een ligger op twee steunpunten treden de grootste spanningen op in het midden van de overspanning als gevolg van het buigend moment. In de ligger treden dwarskrachten, momenten en normaalkrachten op, waarbij de grootste dwarskrachten bij de opleggingen optreden en de grootste momenten in het midden van de overspanning. Er is dus geen combinatie van dwarskrachten met buigende momenten.

Toetsing buigend moment

De rekenwaarde van het buigend moment M_{Ed} voor deze ligger bedraagt 1641,3 kNm. Dit is het resultaat van de belastingen in de UGT. De rekenwaarde van het buigend moment in elke dwarsdoorsnede moet voldoen aan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin $M_{c,Rd}$ is bepaald rekening houdend met de gaten voor bevestigingsmiddelen.

Omdat de doorsnede van klasse 3 is, mag alleen de elastische momentweerstand worden gebruikt. De rekenweerstand voor buiging om een hoofdas van een dwarsdoorsnede is als volgt bepaald:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{11893 \cdot 10^3 \cdot 355}{1{,}0} = 4222{,}02\ kNm$$

De toets is dan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{1641{,}3}{4222{,}02} = 0{,}39 \leq 1{,}0$$

HEA 800 raatligger (h = 1185 mm) voldoet aan de voorwaarde voor momentweerstand. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een automatisch gegenereerd elastisch weerstandsmoment van 11902·10^3 mm^3. Desondanks komt de eenheidscontrole eveneens uit op 39%.

Toetsing dwarskracht (afschuiving)

Om de rekenwaarde van de elastische weerstand tegen dwarskracht $V_{c,Rd}$ te toetsen mag, voor een kritiek punt van de doorsnede, het volgende criterium zijn gebruikt tenzij het toetsen op plooien volgens hoofdstuk 5 van EN 1993-1-5 van toepassing is:

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\left(\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}\right)} \leq 1{,}0$$

Waarin τ_{Ed} als volgt mag zijn bepaald:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S}{I_y \cdot t_w}$$

Waarin:

V_{Ed} is de rekenwaarde van de dwarskracht; [194,1 kN = 194100 N]

S is het statisch moment in het beschouwde punt; [6295·10^3 mm^3]

I_y is het traagheidsmoment van de volledige doorsnede om de sterke as; [704636·10^4 mm^4]

t_w is de dikte in het beschouwde punt (het lijf); [15 mm]

Invullen geeft:

$$\tau_{Ed} = \frac{194100 \cdot 6295000}{7046360000 \cdot 15} = 11{,}56\ N/mm^2$$

De toets is dan:

$$\frac{11{,}56}{355/\left(\sqrt{3}\cdot 1{,}0\right)} = 0{,}06 \leq 1{,}0$$

HEA 800 raatligger (h = 1185 mm) voldoet aan de voorwaarde voor dwarskracht. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een gemodificeerde variant van een HEA 800, waarin alleen de karakteristieken van de raatligger zijn verwerkt in de waarden. Het rekenprogramma weet dus niet dat er raten in het profiel zitten en dat de doorsnede ter plaatse van een raat bestaat uit slechts twee T-stukken bestaande uit de flens en een stukje lijf. Verder wordt een andere berekeningswijze toegepast met A_{vz} als werkzaam afschuifoppervlak en komt daarmee eveneens op een eenheidscontrole van 6%.

Bovendien behoort, voor lijven zonder dwarsverstijvers, de weerstand tegen plooien door afschuiving volgens hoofdstuk 5 van EN 1993-1-5 te zijn bepaald indien:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{1069}{15} = 71{,}27 > 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0{,}81}{1{,}0} = 58{,}58$$

Het is aan de veilige kant om η gelijk aan 1,0 te stellen.

Omdat de weerstand tegen plooien wordt bepaald, mag voor I- of H-profielen de schuifspanning in het lijf ook als volgt zijn bepaald:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \text{ indien } A_f/A_w = 8400/4185 = 2{,}01 \geq 0{,}6$$

Waarin:

A_f is de oppervlakte van één flens; $[A_f = h_f \cdot b_f = 28 \cdot 300 = 8400\ mm^2]$

A_w is de oppervlakte van het lijf. $[A_w = h_w \cdot t_w = 279 \cdot 15 = 4185\ mm^2]$

Invullen geeft:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{194100}{4185} = 46{,}38\ N/mm^2$$

De toets is dan:

$$\frac{46{,}38}{355/\left(\sqrt{3}\cdot 1{,}0\right)} = 0{,}23 \leq 1{,}0$$

HEA 800 raatligger (h = 1185 mm) voldoet vooralsnog aan de voorwaarde voor dwarskracht.

K.3.3 Controle doorbuiging

Doorbuiging zal invloed hebben op de waterafvoer van het dak. Om het water van het dak op de juiste manier af te voeren moet het afschot van het dak minimaal 1,6% (16 mm/m) zijn volgens Bouwbesluit 2012. Bij een overspanning van 35,00 m is daarom in het midden van de overspanning een hoogte van 280 mm vereist. Zoals bekend is in het ontwerp een afschot van 2,0% (20 mm/m) aangenomen, wat resulteert in een hoogte in het midden van de overspanning van 350 mm.

Er is dus een marge van 70 mm (= 350 mm – 280 mm) die gebruikt mag worden voor de doorbuiging van de constructie om nog te voldoen aan de ondergrens van het dakafschot.

Voorwaarde:

$$u \leq u_{max}$$

Waarin:

u doorbuiging van de gekozen ligger;

u_{max} (ook wel u_{eind} genoemd) maximale toegestane doorbuiging van de ligger.

$$u_{max} \leq 0{,}004 \cdot l_{rep} \leq 0{,}004 \cdot 35000 \leq 140\ mm$$

De limiet voor de doorbuiging van de raatligger is echter 140 mm, dat is 70 mm meer dan de marge. Dat betekent dat er minimaal een extra hoogte van 70 mm moet worden aangebracht, wat kan in de vorm van een zeeg. De verschillende doorbuigingen zijn eerder te zien in figuur 52.

Uit het rekenmodel in Diamonds BuildSoft blijkt dat de omhullende doorbuiging van de raatligger wordt bepaald door combinatie BGT ZC 2, waarin de belastinggevallen voor het eigengewicht van de raatligger, de permanente belasting van de dakbedekking (bitumen, isolatie, dakplaat, etc.) en de sneeuwbelasting als veranderlijke belasting zijn verwerkt. Er is gaandeweg in de berekening een sterk vermoeden ontstaan dat de IPE 600 raatligger niet voldoet aan de maximale doorbuigingseis, dus is het raadzaam om eerst de maximale doorbuiging te berekenen. Op het moment dat de gekozen raatligger nog niet voldoet, zal een zwaarder profiel worden gekozen die minder zal doorbuigen, waardoor wellicht minder zeeghoogte nodig is.

Dakbedekking	0,36 kN/m · 6,25 m	2,24 kN/m
HEA 800 raatligger		2,24 kN/m +
Totaal		4,48 kN/m

Doorbuiging van de raatligger bij permanente belastingen:

$$u_1 = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

Waarin:

q_{Ed} gelijkmatig verdeelde belasting met inbegrip van de veiligheidsfactoren; [4,48 kN/m]

l lengte van de overspanning; [35,00 m]

E rekenwaarde van de elasticiteitsmodulus; [$2{,}1 \cdot 10^5$ N/mm^2]

I traagheidsmoment van de doorsnede; [$704636 \cdot 10^4$ mm^4]

Invullen geeft:

$$u_1 = \frac{5 \cdot 4{,}48 \cdot 35000^4}{384 \cdot 210000 \cdot 7046360000} = 59{,}22\ mm \leq 140\ mm$$

Primaire doorbuiging van de ligger ten gevolge van permanente en veranderlijke belastingen:

$$u_{tot} = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

Waarin:

q_{Ed} gelijkmatig verdeelde belasting met inbegrip van de veiligheidsfactoren; [8,04 kN/m *]

l lengte van de overspanning; [35,00 m]

E rekenwaarde van de elasticiteitsmodulus; [210000 N/mm^2]

I traagheidsmoment van de doorsnede; [704636·10^4 mm^4]

* Er wordt hier teruggerekend van het buigend moment in de BGT (1230,9 kNm) naar een q-last middels de formule van het buigend moment bij een ligger op twee steunpunten ($M = 1/8 \cdot q \cdot l^2$). De q-last komt hierdoor uit op 8,04 kN/m.

Invullen geeft:

$$u_1 = \frac{5 \cdot 8{,}04 \cdot 35000^4}{384 \cdot 210000 \cdot 7046360000} = 106{,}15\ mm \leq 140\ mm$$

HEA 800 raatligger (h = 1185 mm) voldoet aan de maximale doorbuigingseis. In Diamonds BuildSoft komt de doorbuiging uit op 107,8 mm en voldoet ook daar aan de maximale doorbuigingseis. De bijkomende doorbuiging is dus:

$$u_{bij} = u_{tot} - u_1 = 106{,}15 - 59{,}22 = 46{,}93\ mm.$$

De minimale benodigde zeeg om aan de eis voor de totale doorbuiging te voldoen is:

$$u_{ze} = u_{tot} - u_{bij} = 106{,}15 - 46{,}93 = 59{,}22\ mm \cong 59\ mm$$

Wat hier nog niet is meegenomen is de doorbuiging van de dakplaat:

$$u_{max} \leq 0{,}004 \cdot l_{rep} \leq 0{,}004 \cdot 6250 \leq 25\ mm$$

In totaal moet de zeeg dus een hoogte hebben van $59 + 25 = 84\ mm$, maar voor de eenvoud en de veiligheid wordt gekozen voor een zeeghoogte van 85 mm.

K.3.4 Plooien van het lijf

Uit de staaltoets in het rekenmodel van Diamonds BuildSoft blijkt dat er kans bestaat op plooien. Het plooigevaar door afschuiving moet daarom geverifieerd worden. Voor nu deze plooitoets wordt de oude norm gebruikt, vanwege de eenvoud. Als mocht blijken dat er plooi door afschuiving optreedt, dan kan vooralsnog worden gekozen voor de toepassing van de nieuwe norm.

De platen tussen de raten worden getoetst op plooi door afschuiving. De raten worden geschematiseerd tot rechthoeken. De maatgevende lijfplaat ligt tussen de eerste en de tweede raat vanaf de oplegging.

De Eulerse plooibelasting en de daaruit volgende slankheid van het lijf volgt uit (NEN 6771, art. 12.1.6.4.2, formule 12.1-71):

$$V_{k;E} = \frac{9 \cdot K \cdot \pi^3}{8 \cdot h_o} \cdot \frac{b}{h_o} \cdot \sqrt{\frac{\pi^2}{48} \cdot \left(\frac{b}{h_o}\right)^2 + 0{,}5 \cdot (1 - v)}$$

Invullen van:
$K = E_d \cdot {t_w}^3/12(1 - v^2)$ met $v = 0{,}3$, $b = s_{net}$ en $h_o = h^*$ geeft na omwerken:

$$V_{k;E} = 1{,}45 \cdot \frac{E_d \cdot {t_w}^3 \cdot s_{net}}{(h^*)^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{s_{net}}{h^*}\right)^2 + 1{,}70}$$

$$= 1{,}45 \cdot \frac{2{,}1 \cdot 10^5 \cdot 15^3 \cdot 395}{(1129)^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{395}{1129}\right)^2 + 1{,}70} \cdot 10^{-3} = 429{,}93\ kN$$

In doorsnede a werkt een afschuifkracht $H_{x,Ed}$, die volgt uit:

$$H_{x,Ed} = \frac{\frac{1}{2} \cdot V_{Ed} \cdot s}{\frac{1}{2} \cdot h^*} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot (V_{Ed1} + V_{Ed2}) \cdot s}{\frac{1}{2} \cdot h^*} = \frac{\frac{1}{4} \cdot (135{,}85 + 131{,}87) \cdot 1185}{\frac{1}{2} \cdot 1129} = 140{,}50\ kN$$

Waarin:
$R_c = q_{Ed} \cdot l/2 = 8{,}04 \cdot 35/2 = 140{,}7\ kN$
Ter plaatse van de eerste raat geldt $V_{Ed1} = R_c - 0{,}6 \cdot q_{Ed} = 140{,}7 - 0{,}6 \cdot 8{,}04 = 135{,}85\ kN$
Ter plaatse van de tweede raat geldt $V_{Ed2} = R_c - 1{,}095 \cdot q_{Ed} = 140{,}7 - 1{,}095 \cdot 8{,}04 = 131{,}87\ kN$

De oppervlakte in doorsnede a bedraagt $A_v = t_w \cdot s_{net} = 15 \cdot 395 = 5925\ mm^2$. De capaciteit van de afschuifkracht $H_{x,Rd}$ volgt uit:

$$H_{x,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3}} = \frac{5925 \cdot 355}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-3} = 1214{,}38\ kN$$

De eenheidscontrole volgt uit: $H_{x,Ed}/H_{x,Rd} = 140{,}50/1214{,}38 = 0{,}12 \leq 1{,}0$

$$\lambda_{lijf;rel} = \lambda_{plaat;rel} = \sqrt{\frac{H_{x,Rd}}{V_{k,E}}} = \sqrt{\frac{1214{,}38}{429{,}93}} = 1{,}68$$

Volgens NEN 6771, formule 13.7-2b, geldt $0{,}7 < \lambda_{plaat;rel} < 1{,}291$ zodat de relatieve plooispanning $\sigma_{plooi;rel} = 1{,}474 - 0{,}677 \cdot \lambda_{plaat;rel} = 1{,}474 - 0{,}677 \cdot 1{,}291 = 0{,}60$. De plooikracht van het lijf bedraagt: $H_{plooi} = \sigma_{plooi;rel} \cdot H_{x,Rd} = 0{,}60 \cdot 1214{,}38 = 728{,}63\ kN$. De correctiefactor om $H_{plooi;d}$ te krijgen hangt af van $\lambda_{plaat;rel}$ en ψ_x (art. 13.8.1.1). Voor ψ_x wordt gemakshalve 1,0 aangehouden:

$$C_{\sigma;x} = (0{,}1129 \cdot \psi_x + 0{,}1129) \cdot \lambda_{plaat;rel} - 0{,}0790 \cdot \psi_x + 0{,}9210$$
$$= (0{,}1129 \cdot 1{,}0 + 0{,}1129) \cdot 1{,}291 - 0{,}0790 \cdot 1{,}0 + 0{,}9210 = 1{,}13$$

De rekenwaarde van de plooikracht (art. 13.8.1, formule 13.8-3a) volgt uit:

$$H_{plooi;d} = H_{plooi}/C_{\sigma;x} = 728{,}63/1{,}13 = 642{,}81\ kN$$

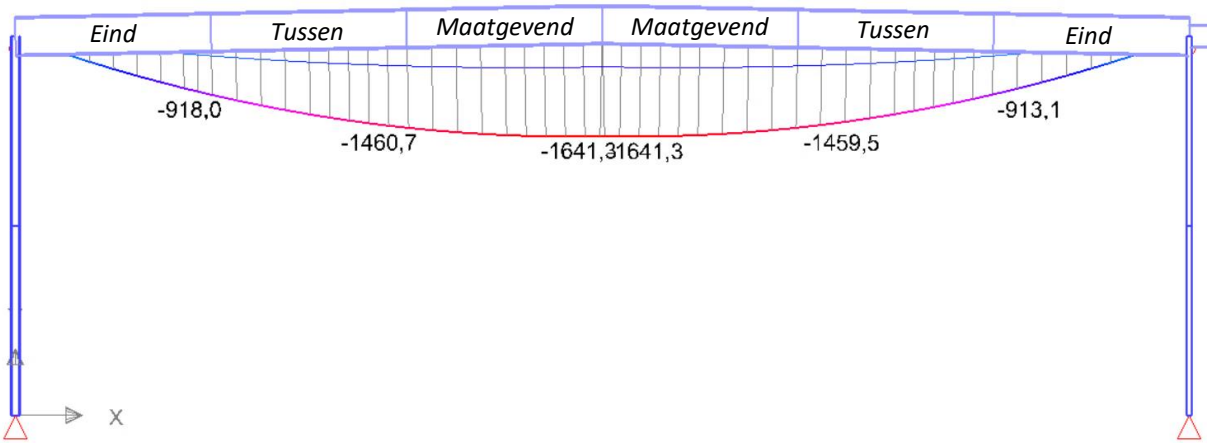
De eenheidscontrole volgt uit: $H_{x,Ed}/H_{plooi;d} = 140{,}50/642{,}81 = 0{,}22 \leq 1{,}0$

K.3.5 Plooien van de flenzen

Voor de staalsoort S355 wordt voldaan aan de maximale breedte-dikte verhouding, waardoor het plooien van de flenzen niet maatgevend is (zie bepaling doorsnedeklasse).

K.3.6 Toetsing kipstabiliteit

Voor de toetsing van de kipstabiliteit wordt een onderverdeling gemaakt tussen maatgevende velden, tussenvelden en eindvelden. Verder worden waarden gebruikt van diverse buigende momenten. In onderstaande figuur 53 zijn de benaming per liggerdeel terug te vinden met de bijbehorende buigende momenten.



Figuur 53: Benaming per veld en bijbehorende maatgevende buigende momenten bij sneeuwval. Deze gegevens worden gebruikt in de berekening van de kiptoetsing. Het schema komt uit Diamonds BuildSoft.

Bij een ligger met een type A of B kipsteunen aan beide uiteinden is L_{kip} gelijk aan L_{st}. De raatligger wordt gesteund met type A kipsteunen t.p.v. de verticale steunpunten en type C kipsteunen langs de overspanning. Er wordt aangenomen dat er zeven kipsteunen worden aangebracht. Dat betekent dat $L_{st} = 5833{,}33\ mm$ voor de maatgevende velden in het midden van de overspanning.

Voorwaarde:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{\beta;Rd}} \leq 1{,}0$$

Type C kipsteunen: $L_{kip} = (1{,}4 - 0{,}8 \cdot \beta) \cdot L_{st}$ onder de voorwaarde dat $1{,}0L_{st} \leq L_{kip} \leq 1{,}4L_{st}$.

$$\beta = \frac{M_{Ed1}}{M_{Ed2}} = \frac{1460{,}7}{1641{,}3} = 0{,}90$$

Dus:

$$L_{kip} = (1{,}4 - 0{,}8 \cdot 0{,}90) \cdot 5833{,}33 = 3985{,}35\ mm$$

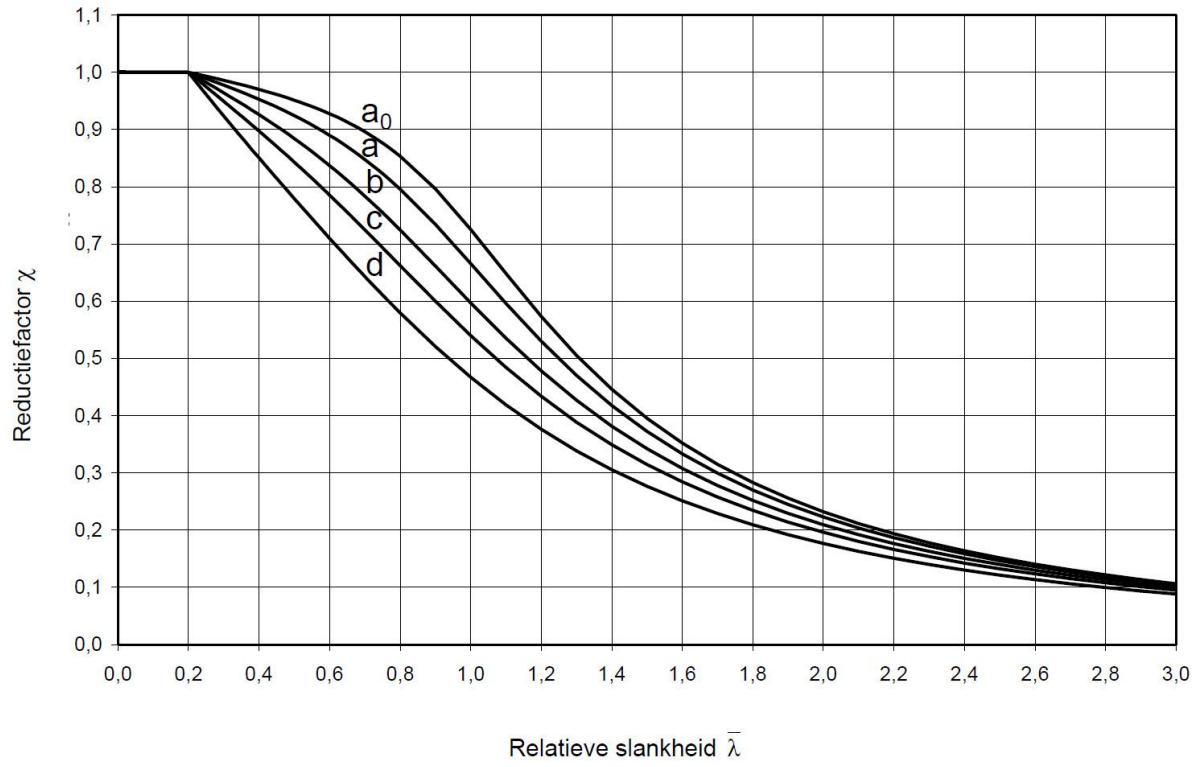
$1{,}0 \cdot 5833{,}33\ mm \leq L_{kip} \leq 1{,}4 \cdot 5833{,}33\ mm$, dus $L_{kip} = 5833{,}33\ mm$

$$\overline{\lambda_{LT}} = \lambda_{rel} = \xi \cdot \sqrt{\frac{l_{kip} \cdot h \cdot f_{yd}}{b \cdot t_f \cdot E}} = 1{,}32 \cdot \sqrt{\frac{5833{,}33 \cdot 1185 \cdot 355}{300 \cdot 28 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5}} = 1{,}56$$

Om te bepalen welke knikkromme moet worden gebruikt voor het bepalen van de kipstabiliteit wordt de ratio h/b bepaald. De ratio h/b van de HEA 800 raatligger is $1185/300 = 3{,}95$. Dit betekent volgens onderstaande tabel dat de χ_{LT} van een gelast profiel wordt bepaald aan de hand van curve d.

Sectie	Ratio h/b	Geldige kromme
Warmgewalst	h/b ≤ 2	Curve b
	h/b > 2	Curve c
Gelast	h/b ≤ 2	Curve c
	h/b > 2	Curve d

Door in onderstaande figuur 54 curve d af te lezen wordt $\chi_{LT} \cong 0{,}26$ gevonden.



Figuur 54: Knikkrommen (NEN-EN 1993-1-1+C2+A1:2016).

De rekenwaarde van de kipweerstand van een zijdelings ongesteunde ligger behoort als volgt te zijn bepaald:

$$M_{\beta;Rd} = \chi_{LT} \cdot \left(W_{el,y} \cdot \frac{f_{yd}}{\gamma_{M0}} \right) = 0{,}26 \cdot \left(11893 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1{,}0} \right) = 1097{,}72\ kNm$$

De toets is dan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{\beta;Rd}} = \frac{1641{,}3}{1097{,}72} = 1{,}50 > 1{,}0$$

Met deze configuratie voor de kipsteunen wordt niet voldaan aan de eis. Om toch de windverbanden te behouden is een grotere raatligger nodig, met een betere versteviging tegen uitknikken. Ter versterking van de onderflens kan daaronder een UNP-profiel worden aangebracht.

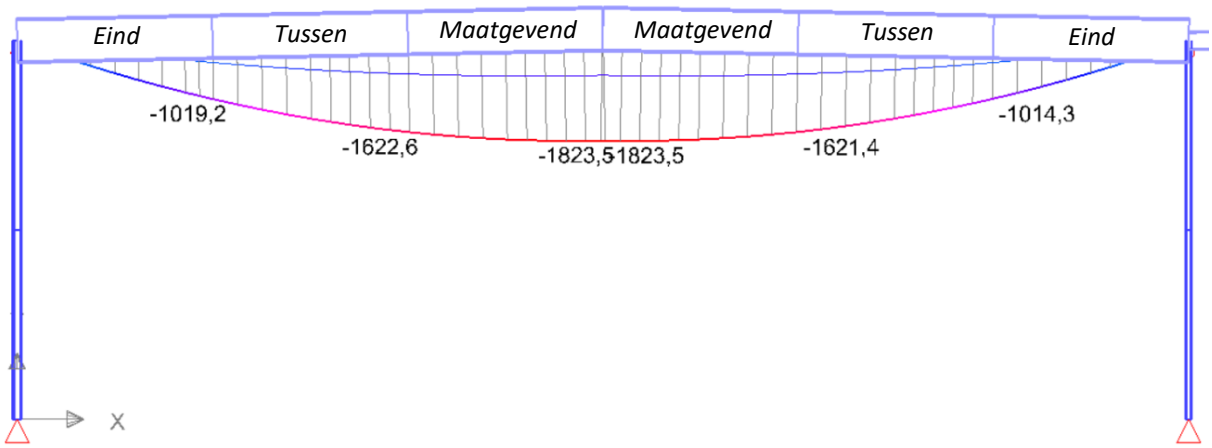
Het weerstandsmoment van de doorsnede neemt toe en de dikte van de onderflens wordt groter, terwijl de hoogte van het profiel gering toeneemt. Op deze manier kan met toevoeging van weinig extra kilo's staal veel extra stabiliteit worden verkregen tegen kippen. Er wordt gekozen voor een zwaarder basisprofiel: HEA 900. De onderflens is 300 mm breed en wordt verzwaard met een UNP 400 met een breedte van 400 mm. De extra breedte van het UNP-profiel maakt deze makkelijker om vast te lassen aan de HEA 900. De hele doorsnede is in staalsoort S355. De maatgevende resultaten voor dwarskracht, moment en normaalkracht worden ondergebracht in onderstaande tabel.

K.4 HEA 900 raatligger met UNP 400 (S355)

Raatliggers hebben de karaktereigenschap om bij een buigend moment te gaan kippen. De hoogte van het profiel zorgt ervoor dat het profiel een grotere overspanning kan maken, maar het er meer steunen nodig zijn. Om met een gelijk aantal kipsteunen als bij de vakwerkligger voldoende kipstabiliteit te behalen zal de onderflens worden verzwaarde met een UNP 400. Omdat is gebleken dat kipstabiliteit de grootste beperkende factor is, wordt eerst de kipstabiliteit berekend met de gegevens van het Diamonds BuildSoft rekenmodel.

K.4.1 Toetsing kipstabiliteit

Voor de toetsing van de kipstabiliteit wordt een onderverdeling gemaakt tussen maatgevende velden, tussenvelden en eindvelden. Verder worden waarden gebruikt van diverse buigende momenten. In onderstaande figuur 55 zijn de benaming per liggerdeel terug te vinden met de bijbehorende buigende momenten.



Figuur 55: Benaming per veld en bijbehorende maatgevende buigende momenten bij sneeuwval. Deze gegevens worden gebruikt in de berekening van de kiptoetsing. Het schema komt uit Diamonds BuildSoft.

Bij een ligger met een type A of B kipsteunen aan beide uiteinden is L_{kip} gelijk aan L_{st}. De raatligger wordt gesteund met type A kipsteunen t.p.v. de verticale steunpunten en type C kipsteunen langs de overspanning. Er wordt aangenomen dat er zeven kipsteunen worden aangebracht. Dat betekent dat $L_{st} = 5833{,}33\ mm$ voor de maatgevende liggerdelen in het midden van de overspanning.

Voorwaarde:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{\beta;Rd}} \leq 1{,}0$$

Type C kipsteunen: $L_{kip} = (1{,}4 - 0{,}8 \cdot \beta) \cdot L_{st}$ onder de voorwaarde dat $1{,}0L_{st} \leq L_{kip} \leq 1{,}4L_{st}$.

$$\beta = \frac{M_{Ed1}}{M_{Ed2}} = \frac{1622{,}6}{1823{,}5} = 0{,}89$$

Dus:

$$L_{kip} = (1{,}4 - 0{,}8 \cdot 0{,}89) \cdot 5833{,}33 = 4014{,}14\ mm$$

$1{,}0 \cdot 5833{,}33\ mm \leq L_{kip} \leq 1{,}4 \cdot 5833{,}33\ mm$, dus $L_{kip} = 5833{,}33\ mm$

$$\overline{\lambda_{LT}} = \lambda_{rel} = \xi \cdot \sqrt{\frac{l_{kip} \cdot h \cdot f_{yd}}{b \cdot t_f \cdot E}} = 1{,}32 \cdot \sqrt{\frac{5833{,}33 \cdot 1445 \cdot 355}{400 \cdot 44 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5}} = 1{,}19$$

Om te bepalen welke knikkromme moet worden gebruikt voor het bepalen van de kipstabiliteit wordt de ratio h/b bepaald. De ratio h/b van de HEA 900 raatligger met UNP 400 is $1445/400 = 3{,}61$. Dit betekent volgens onderstaande tabel dat de χ_{LT} van een gelast profiel wordt bepaald aan de hand van curve d.

Sectie	Ratio h/b	Geldige kromme
Warmgewalst	h/b ≤ 2	Curve b
	h/b > 2	Curve c
Gelast	h/b ≤ 2	Curve c
	h/b > 2	Curve d

Door in bovenstaande figuur 54 curve d af te lezen wordt $\chi_{LT} \cong 0{,}37$ gevonden.

De rekenwaarde van de kipweerstand van een zijdelings ongesteunde ligger behoort als volgt te zijn bepaald:

$$M_{\beta;Rd} = \chi_{LT} \cdot \left(W_{el,y} \cdot \frac{f_{yd}}{\gamma_{M0}} \right) = 0{,}37 \cdot \left(15281 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1{,}0} \right) = 2007{,}10\ kNm$$

De toets is dan:

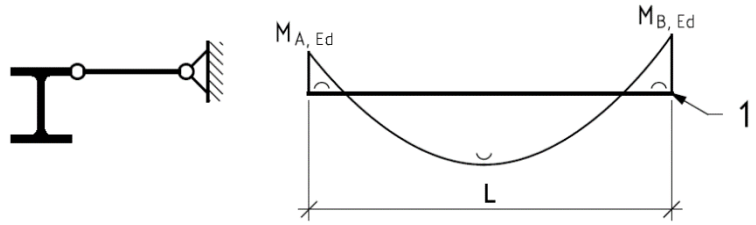
$$\frac{M_{Ed}}{M_{\beta;Rd}} = \frac{1823{,}5}{2007{,}10} = 0{,}91 \leq 1{,}0$$

Met deze configuratie voor de kipsteunen wordt wel voldaan aan de eis.

Bij plaatsing van een enkele kipsteun in het midden van de overspanning moet de kipsteun aan de bovenflens worden aangebracht, indien:

$$\left| M_{A,Ed} + M_{B,Ed} \right| = |1622{,}6 + 1823{,}5| = 3446{,}1 < 0{,}2 \cdot 9{,}03 \cdot 5{,}83^2 = 61{,}44$$

$$3446{,}1 < 61{,}44$$

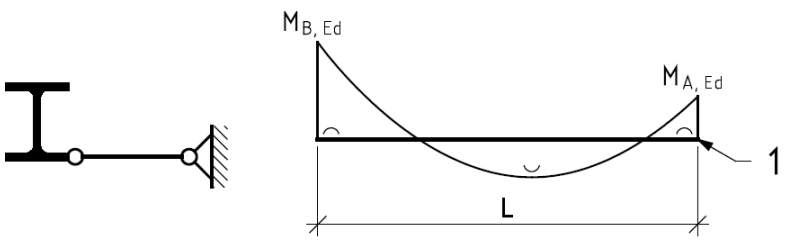


Figuur 56: Plaatsing kipsteun aan bovenflens (NEN-EN 1993-1-1+C2+A1 NB).

De kipsteun moet ter plaatse van de onderflens worden aangebracht, indien:

$$\left| M_{A,Ed} + M_{B,Ed} \right| = |1622{,}6 + 1823{,}5| = 3446{,}1 \geq 0{,}2 \cdot 9{,}03 \cdot 5{,}83^2 = 61{,}44$$

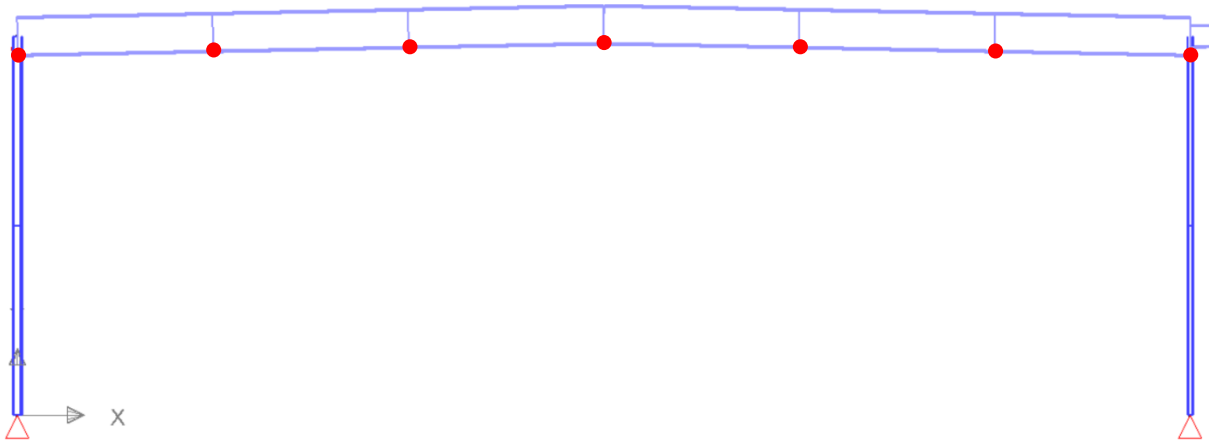
$$3446{,}1 \geq 61{,}44$$



Figuur 57: Plaatsing kipsteun aan onderflens (NEN-EN 1993-1-1+C2+A1 NB).

Dit komt omdat bij de kritieke (Euler)kipvorm de onderflens dan meer verplaatst dan de bovenflens. Dat betekent dat de kipsteunen ter plaatse van de onderflens moeten worden aangebracht.

In totaal zijn dus 7 kipsteunen nodig, waarvan 5 steunen in de onderflens van type C en 2 steunen in de onderflens van type A ter plaatse van de verbindingen met de kolommen, zoals te zien in onderstaande figuur 58.



Figuur 58: Resultaat van de kipberekeningen. De rode stippen geven de plaatsen aan waar kipsteunen worden aangebracht.

Aan kipstabiliteit is voldaan indien zijdelingse steunen (kipsteunen) zijn gedimensioneerd op de grootste van de volgende krachten:

$$N_{st,Ed} = 0{,}01 \cdot A_f \cdot \sigma_{f,Ed}$$

$$N_{st,Ed} = 0{,}005 \cdot A_f \cdot f_y$$

Waarin:

A_f is de oppervlakte van een flens; $[A_f = h_f \cdot b_f + A_{UNP\ 400} = 30 \cdot 300 + 9150 = 18150\ mm^2]$

$\sigma_{f,Ed}$ is de rekenwaarde van de spanning in de flens. $[1823{,}5 \cdot 10^6 / 15281 \cdot 10^3 = 119{,}3\ N/mm^2]$

Invullen geeft:

$$N_{st,Ed} = 0{,}01 \cdot 18150 \cdot 119{,}3 = 23157{,}44\ N \cong 23{,}16\ kN$$

$$N_{st,Ed} = 0{,}005 \cdot 18150 \cdot 355 = 32216{,}25\ N \cong 32{,}22\ kN$$

De grootste waarde voor $N_{st,Ed} = 32{,}2\ kN$, maar de kipsteunen maken een hoek van 45°. Hierdoor is de werkelijk optredende drukkracht in de kipsteun groter: $N_{st,Ed} = \sqrt{2} \cdot 32{,}22 = 45{,}56\ kN$. Met deze drukkracht wordt een stabiliteitsberekening gedaan voor het kipsteun staalprofiel. Er is gekozen voor een IPE 100 in staalsoort S235.

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk) kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ:

$$N_{b,y,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

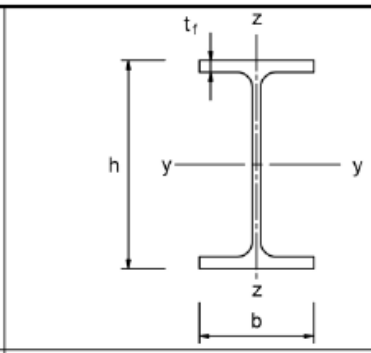
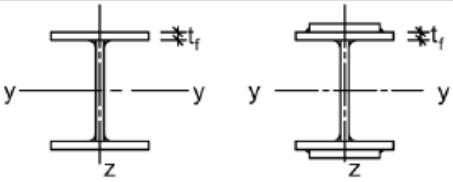
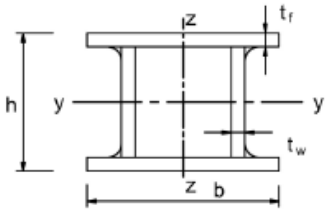
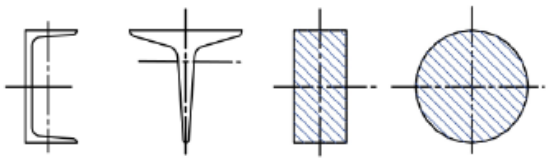
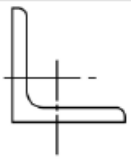
$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/235} = 93{,}91$

$$i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{15{,}9 \cdot 10^4}{1030}} = 12{,}42\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1688{,}22}{12{,}42} \cdot \frac{1}{93{,}91} = 1{,}45$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De IPE-profielen en van staalkwaliteit S235 met $h/b = 100/55 = 1{,}82 > 1{,}2$ en $t_f = 5{,}7 \leq 40$, dus bij knikken om de z'-as moet curve c worden gebruikt, zoals te zien in onderstaande figuur 59. De te hanteren waarde voor de imperfectiefactor α wordt bepaald met de daaropvolgende tabel.

Cross section		Limits		Buckling about axis	Buckling curve S 235 S 275 S 355 S 420	Buckling curve S 460
Rolled sections		h/b > 1,2	$t_f \leq 40$ mm	y – y z – z	a b	a_0 a_0
			40 mm < $t_f \leq 100$	y – y z – z	b c	a a
		h/b ≤ 1,2	$t_f \leq 100$ mm	y – y z – z	b c	a a
			$t_f > 100$ mm	y – y z – z	d d	c c
Welded I-sections			$t_f \leq 40$ mm	y – y z – z	b c	b c
			$t_f > 40$ mm	y – y z – z	c d	c d
Hollow sections			hot finished	any	a	a_0
			cold formed	any	c	c
Welded box sections			generally (except as below)	any	b	b
			thick welds: a > 0,5t_f b/t_f < 30 h/t_w <30	any	c	c
U-, T- and solid sections				any	c	c
L-sections				any	b	b

Figuur 59: Profielconfiguratie en keuze stabiliteitskromme volgens Eurocode 3.

Tabel 10: Imperfectiefactoren voor verschillende curves.

	a_0	a	b	c	d
α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Er geldt: α = 0,34.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}34(1{,}45 - 0{,}2) + 1{,}45^2] = 1{,}76$$

$$\chi = \frac{1}{1{,}76 + \sqrt{1{,}76^2 - 1{,}45^2}} = 0{,}36 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,y,Rd} = 0{,}36 \cdot \frac{1030 \cdot 235}{1{,}0} = 87{,}75\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{st,Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{45{,}56}{87{,}75} = 0{,}52 \leq 1{,}0$$

IPE 100 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit.

K.4.2 Doorsnedeclassificatie HEA 900 raatligger (h = 1335 mm) met UNP 400

Voor S355 bedraagt de factor ε:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0{,}81$$

Bij uniforme druk wordt de uitkragende flens op druk belast, zodat voor de grenswaarde van de doorsnedeklassen geldt: $9\varepsilon = 7{,}32$ voor klasse 1, $10\varepsilon = 8{,}14$ voor klasse 2 en $14\varepsilon = 11{,}39$ voor klasse 3. De breedte van de flens van een HEA 900 wordt gemeten vanaf de afrondingsstraal tot de flenstip: $c_f = 0{,}5(b - t_w - 2r) = 0{,}5(300 - 16 - 2 \cdot 30) = 134{,}5\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van de flens is dan: $c/t = c_f/t_f = 134{,}5/30 = 4{,}48 \leq 7{,}32$. De flens is dus van klasse 1.

Wanneer de doorsnede wordt belast op buiging om de sterke as worden de (bovenste) flenzen op druk en het lijf op buiging belast. Dat betekent dat in het lijf naast drukspanningen ook trekspanningen aanwezig zijn, zodat het lijf minder gevoelig is voor lokaal plooien. De op druk belaste flenzen vallen in doorsnedeklasse 1, zoals in de berekening hiervoor is te zien. Voor het op buiging belaste lijf geldt voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen: $72\varepsilon = 58{,}58$ voor klasse 1, $83\varepsilon = 67{,}53$ voor klasse 2 en $124\varepsilon = 100{,}89$ voor klasse 3. De hoogte van het lijf wordt gemeten tussen de afrondingsstalen: $c_w = h - 2t_f - 2r = 1335 - 2 \cdot 30 - 2 \cdot 30 = 1215\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van het lijf is dan: $c/t = c_w/t_w = 1215/16 = 75{,}94 \leq 100{,}89$. Het lijf is dus van klasse 3. Het profiel HEA 900 vermaakt tot een raatligger met een hoogte van 1335 mm in de staalsoort S355 belast op buiging om de sterke as is van klasse 3.

K.4.3 Controle weerstand/sterkte doorsnede

In een ligger op twee steunpunten treden de grootste spanningen op in het midden van de overspanning als gevolg van het buigend moment. In de ligger treden dwarskrachten, momenten en normaalkrachten op, waarbij de grootste dwarskrachten bij de opleggingen optreden en de grootste momenten in het midden van de overspanning. Er is dus geen combinatie van dwarskrachten met buigende momenten.

Toetsing buigend moment

De rekenwaarde van het buigend moment M_{Ed} voor deze ligger bedraagt 1823,5 kNm. Dit is het resultaat van de belastingen in de UGT. De rekenwaarde van het buigend moment in elke dwarsdoorsnede moet voldoen aan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin $M_{c,Rd}$ is bepaald rekening houdend met de gaten voor bevestigingsmiddelen.

Omdat de doorsnede van klasse 3 is, mag alleen de elastische momentweerstand worden gebruikt. De rekenweerstand voor buiging om een hoofdas van een dwarsdoorsnede is als volgt bepaald:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{el,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{15281 \cdot 10^3 \cdot 355}{1{,}0} = 5424{,}60\ kNm$$

De toets is dan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{1823{,}5}{5424{,}60} = 0{,}34 \leq 1{,}0$$

HEA 900 raatligger (h = 1335 mm) met UNP 400 voldoet aan de voorwaarde voor momentweerstand.

Toetsing dwarskracht (afschuiving)

Om de rekenwaarde van de elastische weerstand tegen dwarskracht $V_{c,Rd}$ te toetsen mag, voor een kritiek punt van de doorsnede, het volgende criterium zijn gebruikt tenzij het toetsen op plooien volgens hoofdstuk 5 van EN 1993-1-5 van toepassing is:

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\left(\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}\right)} \leq 1{,}0$$

Waarin τ_{Ed} als volgt mag zijn bepaald:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed} \cdot S}{I_y \cdot t_w}$$

Waarin:

V_{Ed} is de rekenwaarde van de dwarskracht; [214,9 kN = 214900 N]

S is het statisch moment in het beschouwde punt (exclusief UNP 400); [7783·10^3 mm^3]

I_y is het traagheidsmoment van de volledige doorsnede om de sterke as; [979600·10^4 mm^4]

t_w is de dikte in het beschouwde punt (het lijf); [16 mm]

Invullen geeft:

$$\tau_{Ed} = \frac{214800 \cdot 7783000}{9796000000 \cdot 16} = 10{,}67\ \ N/mm^2$$

De toets is dan:

$$\frac{10{,}67}{355/\left(\sqrt{3}\cdot 1{,}0\right)} = 0{,}05 \leq 1{,}0$$

HEA 900 raatligger (h = 1335 mm) met UNP 400 voldoet aan de voorwaarde voor dwarskracht. Indien de UNP 400 ook wordt meegerekend, zal de uitkomst nog gunstiger worden.

Bovendien behoort, voor lijven zonder dwarsverstijvers, de weerstand tegen plooien door afschuiving volgens hoofdstuk 5 van EN 1993-1-5 te zijn bepaald indien:

$$\frac{h_w}{t_w} = \frac{1215}{16} = 75{,}94 > 72 \cdot \frac{\varepsilon}{\eta} = 72 \cdot \frac{0{,}81}{1{,}0} = 58{,}58$$

Het is aan de veilige kant om η gelijk aan 1,0 te stellen. Omdat de weerstand tegen plooien wordt bepaald, mag voor I- of H-profielen de schuifspanning in het lijf ook als volgt zijn bepaald:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \text{ indien } A_f/A_w = 9000/5200 = 1{,}73 \geq 0{,}6$$

Waarin:

A_f is de oppervlakte van één flens; $[A_f = h_f \cdot b_f = 30 \cdot 300 = 9000\ mm^2]$

A_w is de oppervlakte van het lijf. $[A_w = h_w \cdot t_w = 279 \cdot 15 = 5200\ mm^2]$

Invullen geeft:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{214900}{5200} = 41{,}33\ N/mm^2$$

De toets is dan:

$$\frac{41{,}33}{355/\left(\sqrt{3}\cdot 1{,}0\right)} = 0{,}20 \leq 1{,}0$$

HEA 900 raatligger (h = 1335 mm) met UNP 400 voldoet vooralsnog aan de voorwaarde voor dwarskracht.

K.4.4 Controle doorbuiging

Doorbuiging zal invloed hebben op de waterafvoer van het dak. Om het water van het dak op de juiste manier af te voeren moet het afschot van het dak minimaal 1,6% (16 mm/m) zijn volgens Bouwbesluit 2012. Bij een overspanning van 35,00 m is daarom in het midden van de overspanning een hoogte van 280 mm vereist. Zoals bekend is in het ontwerp een afschot van 2,0% (20 mm/m) aangenomen, wat resulteert in een hoogte in het midden van de overspanning van 350 mm. Er is dus een marge van 70 mm (= 350 mm – 280 mm) die gebruikt mag worden voor de doorbuiging van de constructie om nog te voldoen aan de ondergrens van het dakafschot.

Voorwaarde:

$$u \leq u_{max}$$

Waarin:

u doorbuiging van de gekozen ligger;

u_{max} (ook wel u_{eind} genoemd) maximale toegestane doorbuiging van de ligger.

$$u_{max} \leq 0{,}004 \cdot l_{rep} \leq 0{,}004 \cdot 35000 \leq 140\ mm$$

De limiet voor de doorbuiging van de raatligger is echter 140 mm, dat is 70 mm meer dan de marge. Dat betekent dat er minimaal een extra hoogte van 70 mm moet worden aangebracht, wat kan in de vorm van een zeeg. De verschillende doorbuigingen zijn eerder te zien in figuur 52.

Uit het rekenmodel in Diamonds BuildSoft blijkt dat de omhullende doorbuiging van de raatligger wordt bepaald door combinatie BGT ZC 2, waarin de belastinggevallen voor het eigengewicht van de raatligger, de permanente belasting van de dakbedekking (bitumen, isolatie, dakplaat, etc.) en de sneeuwbelasting als veranderlijke belasting zijn verwerkt. Er is gaandeweg in de berekening een sterk vermoeden ontstaan dat de IPE 600 raatligger niet voldoet aan de maximale doorbuigingseis, dus is het raadzaam om eerst de maximale doorbuiging te berekenen. Op het moment dat de gekozen raatligger nog niet voldoet, zal een zwaarder profiel worden gekozen die minder zal doorbuigen, waardoor wellicht minder zeeghoogte nodig is.

Dakbedekking	0,36 kN/m · 6,25 m	2,24 kN/m
HEA 900 raatligger met UNP 400		3,23 kN/m +
Totaal		5,47 kN/m

Doorbuiging van de raatligger bij permanente belastingen:

$$u_1 = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

Waarin:

q_{Ed} gelijkmatig verdeelde belasting met inbegrip van de veiligheidsfactoren; [5,47 kN/m]

l lengte van de overspanning; [35,00 m]

E rekenwaarde van de elasticiteitsmodulus; [$2{,}1 \cdot 10^5$ N/mm^2]

I traagheidsmoment van de doorsnede; [$979600 \cdot 10^4$ mm^4]

Invullen geeft:

$$u_1 = \frac{5 \cdot 5{,}47 \cdot 35000^4}{384 \cdot 210000 \cdot 9796000000} = 52{,}00\ mm \leq 140\ mm$$

Primaire doorbuiging van de ligger ten gevolge van permanente en veranderlijke belastingen:

$$u_{tot} = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

Waarin:

q_{Ed} gelijkmatig verdeelde belasting met inbegrip van de veiligheidsfactoren; [9,03 kN/m *]

l lengte van de overspanning; [35,00 m]

E rekenwaarde van de elasticiteitsmodulus; [210000 N/mm^2]

I traagheidsmoment van de doorsnede; [979600·10^4 mm^4]

* Er wordt hier teruggerekend van het buigend moment in de BGT (1381,9 kNm) naar een q-last middels de formule van het buigend moment bij een ligger op twee steunpunten ($M = 1/8 \cdot q \cdot l^2$). De q-last komt hierdoor uit op 9,03 kN/m.

Invullen geeft:

$$u_1 = \frac{5 \cdot 9{,}03 \cdot 35000^4}{384 \cdot 210000 \cdot 9796000000} = 85{,}76\ mm \leq 140\ mm$$

HEA 900 raatligger (h = 1335 mm) met UNP 400 voldoet aan de maximale doorbuigingseis. De bijkomende doorbuiging is dus:

$$u_{bij} = u_{tot} - u_1 = 85{,}76 - 52{,}00 = 33{,}76\ mm.$$

De minimale benodigde zeeg om aan de eis voor de totale doorbuiging te voldoen is:

$$u_{ze} = u_{tot} - u_{bij} = 85{,}76 - 33{,}76 = 52{,}00\ mm$$

Wat hier nog niet is meegenomen is de doorbuiging van de dakplaat:

$$u_{max} \leq 0{,}004 \cdot l_{rep} \leq 0{,}004 \cdot 6250 \leq 25\ mm$$

In totaal moet de zeeg dus een hoogte hebben van $52 + 25 = 77\ mm$, maar voor de eenvoud en de veiligheid wordt gekozen voor een zeeghoogte van 80 mm.

K.4.5 Plooien van het lijf

Uit de staaltoets in het rekenmodel van Diamonds BuildSoft blijkt dat er kans bestaat op plooien. Het plooigevaar door afschuiving moet daarom geverifieerd worden. Voor nu deze plooitoets wordt de oude norm gebruikt, vanwege de eenvoud. Als mocht blijken dat er plooi door afschuiving optreedt, dan kan vooralsnog worden gekozen voor de toepassing van de nieuwe norm.

De platen tussen de raten worden getoetst op plooi door afschuiving. De raten worden geschematiseerd tot rechthoeken. De maatgevende lijfplaat ligt tussen de eerste en de tweede raat vanaf de oplegging.

De Eulerse plooibelasting en de daaruit volgende slankheid van het lijf volgt uit (NEN 6771, art. 12.1.6.4.2, formule 12.1-71):

$$V_{k;E} = \frac{9 \cdot K \cdot \pi^3}{8 \cdot h_o} \cdot \frac{b}{h_o} \cdot \sqrt{\frac{\pi^2}{48} \cdot \left(\frac{b}{h_o}\right)^2 + 0{,}5 \cdot (1 - v)}$$

Invullen van:
$K = E_d \cdot {t_w}^3/12(1 - v^2)$ met $v = 0{,}3$, $b = s_{net}$ en $h_o = h^*$ geeft na omwerken:

$$V_{k;E} = 1{,}45 \cdot \frac{E_d \cdot {t_w}^3 \cdot s_{net}}{(h^*)^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{s_{net}}{h^*}\right)^2 + 1{,}70}$$

$$= 1{,}45 \cdot \frac{2{,}1 \cdot 10^5 \cdot 16^3 \cdot 445}{(1275)^2} \cdot \sqrt{\left(\frac{445}{1275}\right)^2 + 1{,}70} \cdot 10^{-3} = 460{,}83\ kN$$

In doorsnede a werkt een afschuifkracht $H_{x,Ed}$, die volgt uit:

$$H_{x,Ed} = \frac{\frac{1}{2} \cdot V_{Ed} \cdot s}{\frac{1}{2} \cdot h^*} = \frac{\frac{1}{2} \cdot \frac{1}{2} \cdot (V_{Ed1} + V_{Ed2}) \cdot s}{\frac{1}{2} \cdot h^*} = \frac{\frac{1}{4} \cdot (152{,}52 + 148{,}05) \cdot 1335}{\frac{1}{2} \cdot 1275} = 157{,}36\ kN$$

Waarin:
$R_c = q_{Ed} \cdot l/2 = 9{,}03 \cdot 35/2 = 158{,}00\ kN$
Ter plaatse van de eerste raat geldt $V_{Ed1} = R_c - 0{,}6 \cdot q_{Ed} = 158{,}00 - 0{,}6 \cdot 9{,}03 = 152{,}58\ kN$
Ter plaatse van de tweede raat geldt $V_{Ed2} = R_c - 1{,}095 \cdot q_{Ed} = 158{,}00 - 1{,}095 \cdot 9{,}03 = 148{,}11\ kN$

De oppervlakte in doorsnede a bedraagt $A_v = t_w \cdot s_{net} = 16 \cdot 445 = 7120\ mm^2$. De capaciteit van de afschuifkracht $H_{x,Rd}$ volgt uit:

$$H_{x,Rd} = \frac{A_v \cdot f_y}{\sqrt{3}} = \frac{7120 \cdot 355}{\sqrt{3}} \cdot 10^{-3} = 1459{,}31\ kN$$

De eenheidscontrole volgt uit: $H_{x,Ed}/H_{x,Rd} = 158{,}00/1459{,}31 = 0{,}11 \leq 1{,}0$

$$\lambda_{lijf;rel} = \lambda_{plaat;rel} = \sqrt{\frac{H_{x,Rd}}{V_{k,E}}} = \sqrt{\frac{1459{,}31}{460{,}83}} = 1{,}78$$

Volgens NEN 6771, formule 13.7-2b, geldt $0{,}7 < \lambda_{plaat;rel} < 1{,}291$ zodat de relatieve plooispanning $\sigma_{plooi;rel} = 1{,}474 - 0{,}677 \cdot \lambda_{plaat;rel} = 1{,}474 - 0{,}677 \cdot 1{,}291 = 0{,}60$. De plooikracht van het lijf bedraagt: $H_{plooi} = \sigma_{plooi;rel} \cdot H_{x,Rd} = 0{,}60 \cdot 1459{,}31 = 875{,}59\ kN$. De correctiefactor om $H_{plooi;d}$ te krijgen hangt af van $\lambda_{plaat;rel}$ en ψ_x (art. 13.8.1.1). Voor ψ_x wordt gemakshalve 1,0 aangehouden:

$$C_{\sigma;x} = (0{,}1129 \cdot \psi_x + 0{,}1129) \cdot \lambda_{plaat;rel} - 0{,}0790 \cdot \psi_x + 0{,}9210$$
$$= (0{,}1129 \cdot 1{,}0 + 0{,}1129) \cdot 1{,}291 - 0{,}0790 \cdot 1{,}0 + 0{,}9210 = 1{,}13$$

De rekenwaarde van de plooikracht (art. 13.8.1, formule 13.8-3a) volgt uit:

$$H_{plooi;d} = H_{plooi}/C_{\sigma;x} = 875{,}59/1{,}13 = 772{,}46\ kN$$

De eenheidscontrole volgt uit: $H_{x,Ed}/H_{plooi;d} = 158{,}00/875{,}59 = 0{,}18 \leq 1{,}0$

K.4.6 Plooien van de flenzen

Voor de staalsoort S355 wordt voldaan aan de maximale breedte-dikte verhouding, waardoor het plooien van de flenzen niet maatgevend is (zie bepaling doorsnedeklasse).

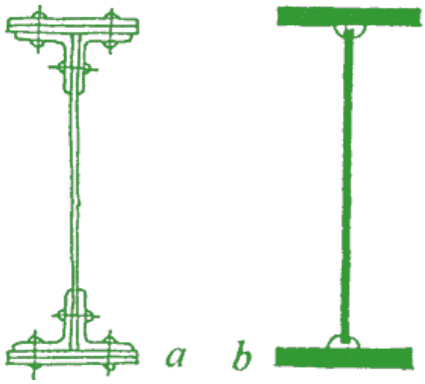
Bijlage L: Plaatligger

Deze bijlage staat volledig in het teken van plaatliggers. Van de plaatliggers worden rekenmodellen gemaakt in Diamonds BuildSoft, waarbij gevarieerd wordt met windbelasting, sneeuwbelasting en zonnepanelen. Aan de hand van de meest belastende situatie worden toetsingen verricht voor sterkte en stabiliteit. Als de plaatligger aan alle voorwaarden voldoet, zal deze worden meegenomen in de calculatie waarin de kosten voor materiaal, conservering, productie en transport worden meegenomen.

L.1 Basisprincipes van een plaatligger

Er bestaan twee soorten plaatliggers: stalen plaatliggers die worden toegepast als dragers van een dak en betonnen plaatliggers die als brugdek worden toegepast (Structural Guide, 2020). Voor dit eindwerk beperken wij ons alleen tot de stalen plaatliggers die als dakliggers kunnen worden toegepast.

Plaatliggers behoren tot de vollewandliggers en zijn profielen die zijn hoofdzakelijk samengesteld uit flens- en lijfplaatdelen die door middel van lassen aan elkaar worden verbonden. Op het moment dat de standaard gewalste I-profielen niet toereikend genoeg zijn voor een toepassingen met zware lasten of grote overspanning, dan is een plaatligger één van de mogelijke alternatieven (Anupoju, 2019). Een plaatligger wordt vooral toegepast in industriehallen en is daarmee een directe tegenhanger van de raatligger of honingraatligger. Naast industriehallen vinden de plaatliggers een brede toepassing bij bruggen. In onderstaande figuur 60 is een schets te zien van een plaatligger en een voorbeeld uit de praktijk (Structural Guide, 2020).





Figuur 60: Doorsneden van een plaatligger, waarbij a: genagelde plaatligger en b: gelaste plaatligger. In het plaatje rechts zijn plaatliggers toegepast in de spoorbrug over de Maas bij Maastricht. Deze plaatliggers hebben een opgebogen onderrand (Nederlandse Bruggenstichting, z.d.-a).

In bovenstaande figuur 60 zijn twee verschillende doorsneden van een plaatligger te zien. Voor 1950 werden plaatliggers gemaakt met hoekstalen die een verbinding vormden tussen de flenzen en het lijf. Door middel van een mechanische methode met klinknagels werden alle delen van de plaatligger met elkaar verbonden (Nederlandse Bruggenstichting, z.d.-a). In het algemeen wordt 90% van de afschuiving door het lijf gedragen. De hoekprofielen die de verbinding tussen het lijf en de flens maken, moesten voldoende weerstand bieden tegen horizontale afschuiving en, in combinatie met het lijf, voldoende weerstand leveren tegen verticale belastingen. Rond 1950 vond een omslag plaats naar gelaste

plaatliggers, waarbij de flenzen aan de lijfplaten worden gelast (Nederlandse Bruggenstichting, z.d.-a). Gelaste plaatliggers worden vandaag de dag het meest gebruikt, omdat ze gemakkelijk te produceren zijn en omdat het een veel efficiënter liggertype is (Structural Guide, 2020).

In hoofdzaak zijn er dus vijf componenten in een plaatligger (Structural Guide, 2020) (Anupoju, 2019):

- Lijfplaat. Het scheidt de twee flensplaten met een vereiste afstand. Het lijf is verantwoordelijk voor het weerstaan van afschuiving in de plaatligger, waarop de dikte van de lijfplaat wordt aangepast. De hoogte wordt dus bepaald door de belastingen, maar wordt ook bepaald door de omstandigheden op de bouwplaats. De knikgevoeligheid van de lijfplaat neemt toe bij een dunnere plaat of een toename van de belastingen;
- Flensplaat. Dit zijn horizontale elementen van een plaatligger die aan de boven- en onderkant zijn aangebracht en van elkaar gescheiden zijn door de lijfplaat. Het belangrijkste doel van flensplaten is weerstand te bieden aan het op de ligger inwerkende buigmoment, waarop de dikte van de flensplaat wordt aangepast. De bovenste flens weerstaat het buigmoment door druk te ontwikkelen en de onderste flens weerstaat de trekkracht. De flensplaten moeten de vereiste breedte en dikte hebben om een goede weerstand tegen het buigend moment te bieden;
- Verstijvers. “Wanneer de lijfplaten hoog zijn moeten deze worden verstijfd met verticale en horizontale verstijvingen. Indien deze verstijvingen niet aangebracht zouden worden, dan zou de ligger door plooien kunnen in storten” (Nederlandse Bruggenstichting, z.d.). Verstijvers zijn bedoeld om de draagkracht van de constructie te vergroten en te voorkomen dat de constructie plaatselijk bezwijkt. Bovendien worden ze gebruikt om de op de balk uitgeoefende belastingen te dragen tot de belastingen in de balk worden verdeeld. Er zijn verschillende typen verstijvers die kunnen worden aangebracht (Joostdevree.nl, z.d.-c):
- Horizontale verstijvers (langsliggende verstijvers). Horizontale verstijvers kunnen over het algemeen worden waargenomen in de meeste stalen balken die zware lasten dragen;
- Verticale verstijvers (tussenverstijvers). Verticale verstijvers vangen de belasting van de ligger op en brengen deze over tot het steunpunt. In een plaatligger wordt een deel van het eindgedeelte van het lijf onderworpen aan drukbelastingen. Als gevolg van deze belastingen kan het lijf van de sectie knikken. Hier spelen de verticale eindverstevigers een belangrijke rol door het lijf te vrijwaren van knikfouten;
- Deze verstijvers worden ook wel verticale of de dwarse verstijvers genoemd en kunnen eveneens worden waargenomen in de meeste stalen balken die zware lasten dragen. De tussenliggende verstijvingen zorgen ervoor dat de lijfplaat een grotere kniksterkte krijgt;
- Verbindingen voor flens en lijf. Dit is de lasverbinding tussen het lijf en de flens van de ligger. De lasverbinding is een moment- en afschuivingsoverbrenging;
- Eindverbinding. De eindverbinding is het moeilijkste deel van de structurele detaillering van een stalen ligger. In de meeste gevallen worden plaatliggers eenvoudig ondersteund aan de eindsteun. In dergelijke situaties dienen de verstijvers aan de eindverbinding te worden aangebracht.

Een plaatligger brengt de volgende voordelen met zich mee (Structural Guide, 2020) (Joostdevree.nl, z.d.-a):

› Efficiënt materiaal gebruik;
› Maximale lijfslankheid wat zorgt voor eenvoudige plaatsing;
› Vrije keuze aan specifieke maten die niet verkrijgbaar zijn als standaard profiel;
› Kunnen worden gebruikt om zware lasten te dragen;
› Snel constructieproces;
› Hoge weerstand tegen vermoeiingsscheuren;
› Gemakkelijk te fabriceren in vergelijking met vakwerkliggers;
› Gemakkelijk te onderhouden.

Een plaatligger brengt de volgende nadelen met zich mee (Structural Guide, 2020) (Joostdevree.nl, z.d.-a):

› Zijn niet geschikt voor het maken van grote overspanningen (het maximum ligt rond de 30 m);
› Minder architectonisch uiterlijk;
› Lastig te hanteren tijdens de plaatsing;
› Coating of omkasting met gipsplaten nodig om brandwerendheid te verbeteren;
› Productie geschiedt strikt volgens het ontwerp.

L.2 Plaatligger (300x30 mm flenzen en 1200x8 mm lijf) (S355)

Voor het lijf van de plaatligger worden staalplaten gebruikt en voor de flenzen worden strippen gebruikt. In het meest praktische geval wordt gekozen voor staalplaten en strippen die bij een groothandel zoals *Onlinestaal* voor de strippen en *Van Delft Staal* in Nieuwkuijk in het assortiment liggen. Alvorens de profielmetingen van de plaatligger zijn gekozen is al een grove berekening gemaakt. Dit gaf al een indicatie wat de waarden voor het traagheidsmoment en dus de profielafmetingen moesten worden. Deze eerste berekening is weggelaten.

In de publicatie *Gelaste plaatliggers* van ir. A. R. J. Timmermans uit 1974 wordt gebruik gemaakt van een diagram voor de bepaling van de profielafmetingen van de meest economische plaatligger. De doorbuiging zal in alle waarschijnlijkheid bepalend zijn en daarmee dus ook het traagheidsmoment ten aanzien van het weerstandsmoment. Aan de hand van het diagram (niet toegevoegd aan dit eindwerk wegens de slechte resolutie) kan worden bepaald dat de profielhoogte bij benadering 1350 mm moet zijn. In het boek *Tabellen voor bouw- en waterbouwkundige, Paragraaf 4.31 Schattingsregels overspanningsconstructie in staal* staat het volgende met betrekking tot de hoogte van een plaatligger: de plaatliggerhoogte van een dakconstructie is te benaderen met de formule $\frac{1}{20} - \frac{1}{30} l$, waarin l de overspanningslengte is in meters. Dus bij een overspanning van 35,00 m is een plaatliggerhoogte van minimaal $\frac{1}{30} \cdot 35{,}00 = 1{,}16\ m$ nodig met en maximumhoogte van $\frac{1}{20} \cdot 35{,}00 = 1{,}75\ m$. In die zin is dit een goed eerste uitgangspunt, dus om te beginnen wordt gekozen voor een staalplaat met een breedte van 1500 mm. *Van Delft Staal* heeft staalplaten met dergelijke breedtes in het assortiment.

De breedte van de platen is nooit exact gelijk aan 1500 mm, dus er wordt veelal een rand afgesneden van minimaal 50 mm om de hoogte van de plaatligger overal hetzelfde te maken (S. Sturm, persoonlijke communicatie, 2022). Hoe dikker de rand die wordt afgesneden, des te meer afvalmateriaal blijft erover, maar des te groter de waarschijnlijkheid dat het staal voor andere toepassingen kan worden gebruikt. Er wordt in eerste instantie gekozen voor een hoogte van 1200 mm, waardoor een rand wordt afgesneden van 300 mm die te gebruiken is voor bijvoorbeeld voetplaten. De lijfdikte van de raatligger is 16 mm, maar is te dik voor een plaatligger. Door het lijf slank te houden wordt het profiel lichter, dus er wordt gekozen voor een plaatdikte van 8 mm.

Een gelaste plaatligger staat bekend om de grote profielhoogte ten aanzien van gewalste profielen en raatliggers. De flenzen dragen daardoor voor een groot deel bij aan het traagheidsmoment van de doorsnede. Tevens is gebleken dat er forse flenzen nodig zijn om te voldoen aan kipstabiliteit bij de gekozen windverbanden. Er wordt gekozen voor een flens gemaakt uit een strip 300x30 mm. Deze strippen liggen in het assortiment van de groothandels, zoals *Maasstaal*, en kunnen na levering direct worden ingezet bij de fabricage van de plaatligger, zonder extra handelingen om de onderdelen op maat te maken.

L.2.1 Doorsnedeclassificatie plaatligger

Voor S355 bedraagt de factor ε:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0{,}81$$

Bij uniforme druk wordt de uitkragende flens op druk belast, zodat voor de grenswaarde van de doorsnedeklassen geldt: $9\varepsilon = 7{,}32$ voor klasse 1, $10\varepsilon = 8{,}14$ voor klasse 2 en $14\varepsilon = 11{,}39$ voor klasse 3. De breedte van de flens van de plaatligger wordt gemeten vanaf de hoeken: $c_f = 0{,}5(b - t_w) = 0{,}5(300 - 8) = 146\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van de flens is dan: $c/t = c_f/t_f = 146/30 = 4{,}87 \leq 7{,}32$. De flens is dus van klasse 1.

Wanneer de doorsnede wordt belast op buiging om de sterke as worden de (bovenste) flenzen op druk en het lijf op buiging belast. Dat betekent dat in het lijf naast drukspanningen ook trekspanningen aanwezig zijn, zodat het lijf minder gevoelig is voor lokaal plooien. De op druk belaste flenzen vallen in doorsnedeklasse 1, zoals in de berekening hiervoor is te zien. Voor het op buiging belaste lijf geldt voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen: $72\varepsilon = 58{,}58$ voor klasse 1, $83\varepsilon = 67{,}53$ voor klasse 2 en $124\varepsilon = 100{,}89$ voor klasse 3. De hoogte van het lijf wordt gemeten tussen de flenzen: $c_w = h - 2t_f = 1260 - 2 \cdot 30 = 1200\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van het lijf is dan: $c/t = c_w/t_w = 1200/8 = 150 > 100{,}89$. Er wordt niet voldaan aan de begrenzing van doorsnedeklasse 3 doordat het lijf op buiging wordt belast. Het lijf is dus van klasse 4. De plaatligger in de staalsoort S355 belast op buiging om de sterke as is van klasse 4.

L.2.2 Controle weerstand/sterkte doorsnede

In een ligger op twee steunpunten treden de grootste spanningen op in het midden van de overspanning als gevolg van het buigend moment. In de ligger treden dwarskrachten, momenten en normaalkrachten op, waarbij de grootste dwarskrachten bij de opleggingen optreden en de grootste momenten in het midden van de overspanning. Er is dus geen combinatie van dwarskrachten met buigende momenten.

Toetsing buigend moment

De rekenwaarde van het buigend moment voor deze ligger bedraagt 1627,1 kNm. Dit is het resultaat van de belastingen in de UGT.

Het is een samengestelde ligger, dus de eigenschappen moeten handmatig worden berekend:

$$G = A \cdot \rho_{staal} = 0{,}0276 \cdot 7850 = 216{,}66\ \frac{kg}{m} = 2{,}17\ \frac{kN}{m}$$

$$W_{el,y} = \frac{b \cdot h^3 - (b-l) \cdot (h-2f)^3}{6h} = \frac{300 \cdot 1260^3 - (300-8) \cdot (1260-2 \cdot 30)^3}{6 \cdot 1260}$$
$$= 12637 \cdot 10^3\ mm^3$$

Echter is de doorsnede van klasse 4, waardoor de effectieve waard voor het weerstandsmoment moet worden gebruikt, zo blijkt ook uit het boek *Tabellen voor bouw- en waterbouwkundigen*. Diamonds BuildSoft behaald automatisch de doorsnedeklasse van het profiel en bepaald zo of effectieve waarden gebruikt moeten worden, zoals de norm voorschrijft. Diamonds BuildSoft berekent automatisch het effectieve weerstandsmoment:

$$W_{eff,y} = 11972 \cdot 10^3\ mm^3$$

Het effectieve weerstandsmoment is gereduceerd ten aanzien van het elastische weerstandsmoment.

Het traagheidsmoment is een karakteristiek van de doorsnede:

$$I_y = \frac{b \cdot h^3 - (b-l) \cdot (h-2f)^3}{12} = \frac{300 \cdot 1260^3 - (300-8) \cdot (1260-2 \cdot 30)^3}{12}$$
$$= 7961 \cdot 10^6\ mm^4$$

Omdat de doorsnede van klasse 4 is, mag alleen de elastische effectieve momentweerstand worden gebruikt met plooicontrole. De rekenweerstand voor buiging om een hoofdas van een dwarsdoorsnede is als volgt bepaald:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{eff,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{11972 \cdot 10^3 \cdot 355}{1{,}0} = 4249{,}97\ kNm$$

De toets is dan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{1627{,}1}{4249{,}97} = 0{,}38 \leq 1{,}0$$

De gekozen plaatligger voldoet aan de voorwaarde voor momentweerstand. In Diamonds BuildSoft komt de eenheidscontrole eveneens uit op 38%.

Toetsing dwarskracht (afschuiving)
Het volgende criterium mag worden gebruikt:

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\left(\sqrt{3}\cdot\gamma_{M0}\right)} \leq 1{,}0$$

Om de rekenwaarde van de elastische weerstand tegen dwarskracht $V_{c,Rd}$ te toetsen mag, voor een kritiek punt van de doorsnede van I- of H-profielen de schuifspanning in het lijf ook als volgt zijn bepaald:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \text{ indien } A_f/A_w = 9000/9600 = 0{,}94 \geq 0{,}6$$

Waarin:

A_f is de oppervlakte van één flens; $[A_f = h_f \cdot b_f = 30 \cdot 300 = 9000\ mm^2]$

A_w is de oppervlakte van het lijf. $[A_w = h_w \cdot t_w = 1200 \cdot 8 = 9600\ mm^2]$

Invullen geeft:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{192400}{9600} = 20{,}04\ \ N/mm^2$$

De toets is dan:

$$\frac{20{,}04}{355/\left(\sqrt{3}\cdot 1{,}0\right)} = 0{,}10 \leq 1{,}0$$

De gekozen plaatligger voldoet aan de voorwaarde voor dwarskracht. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met A_{vz} (9840 mm^2) als werkzaam afschuifoppervlak en komt daarmee eveneens op een eenheidscontrole van 10%.

L.2.3 Controle doorbuiging

Doorbuiging zal invloed hebben op de waterafvoer van het dak. Om het water van het dak op de juiste manier af te voeren moet het afschot van het dak minimaal 1,6% (16 mm/m) zijn volgens Bouwbesluit 2012. Bij een overspanning van 35,00 m is daarom in het midden van de overspanning een hoogte van 280 mm vereist. Zoals bekend is in het ontwerp een afschot van 2,0% (20 mm/m) aangenomen, wat resulteert in een hoogte in het midden van de overspanning van 350 mm. Er is dus een marge van 70 mm (= 350 mm – 280 mm) die gebruikt mag worden voor de doorbuiging van de constructie om nog te voldoen aan de ondergrens van het dakafschot.

Voorwaarde:

$$u \leq u_{max}$$

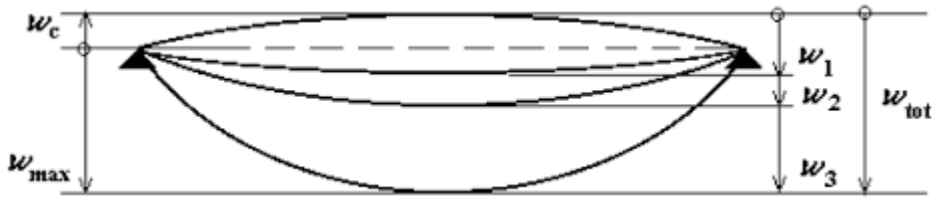
Waarin:

u doorbuiging van de gekozen ligger;

u_{max} (ook wel u_{eind} genoemd) maximale toegestane doorbuiging van de ligger.

$$u_{max} \leq 0{,}004 \cdot l_{rep} \leq 0{,}004 \cdot 35000 \leq 140\ mm$$

De limiet voor de doorbuiging van de plaatligger is echter 140 mm, dat is 70 mm meer dan de marge. Dat betekent dat er minimaal een extra hoogte van 70 mm moet worden aangebracht, wat kan in de vorm van een zeeg. De verschillende doorbuigingen zijn te zien in onderstaande figuur 61.



Figuur 61: Verklaring doorbuigingen volgens NEN-EN 1990:

w_c	*zeeg van onbelaste elementen;*
w_1	*aanvangsdeel van de doorbuiging onder de blijvende belastingen;*
w_2	*langetermijndeel van de doorbuigingen onder de blijvende belastingen;*
w_3	*bijkomende deel van de doorbuigingen voor de veranderlijke belastingen;*
w_{tot}	*totale doorbuiging ($w_{tot} = w_1 + w_2 + w_3$);*
w_{max}	*blijvende totale doorbuiging, rekening houdend met de zeeg.*

Uit het rekenmodel in Diamonds BuildSoft blijkt dat de omhullende doorbuiging van de plaatligger wordt bepaald door combinatie BGT ZC 2, waarin de belastinggevallen voor het eigengewicht van de plaatligger, de permanente belasting van de dakbedekking (bitumen, isolatie, dakplaat, etc.) en de sneeuwbelasting als veranderlijke belasting zijn verwerkt. Er is gaandeweg in de berekening een sterk vermoeden ontstaan dat de gekozen plaatligger niet voldoet aan de maximale doorbuigingseis, dus is het raadzaam om eerst de maximale doorbuiging te berekenen. Op het moment dat de gekozen plaatligger nog niet voldoet, zal een zwaarder profiel worden samengesteld die minder zal doorbuigen, waardoor wellicht minder zeeghoogte nodig is.

Dakbedekking	0,36 kN/m · 6,25 m	2,24 kN/m
Plaatligger		2,17 kN/m +
Totaal		4,41 kN/m

Doorbuiging van de plaatligger bij permanente belastingen:

$$u_1 = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

Waarin:

q_{Ed} gelijkmatig verdeelde belasting met inbegrip van de veiligheidsfactoren; [4,41 kN/m]

l lengte van de overspanning; [35,00 m]

E rekenwaarde van de elasticiteitsmodulus; [2,1·10^5 N/mm^2]

I traagheidsmoment van de doorsnede; [796140·10^4 mm^4]

Invullen geeft:

$$u_1 = \frac{5 \cdot 4{,}41 \cdot 35000^4}{384 \cdot 210000 \cdot 7961400000} = 51{,}51\ mm \leq 140\ mm$$

Primaire doorbuiging van de ligger ten gevolge van permanente en veranderlijke belastingen:

$$u_{tot} = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

Waarin:

q_{Ed} gelijkmatig verdeelde belasting met inbegrip van de veiligheidsfactoren; [7,96 kN/m *]

l lengte van de overspanning; [35,00 m]

E rekenwaarde van de elasticiteitsmodulus; [210000 N/mm^2]

I traagheidsmoment van de doorsnede; [796140·10^4 mm^4]

* Er wordt hier teruggerekend van het buigend moment in de BGT (1381,9 kNm) naar een q-last middels de formule van het buigend moment bij een ligger op twee steunpunten ($M = 1/8 \cdot q \cdot l^2$). De q-last komt hierdoor uit op 7,96 kN/m.

Invullen geeft:

$$u_1 = \frac{5 \cdot 7{,}96 \cdot 35000^4}{384 \cdot 210000 \cdot 7961400000} = 93{,}05\ mm \leq 140\ mm$$

De gekozen plaatligger voldoet aan de maximale doorbuigingseis. De bijkomende doorbuiging is dus:

$$u_{bij} = u_{tot} - u_1 = 93{,}05 - 51{,}51 = 41{,}54\ mm.$$

De minimale benodigde zeeg om aan de eis voor de totale doorbuiging te voldoen is:

$$u_{ze} = u_{tot} - u_{bij} = 93{,}05 - 41{,}54 = 51{,}51\ mm \cong 52\ mm$$

Wat hier nog niet is meegenomen is de doorbuiging van de dakplaat:

$$u_{max} \leq 0{,}004 \cdot l_{rep} \leq 0{,}004 \cdot 6250 \leq 25\ mm$$

In totaal moet de zeeg dus een hoogte hebben van $52 + 25 = 77\ mm$, maar voor de eenvoud en de veiligheid wordt gekozen voor een zeeghoogte van 80 mm.

L.2.4 Plooien van het lijf

Voor de toetsing van de plooistabiliteit moet de geometrie van het plaatveld en/of plaatvelden bekend zijn. In verband hiermee moet worden nagegaan of de krachtsinleiding ter plaatse van de opleggingen

van gewalste I-liggers of gelaste plaatliggers zonder dwarsverstijvingen voldoet aan de voorwaarden volgens NEN 1993-1-1:2016, art 6.3.1.1:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{F_{Ed}}{1{,}5 \cdot F_{2,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{1{,}5 \cdot M_{y,Rd}} \leq 1{,}0$$

In de laatste formule wordt de interactie tussen lokaal plooien en buiging getoetst. Aan de opleggingen is de dwarskracht het grootste, dus is de kans op plooien hier het grootste. Hier treedt echter geen buiging op.

Waarin:

F_{Ed} is de rekenwaarde van de kracht door de belasting;

F_{Rd} is de rekenwaarde van de weerstand bij krachtsinleiding en is de kleinste waarde van $F_{1,Rd}$, $F_{2,Rd}$ en $F_{3,Rd}$;

$M_{y,Ed}$ is de rekenwaarde van het buigend moment om de y-as door de belasting; [1627,1 kNm]

$M_{y,Rd}$ is de rekenwaarde van de weerstand tegen het buigend moment om de y-as; [4249,97 kNm]

$F_{1,Rd}$ is de rekenwaarde van de weerstand van het lijf ten aanzien van vloeien volgens 6.5.3.2;

$F_{2,Rd}$ is de rekenwaarde van de weerstand van het lijf ten aanzien van lokaal plooien volgens 6.5.3.3;

$F_{3,Rd}$ is de rekenwaarde van de weerstand van het lijf ten aanzien van globaal plooien volgens 6.5.3.4.

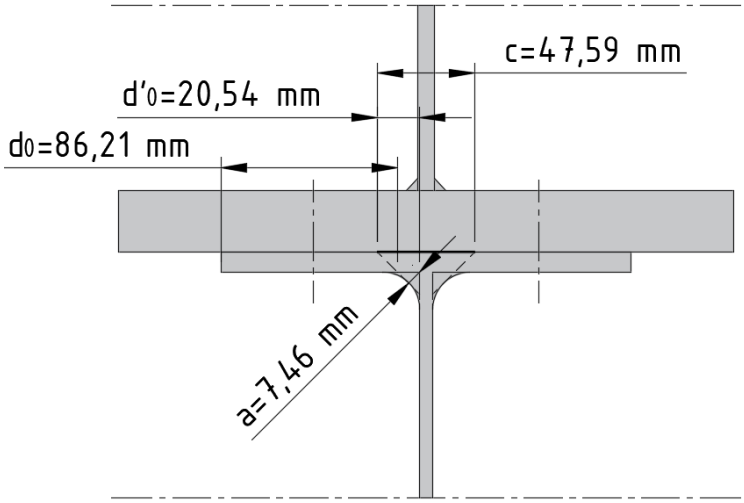
De lengte waarover de krachtsinleiding bij een oplegging of door een puntlast wordt uitgeoefend, is bepaald door een spreiding van de kracht onder een hoek van 45° door stijve gedeelten van de profielen. Bij het bepalen van de opleglengte c mogen, voor de spreiding van de kracht onder 45°, losliggende vulplaten niet zijn meegerekend. Indien de kracht wordt uitgeoefend door een onverstijfd I-profiel, dan mag voor c geen grotere waarde zijn aangehouden dan:

$$c = 2d_0 + t_w$$

Waarin:

d_0 is de afstand van de buitenzijde van de flens tot het begin van de afrondingsstraal.

De oplegreactie $F_{Ed} = 192{,}4\ kN$ wordt van de steun op de plaatligger overgebracht. De plaatligger steunt af op een bank van een HEA 200 die wordt vastgelast aan de midden kolom en heeft een flensdikte van $t = 10\ mm$. Verder heeft een HEA 200 in de hoeken een afrondingsstraal van 18 mm.



Figuur 62: Krachtsinleiding van de bank (HEA 200) op de plaatligger. Tekening gemaakt met AutoCAD 2022.

$$d_0 = \frac{b - t_w - 2 \cdot a \cdot \sqrt{2}}{2} = \frac{200 - 6{,}5 - 2 \cdot 7{,}46 \cdot \sqrt{2}}{2} = 86{,}21\ mm$$

$$c = 2 \cdot d'_0 + t_w = 2 \cdot 20{,}54 + 6{,}5 = 47{,}59\ mm$$

$$c = 47{,}59\ mm \leq 2 \cdot d_0 + t_w = 2 \cdot 86{,}21 + 6{,}5 = 178{,}92\ mm$$

De krachtsinleiding betreft als uitgangspunt een eindoplegging, waardoor de lengte d_1 van de plaatligger volgt uit:

$$d_1 = t_f \cdot \sqrt{\frac{b_f}{t_w}} \cdot \sqrt{\frac{f_{yf}}{f_{yw}}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_f}{f_{yf}}\right)^2} = 30 \cdot \sqrt{\frac{300}{8}} \cdot \sqrt{\frac{355}{355}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{0}{355}\right)^2} = 183{,}71\ mm$$

De waarde b_f mag niet groter zijn aangehouden dan $25 \cdot t_f$. Er geldt:

$$b_f = 300\ mm \leq 25 \cdot t_f = 25 \cdot 30 = 750\ mm$$

Waarin:

t_f is de dikte van de flens; [30 mm]

t_w is de dikte van het lijf; [6,5 mm]

c is de lengte waarover de kracht wordt uitgeoefend; [47,59 mm]

b_f is de breedte van de flens; [300 mm]

$\sigma_{f,Ed}$ is de rekenwaarde voor de (langs)spanning in de flens ten gevolge van de belasting;

$f_{y,f}$ is de rekenwaarde voor de vloeigrens van de liggerflens;

$f_{y,w}$ is de rekenwaarde voor de vloeigrens van het liggerlijf.

Voor de capaciteit F_{Ed} ten aanzien van vloeien van het lijf geldt:

$$F_{1,Rd} = (c + d_1) \cdot t_w \cdot f_y = (47{,}59 + 183{,}71) \cdot 8 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 656{,}90\ kN$$

Lokaal plooien van het lijf

Voor de capaciteit $F_{2,Rd}$ ten aanzien van lokaal plooien van het lijf geldt voor eindopleggingen:

$$F_{2,Rd} = 0{,}125 \cdot {t_w}^2 \cdot \sqrt{E_d \cdot f_y} \cdot \left[\sqrt{\frac{t_f}{t_w}} + 3 \cdot \frac{t_w}{t_f} \cdot \frac{c}{h - 2 \cdot t_f}\right]$$

Waarin:

h is de hoogte van de ligger; [1260 mm]

Invullen geeft:

$$F_{2,Rd} = 0{,}125 \cdot 8^2 \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5 \cdot 355} \cdot \left[\sqrt{\frac{30}{8}} + 3 \cdot \frac{8}{30} \cdot \frac{47{,}59}{1260 - 2 \cdot 30}\right] \cdot 10^{-3} = 135{,}95 \text{ kN}$$

De waarde voor $c/(h - 2 \cdot t_f)$ mag niet groter zijn genomen dan 0,2. Dit ingevuld levert:

$$47{,}59/(1260 - 2 \cdot 30) = 0{,}04 \leq 0{,}2$$

Globaal plooien van het lijf

De capaciteit $V_{3,Rd}$ ten aanzien van globaal plooien van het lijf moet zijn bepaald door het lijf te beschouwen als een gedrukte staaf met een effectieve breedte b_{eff} en een kniklengte l_{cr}. Voor de toetsing op knikstabiliteit geldt 6.3.1 uitgaande van knikcurve c. De effectieve breedte b_{eff} volgt uit NEN 6770, figuur 73, overeenkomstig met NEN 1993-1-1+C2+A1:2016, figuur *NB.10 — Effectieve breedte van het liggerlijf bij globaal plooien* in de norm.

$$b_{eff} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{h^2 + c^2} + x + \frac{c}{2} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1260^2 + 47{,}59^2} + 126{,}21 + \frac{47{,}59}{2} = 780{,}45\ mm$$

$$b_{eff} = 780{,}45 \leq \sqrt{h^2 + c^2} = \sqrt{1260^2 + 47{,}59^2} = 1260{,}90\ mm$$

De kniklengte $l_{cr} = h = 1260\ mm$.

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/355} = 76{,}41$

$$i_z = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot {t_w}^2} = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot 8^2} = 2{,}31\ mm$$

Dus:

$$\lambda_{rel} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1260}{2{,}31} \cdot \frac{1}{76{,}41} = 7{,}14$$

De waarde voor ω_{buc} wordt bepaald met de volgende formule, omdat $\lambda_{rel} > 3{,}0$:

$$\omega_{buc} = \frac{1 + \alpha_k \cdot (\lambda_{rel} - \lambda_0) + {\lambda_{rel}}^2}{2 \cdot {\lambda_{rel}}^2} - \frac{1}{2 \cdot {\lambda_{rel}}^2} \cdot \sqrt{\left(1 + \alpha_k \cdot (\lambda_{rel} - \lambda_0) + {\lambda_{rel}}^2\right)^2 - 4 \cdot {\lambda_{rel}}^2}$$

$$= \frac{1 + 0{,}49 \cdot (7{,}14 - 0{,}2) + 7{,}14^2}{2 \cdot 7{,}14^2} - \frac{1}{2 \cdot 7{,}14^2} \cdot \sqrt{(1 + 0{,}49 \cdot (7{,}14 - 0{,}2) + 7{,}14^2)^2 - 4 \cdot 7{,}14^2}$$

$$= 0{,}018$$

Voor de capaciteit $F_{3,Rd}$ ten aanzien van globaal plooien van het lijf geldt:

$$F_{3,Rd} = \omega_{buc} \cdot b_{eff} \cdot t_w \cdot f_y = 0{,}018 \cdot 1260{,}90 \cdot 8 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 65{,}77\ kN$$

De toets is dan:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{192{,}4}{65{,}77} = 2{,}93 > 1{,}0$$

$$\frac{F_{Ed}}{1{,}5 \cdot F_{2,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{1{,}5 \cdot M_{y,Rd}} = \frac{192{,}4}{1{,}5 \cdot 135{,}95} + \frac{0}{1{,}5 \cdot\ 4249{,}97} = 0{,}94 < 1{,}0$$

Ter plaatse van de oplegging voldoet het lijf zonder verstijvingen niet aan de gestelde eisen. Het aanbrengen van een dwarsverstijving is noodzakelijk.

Ter voorkoming van excentriciteit wordt aan beide zijden van het lijf een verstijving aangebracht. Er wordt gekozen voor strippen met een breedte-dikteverhouding $b_s/t_s \leq 10 \cdot \alpha_y = 1$, waardoor de verstijvingen behoren tot doorsnedeklasse 1 (NEN 6770, tabel 8). Voor de bepaling van de afmeting wordt de oplegreactie R_{sd} gelijkgesteld aan de capaciteit van de totale verstijving $N_{c,Rd} = 2 \cdot b_s \cdot t_s \cdot f_y = 2 \cdot 10 \cdot (t_s)^2 \cdot f_y$.

De dikte t_s volgt uit:

$$t_s = \sqrt{\frac{R_{sd}}{2 \cdot 10 \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{192{,}4 \cdot 10^3}{2 \cdot 10 \cdot 355}} = 5\ mm$$

Met $t_s = 5\ mm$ volgt de breedte van de verstijving uit $b_s = 10 \cdot t_s = 10 \cdot 5 = 50\ mm$. Er wordt echter al een kopplaat aangebracht met een dikte van 15 mm om een verbinding te vormen met de kolom. Hierdoor is de berekende dwarsverstijver bij de opleggingen niet meer nodig.

Het is tevens goed om ook te bepalen of er dwarsverstijvers nodig zijn in het midden van de overspanning. Het moment ter plaatse van de doorsnede is $M_{Ed} = 1627{,}1\ kNm$. Hierin is de momentcapaciteit $M_{c,Rd} = W_{eff,y} \cdot f_y = 11972 \cdot 10^3 \cdot 355 = 4249{,}97\ kNm$.

Invullen van de formules 14.2-2 uit NEN 6770 geeft:

$$\frac{0}{1{,}5 \cdot 65{,}77} + \frac{1627{,}1}{1{,}5 \cdot 4249{,}97} = 0{,}26 \leq 1{,}0$$

Ter plaatse van het grootste moment voldoet het lijf zonder verstijvingen aan de gestelde eisen. Het aanbrengen van dwarsverstijving is niet noodzakelijk.

L.2.5 Lassen

De maximale dwarskracht ter plaatse van de opleggingen is $V_{Ed} = 192{,}4\ kN$. De langsschuifkracht (L) en de capaciteit van de las ($f_{w,Rd}$) volgen uit:

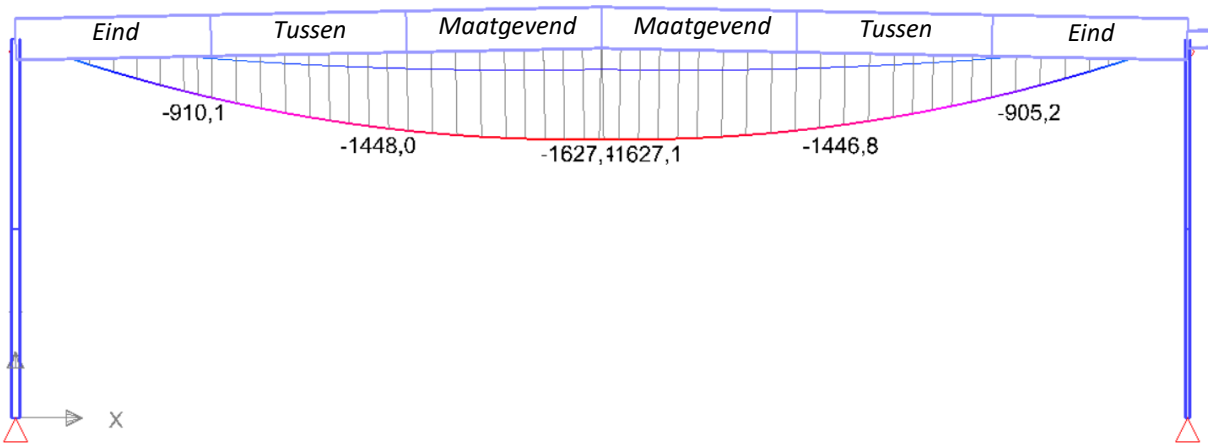
$$L = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y} = \frac{V_{Ed} \cdot b_f \cdot t_f \cdot \frac{1}{2} \cdot (h_w + t_w)}{I_y} = \frac{192{,}4 \cdot 300 \cdot 30 \cdot \frac{1}{2} \cdot (1260 + 8)}{79614 \cdot 10^4} = 1{,}38\ kN$$

$$f_{w,Rd} = 0{,}46 \cdot \frac{f_y}{\beta} = 0{,}46 \cdot \frac{355}{0{,}8} = 204{,}13\ \ N/mm^2$$

De benodigde lasdikte volgt uit: $a = L/(2 \cdot f_{w,Rd}) = 1{,}38 \cdot 10^3/(2 \cdot 204{,}13) = 3{,}38\ mm$. Om praktische redenen wordt een lasdikte van 4 mm aangehouden.

L.2.6 Toetsing kipstabiliteit

Voor de toetsing van de kipstabiliteit wordt een onderverdeling gemaakt tussen maatgevende velden, tussenvelden en randvelden. Verder worden waarden gebruikt van diverse buigende momenten. In onderstaande figuur 63 zijn de benaming per liggerdeel terug te vinden met de bijbehorende buigende momenten.



Figuur 63: Benaming per veld en bijbehorende maatgevende buigende momenten bij sneeuwval. Deze gegevens worden gebruikt in de berekening van de kiptoetsing. Het schema komt uit Diamonds BuildSoft.

Maatgevende velden

Bij een ligger met een type A of B kipsteunen aan beide uiteinden is L_{kip} gelijk aan L_{st}. De plaatligger wordt gesteund met type A kipsteunen t.p.v. de verticale steunpunten en type C kipsteunen langs de overspanning. Er wordt aangenomen dat er zeven kipsteunen worden aangebracht. Dat betekent dat $L_{st} = 5833{,}33\ mm$ voor de maatgevende velden in het midden van de overspanning.

Voorwaarde:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{\beta;Rd}} \leq 1{,}0$$

Type C kipsteunen: $L_{kip} = (1{,}4 - 0{,}8 \cdot \beta) \cdot L_{st}$ onder de voorwaarde dat $1{,}0L_{st} \leq L_{kip} \leq 1{,}4L_{st}$.

$$\beta = \frac{M_{Ed1}}{M_{Ed2}} = \frac{1448{,}0}{1627{,}1} = 0{,}89$$

Dus:

$$L_{kip} = (1{,}4 - 0{,}8 \cdot 0{,}89) \cdot 5833{,}33 = 4013{,}67\ mm$$

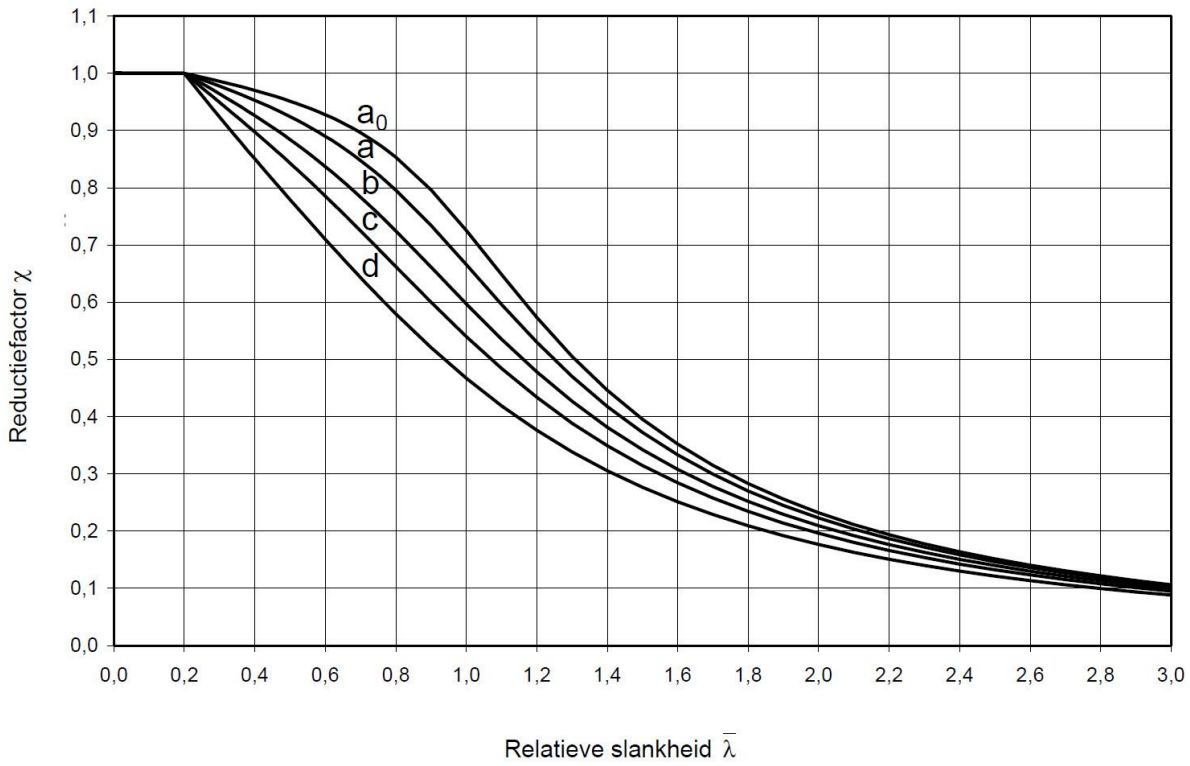
$1{,}0 \cdot 5833{,}33\ mm \leq L_{kip} \leq 1{,}4 \cdot 5833{,}33\ mm$, dus $L_{kip} = 5833{,}33\ mm$

$$\overline{\lambda_{LT}} = \lambda_{rel} = \xi \cdot \sqrt{\frac{l_{kip} \cdot h \cdot f_{yd}}{b \cdot t_f \cdot E}} = 1{,}32 \cdot \sqrt{\frac{5833{,}33 \cdot 1260 \cdot 355}{300 \cdot 30 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5}} = 1{,}55$$

Om te bepalen welke knikkromme moet worden gebruikt voor het bepalen van de kipstabiliteit wordt de ratio h/b bepaald. De ratio h/b van de plaatligger is $1260/300 = 4{,}20$. Dit betekent volgens onderstaande tabel dat de χ_{LT} van een gelast profiel wordt bepaald aan de hand van curve d.

Sectie	**Ratio h/b**	**Geldige kromme**
Warmgewalst	h/b ≤ 2	Curve b
	h/b > 2	Curve c
Gelast	h/b ≤ 2	Curve c
	h/b > 2	Curve d

Door in onderstaande figuur 64 curve d af te lezen wordt $\chi_{LT} \cong 0{,}26$ gevonden.



Figuur 64: Knikkrommen (NEN-EN 1993-1-1+C2+A1:2016).

De rekenwaarde van de kipweerstand van een zijdelings ongesteunde ligger behoort als volgt te zijn bepaald:

$$M_{\beta;Rd} = \chi_{LT} \cdot \left(W_{eff,y} \cdot \frac{f_{yd}}{\gamma_{M0}} \right) = 0{,}26 \cdot \left(11972 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1{,}0} \right) = 1104{,}99\ kNm$$

De toets is dan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{\beta;Rd}} = \frac{1627{,}1}{1104{,}99} = 1{,}47 > 1{,}0$$

Met deze configuratie voor de kipsteunen wordt niet voldaan aan de eis.

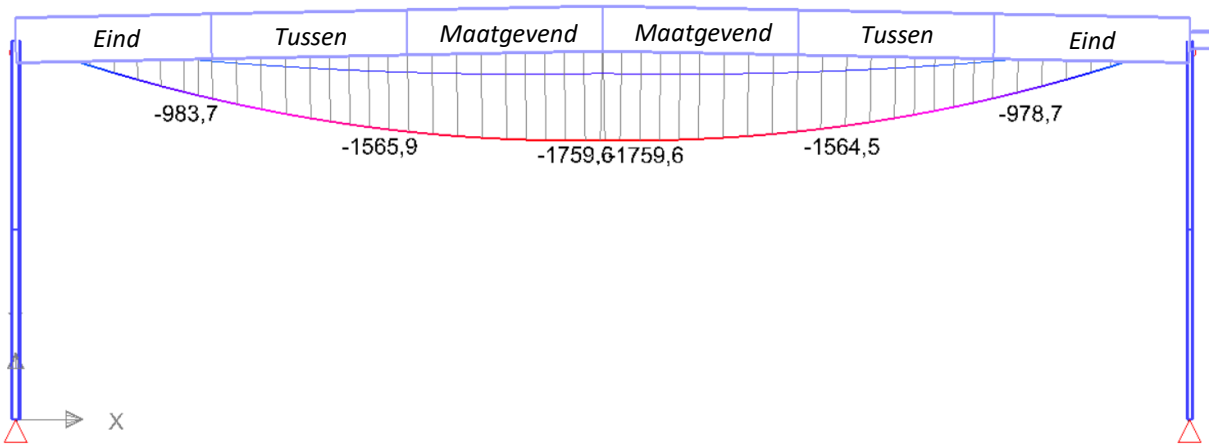
Met deze configuratie voor de kipsteunen wordt niet voldaan aan de eis. Om toch de windverbanden te behouden is een grotere plaatligger nodig, met een betere versteviging tegen uitknikken. Ter versterking van de onderflens kan daaronder een UNP-profiel worden aangebracht. Het weerstandsmoment van de doorsnede neemt toe en de dikte van de onderflens wordt groter, terwijl de hoogte van het profiel gering toeneemt. Op deze manier kan met toevoeging van weinig extra kilo's staal veel extra stabiliteit worden verkregen tegen kippen. De hele doorsnede is in staalsoort S355. De maatgevende resultaten voor dwarskracht, moment en normaalkracht worden ondergebracht in onderstaande tabel.

L.3 Plaatligger (300x30 mm flenzen en 1200x8 mm lijf) met UNP 400 (S355)

Omdat is gebleken dat kipstabiliteit de grootste beperkende factor is, wordt eerst de kipstabiliteit berekend met de gegevens van het Diamonds BuildSoft rekenmodel.

L.3.1 Toetsing kipstabiliteit

Voor de toetsing van de kipstabiliteit wordt een onderverdeling gemaakt tussen maatgevende velden, tussenvelden en eindvelden. Verder worden waarden gebruikt van diverse buigende momenten. In onderstaande figuur 65 zijn de benaming per liggerdeel terug te vinden met de bijbehorende buigende momenten.



Figuur 65: Benaming per liggerdeel en bijbehorende maatgevende buigende momenten bij sneeuwval. Deze gegevens worden gebruikt in de berekening van de kiptoetsing. Het schema komt uit Diamonds BuildSoft.

Bij een ligger met een type A of B kipsteunen aan beide uiteinden is L_{kip} gelijk aan L_{st}. De plaatligger wordt gesteund met type A kipsteunen t.p.v. de verticale steunpunten en type C kipsteunen langs de overspanning. Er wordt aangenomen dat er zeven kipsteunen worden aangebracht. Dat betekent dat $L_{st} = 5833{,}33\ mm$ voor de maatgevende velden in het midden van de overspanning.

Voorwaarde:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{\beta;Rd}} \leq 1{,}0$$

Type C kipsteunen: $L_{kip} = (1{,}4 - 0{,}8 \cdot \beta) \cdot L_{st}$ onder de voorwaarde dat $1{,}0L_{st} \leq L_{kip} \leq 1{,}4L_{st}$.

$$\beta = \frac{M_{Ed1}}{M_{Ed2}} = \frac{1565{,}9}{1759{,}6} = 0{,}89$$

Dus:

$$L_{kip} = (1{,}4 - 0{,}8 \cdot 0{,}89) \cdot 5833{,}33 = 4013{,}72\ mm$$

$$1{,}0 \cdot 5833{,}33\ mm \leq L_{kip} \leq 1{,}4 \cdot 5833{,}33\ mm, \text{ dus } L_{kip} = 5833{,}33\ mm$$

$$\overline{\lambda_{LT}} = \lambda_{rel} = \xi \cdot \sqrt{\frac{l_{kip} \cdot h \cdot f_{yd}}{b \cdot t_f \cdot E}} = 1{,}32 \cdot \sqrt{\frac{5833{,}33 \cdot 1260 \cdot 355}{400 \cdot 44 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5}} = 1{,}16$$

Om te bepalen welke knikkromme moet worden gebruikt voor het bepalen van de kipstabiliteit wordt de ratio h/b bepaald. De ratio h/b van de gekozen plaatligger met UNP 400 is $1370/400 = 3{,}43$. Dit betekent volgens onderstaande tabel dat de χ_{LT} van een gelast profiel wordt bepaald aan de hand van curve d.

Sectie	**Ratio h/b**	**Geldige kromme**
Warmgewalst	h/b ≤ 2 h/b > 2	Curve b Curve c
Gelast	h/b ≤ 2 h/b > 2	Curve c Curve d

Door in bovenstaande figuur 64 curve d af te lezen wordt $\chi_{LT} \cong 0{,}39$ gevonden.

De rekenwaarde van de kipweerstand van een zijdelings ongesteunde ligger behoort als volgt te zijn bepaald:

$$M_{\beta;Rd} = \chi_{LT} \cdot \left(W_{el,y} \cdot \frac{f_{yd}}{\gamma_{M0}} \right) = 0{,}39 \cdot \left(13791 \cdot 10^3 \cdot \frac{355}{1{,}0} \right) = 1909{,}38\ kNm$$

De toets is dan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{\beta;Rd}} = \frac{1759{,}6}{1909{,}38} = 0{,}92 \leq 1{,}0$$

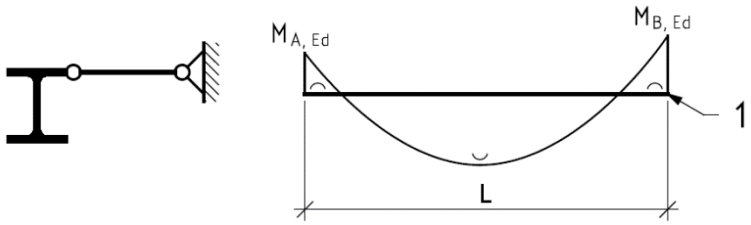
Met deze configuratie voor de kipsteunen wordt wel voldaan aan de eis.

De zijdelingse steunen moeten zijn aangebracht op een afstand niet groter dan 1/3 van de profielhoogte van die flens die de grootste zijdelingse verplaatsing zou ondergaan, indien de desbetreffende steunen niet aanwezig zouden zijn.

Bij plaatsing van een enkele kipsteun in het midden van de overspanning moet de kipsteun aan de bovenflens worden aangebracht, indien:

$$\left| M_{A,Ed} + M_{B,Ed} \right| = |1565{,}5 + 1759{,}2| = 3324{,}7 < 0{,}2 \cdot 8{,}68 \cdot 5{,}83^2 = 59{,}07$$

$$3324{,}7 < 59{,}07$$

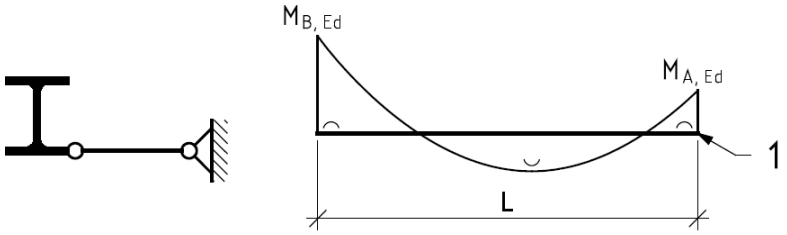


Figuur 66: Plaatsing kipsteun aan bovenflens (NEN-EN 1993-1-1+C2+A1 NB).

De kipsteun moet ter plaatse van de onderflens worden aangebracht, indien:

$$|M_{A,Ed} + M_{B,Ed}||1565{,}5 + 1759{,}2| = 3324{,}7 \geq 0{,}2 \cdot 8{,}68 \cdot 5{,}83^2 = 59{,}07$$

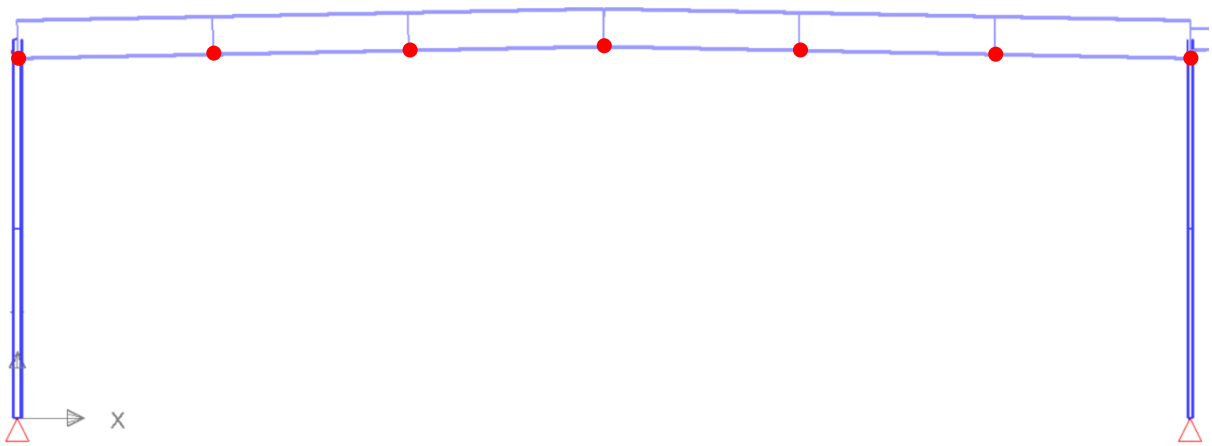
$$3324{,}7 \geq 59{,}07$$



Figuur 67: Plaatsing kipsteun aan onderflens (NEN-EN 1993-1-1+C2+A1 NB).

Dit komt omdat bij de kritieke (Euler)kipvorm de onderflens dan meer verplaatst dan de bovenflens. Dat betekent dat de kipsteunen ter plaatse van de onderflens moeten worden aangebracht.

In totaal zijn dus 7 kipsteunen nodig, waarvan 5 steunen in de onderflens van type C en 2 steunen in de onderflens van type A ter plaatse van de verbindingen met de kolommen, zoals te zien in onderstaande figuur 68.



Figuur 68: Resultaat van de kipberekeningen. De rode stippen geven de plaatsen aan waar kipsteunen worden aangebracht.

Aan kipstabiliteit is voldaan indien zijdelingse steunen (kipsteunen) zijn gedimensioneerd op de grootste van de volgende krachten:

$$N_{st,Ed} = 0{,}01 \cdot A_f \cdot \sigma_{f,Ed}$$

$$N_{st,Ed} = 0{,}005 \cdot A_f \cdot f_y$$

Waarin:

A_f is de oppervlakte van een flens; $[A_f = h_f \cdot b_f + A_{UNP\,400} = 30 \cdot 300 + 9150 = 18150\ mm^2]$

$\sigma_{f,Ed}$ is de rekenwaarde van de spanning in de flens. $[1759{,}6 \cdot 10^6 / 13791 \cdot 10^3 = 127{,}6\ N/mm^2]$

Invullen geeft:

$$N_{st,Ed} = 0{,}01 \cdot 18150 \cdot 127{,}6 = 23157{,}44\ N \cong 23{,}16\ kN$$

$$N_{st,Ed} = 0{,}005 \cdot 18150 \cdot 355 = 32216{,}25\ N \cong 32{,}22\ kN$$

De grootste waarde voor $N_{st,Ed} = 32{,}2\ kN$, maar de kipsteunen maken een hoek van 45°. Hierdoor is de werkelijk optredende drukkracht in de kipsteun groter: $N_{st,Ed} = \sqrt{2} \cdot 32{,}22 = 45{,}56\ kN$. Met deze drukkracht wordt een stabiliteitsberekening gedaan voor het kipsteun staalprofiel. Er is gekozen voor een IPE 80 in staalsoort S235.

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,y,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk) kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ:

$$N_{b,y,Rd} = \chi \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

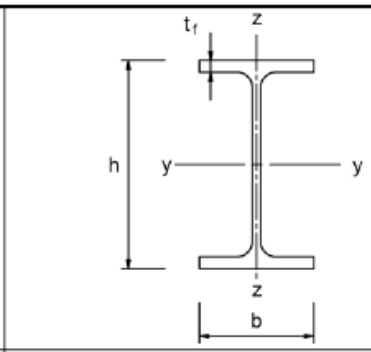
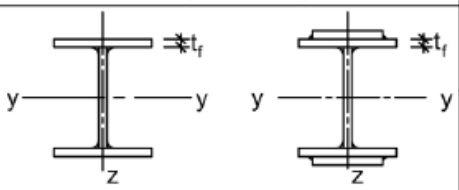
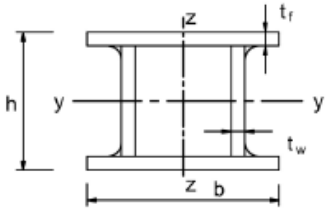
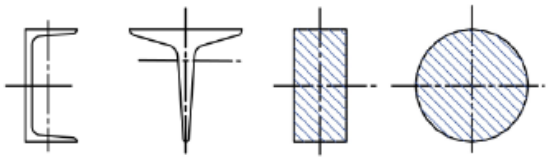
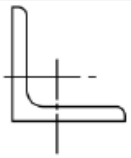
$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/235} = 93{,}91$

$$i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{8{,}49 \cdot 10^4}{764}} = 10{,}54\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1513{,}21}{10{,}54} \cdot \frac{1}{93{,}91} = 1{,}53$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De IPE-profielen en van staalkwaliteit S235 met $h/b = 80/46 = 1{,}74 > 1{,}2$ en $t_f = 5{,}2 \leq 40$, dus bij knikken om de z'-as moet curve c worden gebruikt, zoals te zien in onderstaande figuur 69. De te hanteren waarde voor de imperfectiefactor α wordt bepaald met de daaropvolgende tabel.

Cross section		Limits		Buckling about axis	Buckling curve: S 235 S 275 S 355 S 420	Buckling curve: S 460
Rolled sections		h/b > 1,2	$t_f \leq 40$ mm	y – y z – z	a b	a_0 a_0
			40 mm < $t_f \leq 100$	y – y z – z	b c	a a
		h/b ≤ 1,2	$t_f \leq 100$ mm	y – y z – z	b c	a a
			$t_f > 100$ mm	y – y z – z	d d	c c
Welded I-sections			$t_f \leq 40$ mm	y – y z – z	b c	b c
			$t_f > 40$ mm	y – y z – z	c d	c d
Hollow sections			hot finished	any	a	a_0
			cold formed	any	c	c
Welded box sections			generally (except as below)	any	b	b
			thick welds: a > 0,5t_f b/t_f < 30 h/t_w <30	any	c	c
U-, T- and solid sections				any	c	c
L-sections				any	b	b

Figuur 69: Profielconfiguratie en keuze stabiliteitskromme volgens Eurocode 3.

Tabel 11: Imperfectiefactoren voor verschillende curves.

	a_0	a	b	c	d
α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Er geldt: α = 0,34.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}34(1{,}53 - 0{,}2) + 1{,}53^2] = 1{,}89$$

$$\chi = \frac{1}{1{,}89 + \sqrt{1{,}89^2 - 1{,}53^2}} = 0{,}33 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,y,Rd} = 0{,}33 \cdot \frac{764 \cdot 235}{1{,}0} = 59{,}60\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{st,Ed}}{N_{b,y,Rd}} = \frac{45{,}56}{59{,}60} = 0{,}76 \leq 1{,}0$$

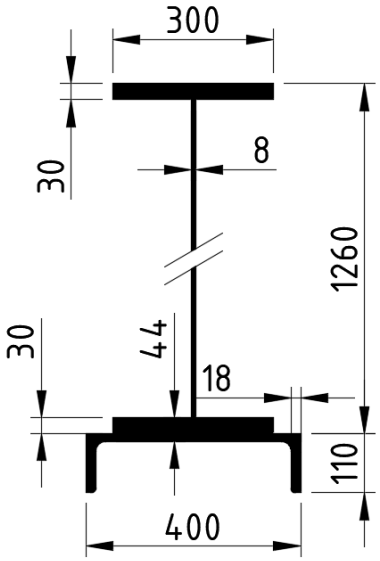
IPE 80 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit.

Nu kan met zekerheid worden vastgesteld dat de gekozen plaatligger voldoet. De maatgevende situatie is UGT FC 2 bestaande uit eigengewicht, permanente last en wind-/sneeuwlast. De belastingen worden bepaald aan de hand van drie verschillende rekenmodellen: wind en zonnepanelen, wind zonder zonnepanelen en sneeuw met zonnepalen. De maatgevende resultaten voor dwarskracht, moment en normaalkracht worden ondergebracht in onderstaande tabel 12.

Tabel 12: Maatgevende dwarskracht, moment en normaalkracht uit de rekenmodellen in Diamonds BuildSoft voor diverse variaties met windbelasting, sneeuwbelasting en zonnepanelen.

	Vz	**My**	**N**
Plaatligger (wind en zonnepanelen	-181,7	-1591,8	-54,3
Plaatligger (wind)	-181,7	-1591,8	-54,3
Plaatligger (sneeuw en zonnepanelen)	-207,6	-1759,6	-4,2
Maatgevende resultaten	-207,6	-1759,6	-54,3

In onderstaande figuur 70 zijn de afmetingen van de plaatligger met UNP 400 te zien.



Figuur 70: Afmetingen van de plaatligger. De tekening is gemaakt in AutoCAD 2022.

L.3.2 Doorsnedeclassificatie plaatligger (h = 1260 mm) met UNP 400

Voor S355 bedraagt de factor ε:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/355} = 0{,}81$$

Bij uniforme druk wordt de uitkragende flens op druk belast, zodat voor de grenswaarde van de doorsnedeklassen geldt: $9\varepsilon = 7{,}32$ voor klasse 1, $10\varepsilon = 8{,}14$ voor klasse 2 en $14\varepsilon = 11{,}39$ voor klasse 3. De breedte van de flens van de plaatligger wordt gemeten vanaf de hoeken: $c_f = 0{,}5(b - t_w) = 0{,}5(300 - 8) = 146\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van de flens is dan: $c/t = c_f/t_f = 146/30 = 4{,}87 \leq 7{,}32$. De flens is dus van klasse 1.

Wanneer de doorsnede wordt belast op buiging om de sterke as worden de (bovenste) flenzen op druk en het lijf op buiging belast. Dat betekent dat in het lijf naast drukspanningen ook trekspanningen aanwezig zijn, zodat het lijf minder gevoelig is voor lokaal plooien. De op druk belaste flenzen vallen in doorsnedeklasse 1, zoals in de berekening hiervoor is te zien. Voor het op buiging belaste lijf geldt voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen: $72\varepsilon = 58{,}58$ voor klasse 1, $83\varepsilon = 67{,}53$ voor klasse 2 en $124\varepsilon = 100{,}89$ voor klasse 3. De hoogte van het lijf wordt gemeten tussen de flenzen: $c_w = h - 2t_f = 1260 - 2 \cdot 30 = 1200\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van het lijf is dan: $c/t = c_w/t_w = 1200/8 = 150 > 100{,}89$. Er wordt niet voldaan aan de begrenzing van doorsnedeklasse 3 doordat het lijf op buiging wordt belast. Het lijf is dus van klasse 4. De plaatligger in de staalsoort S355 belast op buiging om de sterke as is van klasse 4.

L.3.3 Controle weerstand/sterkte doorsnede

In een ligger op twee steunpunten treden de grootste spanningen op in het midden van de overspanning als gevolg van het buigend moment. In de ligger treden dwarskrachten, momenten en normaalkrachten op, waarbij de grootste dwarskrachten bij de opleggingen optreden en de grootste momenten in het midden van de overspanning. Er is dus geen combinatie van dwarskrachten met buigende momenten.

Toetsing buigend moment

De rekenwaarde van het buigend moment voor deze ligger bedraagt 1759,6 kNm. Dit is het resultaat van de belastingen in de UGT.

Het is een samengestelde ligger, dus het gewicht moet handmatig worden berekend of door BuildSoft zijn bepaald:

$$G = A \cdot \rho_{staal} = 0{,}0368 \cdot 7850 = 288{,}46\ \frac{kg}{m} = 2{,}88\ \frac{kN}{m}$$

$$W_{el,y} = 13791 \cdot 10^3\ mm^3$$

Echter is de doorsnede van klasse 4, waardoor de effectieve waard voor het weerstandsmoment moet worden gebruikt, zo blijkt ook uit het boek *Tabellen voor bouw- en waterbouwkundigen*. Diamonds

BuildSoft behaald automatisch de doorsnedeklasse van het profiel en bepaald zo of effectieve waarden gebruikt moeten worden, zoals de norm voorschrijft.

Diamonds BuildSoft berekent automatisch het effectieve weerstandsmoment:

$$W_{eff,y} = 11972 \cdot 10^3\ mm^3$$

Het effectieve weerstandsmoment is gereduceerd ten aanzien van het elastische weerstandsmoment.

Het traagheidsmoment is een karakteristiek van de doorsnede is ook door BuildSoft bepaald:

$$I_y = 1095618 \cdot 10^4\ mm^4$$

Omdat de doorsnede van klasse 4 is, mag alleen de elastische effectieve momentweerstand worden gebruikt met plooicontrole. De rekenweerstand voor buiging om een hoofdas van een dwarsdoorsnede is als volgt bepaald:

$$M_{c,Rd} = M_{el,Rd} = \frac{W_{eff,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{11972 \cdot 10^3 \cdot 355}{1{,}0} = 4249{,}97\ kNm$$

De toets is dan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{1759{,}6}{4249{,}97} = 0{,}41 \leq 1{,}0$$

De gekozen plaatligger voldoet aan de voorwaarde voor momentweerstand. In Diamonds BuildSoft komt de eenheidscontrole eveneens uit op 41%.

Toetsing dwarskracht (afschuiving)

Het volgende criterium mag worden gebruikt:

$$\frac{\tau_{Ed}}{f_y/\left(\sqrt{3} \cdot \gamma_{M0}\right)} \leq 1{,}0$$

Om de rekenwaarde van de elastische weerstand tegen dwarskracht $V_{c,Rd}$ te toetsen mag, voor een kritiek punt van de doorsnede van I- of H-profielen de schuifspanning in het lijf ook als volgt zijn bepaald:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} \text{ indien } A_f/A_w = 18150/10080 = 1{,}80 \geq 0{,}6$$

Waarin:

A_f is de oppervlakte van één flens; [$A_f = h_f \cdot b_f + A_{UNP\ 400} = 30 \cdot 300 + 9150 = 18150\ mm^2$]

A_w is de oppervlakte van het lijf (bepaald volgens de methode van BuildSoft). [$A_w = 10192\ mm^2$]

Invullen geeft:

$$\tau_{Ed} = \frac{V_{Ed}}{A_w} = \frac{207600}{10192} = 20{,}37\ N/mm^2$$

De toets is dan:

$$\frac{20{,}37}{355/\left(\sqrt{3}\cdot 1{,}0\right)} = 0{,}10 \leq 1{,}0$$

De gekozen plaatligger voldoet aan de voorwaarde voor dwarskracht.

L.3.4 Controle doorbuiging

Doorbuiging zal invloed hebben op de waterafvoer van het dak. Om het water van het dak op de juiste manier af te voeren moet het afschot van het dak minimaal 1,6% (16 mm/m) zijn volgens Bouwbesluit 2012. Bij een overspanning van 35,00 m is daarom in het midden van de overspanning een hoogte van 280 mm vereist. Zoals bekend is in het ontwerp een afschot van 2,0% (20 mm/m) aangenomen, wat resulteert in een hoogte in het midden van de overspanning van 350 mm. Er is dus een marge van 70 mm (= 350 mm – 280 mm) die gebruikt mag worden voor de doorbuiging van de constructie om nog te voldoen aan de ondergrens van het dakafschot.

Voorwaarde:

$$u \leq u_{max}$$

Waarin:

u doorbuiging van de gekozen ligger;

u_{max} (ook wel u_{eind} genoemd) maximale toegestane doorbuiging van de ligger.

$$u_{max} \leq 0{,}004 \cdot l_{rep} \leq 0{,}004 \cdot 35000 \leq 140\ mm$$

De limiet voor de doorbuiging van de plaatligger is echter 140 mm, dat is 70 mm meer dan de marge. Dat betekent dat er minimaal een extra hoogte van 70 mm moet worden aangebracht, wat kan in de vorm van een zeeg. De verschillende doorbuigingen zijn eerder te zien in figuur 61.

Uit het rekenmodel in Diamonds BuildSoft blijkt dat de omhullende doorbuiging van de plaatligger wordt bepaald door combinatie BGT ZC 2, waarin de belastinggevallen voor het eigengewicht van de plaatligger, de permanente belasting van de dakbedekking (bitumen, isolatie, dakplaat, etc.) en de sneeuwbelasting als veranderlijke belasting zijn verwerkt. Er is gaandeweg in de berekening een sterk vermoeden ontstaan dat de gekozen plaatligger niet voldoet aan de maximale doorbuigingseis, dus is het raadzaam om eerst de maximale doorbuiging te berekenen. Op het moment dat de gekozen plaatligger nog niet voldoet, zal een zwaarder profiel worden samengesteld die minder zal doorbuigen, waardoor wellicht minder zeeghoogte nodig is.

Dakbedekking	0,36 kN/m · 6,25 m	2,24 kN/m
Plaatligger met UNP 400		2,88 kN/m +
Totaal		5,13 kN/m

Doorbuiging van de plaatligger bij permanente belastingen:

$$u_1 = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

Waarin:

q_{Ed} gelijkmatig verdeelde belasting met inbegrip van de veiligheidsfactoren; [5,13 kN/m]

l lengte van de overspanning; [35,00 m]

E rekenwaarde van de elasticiteitsmodulus; [$2{,}1 \cdot 10^5$ N/mm^2]

I traagheidsmoment van de doorsnede; [$1095618 \cdot 10^4$ mm^4]

Invullen geeft:

$$u_1 = \frac{5 \cdot 5{,}13 \cdot 35000^4}{384 \cdot 210000 \cdot 10956180000} = 43{,}53\ mm \leq 140\ mm$$

Primaire doorbuiging van de ligger ten gevolge van permanente en veranderlijke belastingen:

$$u_{tot} = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

Waarin:

q_{Ed} gelijkmatig verdeelde belasting met inbegrip van de veiligheidsfactoren; [8,63 kN/m *]

l lengte van de overspanning; [35,00 m]

E rekenwaarde van de elasticiteitsmodulus; [210000 N/mm^2]

I traagheidsmoment van de doorsnede; [$1095618 \cdot 10^4$ mm^4]

* Er wordt hier teruggerekend van het buigend moment in de BGT (1329,3 kNm) naar een q-last middels de formule van het buigend moment bij een ligger op twee steunpunten ($M = 1/8 \cdot q \cdot l^2$). De q-last komt hierdoor uit op 8,68 kN/m.

Invullen geeft:

$$u_1 = \frac{5 \cdot 8{,}68 \cdot 35000^4}{384 \cdot 210000 \cdot 10956180000} = 73{,}72\ mm \leq 140\ mm$$

De gekozen plaatligger voldoet aan de maximale doorbuigingseis. De bijkomende doorbuiging is dus:

$$u_{bij} = u_{tot} - u_1 = 73{,}72 - 43{,}53 = 30{,}20\ mm.$$

De minimale benodigde zeeg om aan de eis voor de totale doorbuiging te voldoen is:

$$u_{ze} = u_{tot} - u_{bij} = 73{,}72 - 30{,}20 = 43{,}53\ mm \cong 44\ mm$$

Wat hier nog niet is meegenomen is de doorbuiging van de dakplaat:

$$u_{max} \leq 0{,}004 \cdot l_{rep} \leq 0{,}004 \cdot 6250 \leq 25\ mm$$

In totaal moet de zeeg dus een hoogte hebben van $44 + 25 = 69\ mm$, maar voor de eenvoud en de veiligheid wordt gekozen voor een zeeghoogte van 80 mm.

L.3.5 Plooien van het lijf

Voor de toetsing van de plooistabiliteit moet de geometrie van het plaatveld en/of plaatvelden bekend zijn. In verband hiermee moet worden nagegaan of de krachtsinleiding ter plaatse van de opleggingen van gewalste I-liggers of gelaste plaatliggers zonder dwarsverstijvingen voldoet aan de voorwaarden volgens NEN 1993-1-1:2016, art 6.3.1.1:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{F_{Ed}}{1{,}5 \cdot F_{2,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{1{,}5 \cdot M_{y,Rd}} \leq 1{,}0$$

In de laatste formule wordt de interactie tussen lokaal plooien en buiging getoetst. Aan de opleggingen is de dwarskracht het grootste, dus is de kans op plooien hier het grootste. Hier treedt echter geen buiging op.

Waarin:

F_{Ed} is de rekenwaarde van de kracht door de belasting;

F_{Rd} is de rekenwaarde van de weerstand bij krachtsinleiding en is de kleinste waarde van $F_{1,Rd}$, $F_{2,Rd}$ en $F_{3,Rd}$;

$M_{y,Ed}$ is de rekenwaarde van het buigend moment om de y-as door de belasting; [1759,6 kNm]

$M_{y,Rd}$ is de rekenwaarde van de weerstand tegen het buigend moment om de y-as; [4249,97 kNm]

$F_{1,Rd}$ is de rekenwaarde van de weerstand van het lijf ten aanzien van vloeien volgens 6.5.3.2;

$F_{2,Rd}$ is de rekenwaarde van de weerstand van het lijf ten aanzien van lokaal plooien volgens 6.5.3.3;

$F_{3,Rd}$ is de rekenwaarde van de weerstand van het lijf ten aanzien van globaal plooien volgens 6.5.3.4.

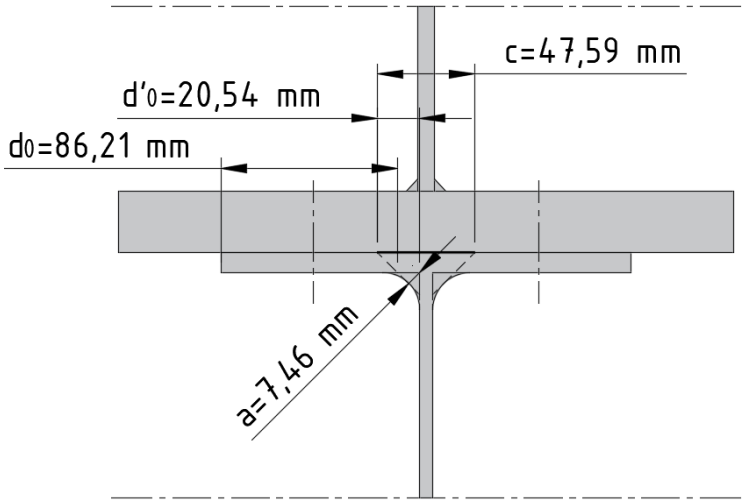
De lengte waarover de krachtsinleiding bij een oplegging of door een puntlast wordt uitgeoefend, is bepaald door een spreiding van de kracht onder een hoek van 45° door stijve gedeelten van de profielen. Bij het bepalen van de opleglengte c mogen, voor de spreiding van de kracht onder 45°, losliggende vulplaten niet zijn meegerekend. Indien de kracht wordt uitgeoefend door een onverstijfd I-profiel, dan mag voor c geen grotere waarde zijn aangehouden dan:

$$c = 2d_0 + t_w$$

Waarin:

d_0 is de afstand van de buitenzijde van de flens tot het begin van de afrondingsstraal.

De oplegreactie $F_{Ed} = 207{,}6\ kN$ wordt van de steun op de plaatligger overgebracht. De plaatligger steunt af op een bank van een HEA 200 die wordt vastgelast aan de midden kolom en heeft een flensdikte van $t = 10\ mm$. Verder heeft een HEA 200 in de hoeken een afrondingsstraal van 18 mm.



Figuur 71: Krachtsinleiding van de bank (HEA 200) op de plaatligger. Tekening gemaakt met AutoCAD 2022.

$$d_0 = \frac{b - t_w - 2 \cdot a \cdot \sqrt{2}}{2} = \frac{200 - 6{,}5 - 2 \cdot 7{,}46 \cdot \sqrt{2}}{2} = 86{,}21\ mm$$

$$c = 2 \cdot d'_0 + t_w = 2 \cdot 20{,}54 + 6{,}5 = 47{,}59\ mm$$

$$c = 47{,}59\ mm \leq 2 \cdot d_0 + t_w = 2 \cdot 86{,}21 + 6{,}5 = 178{,}92\ mm$$

De krachtsinleiding betreft als uitgangspunt een eindoplegging, waardoor de lengte d_1 van de plaatligger volgt uit:

$$d_1 = t_f \cdot \sqrt{\frac{b_f}{t_w}} \cdot \sqrt{\frac{f_{y,f}}{f_{y,w}}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{\sigma_{f,Ed}}{f_{y,f}}\right)^2} = 30 \cdot \sqrt{\frac{300}{8}} \cdot \sqrt{\frac{355}{355}} \cdot \sqrt{1 - \left(\frac{0}{355}\right)^2} = 183{,}71\ mm$$

De waarde b_f mag niet groter zijn aangehouden dan $25 \cdot t_f$. Er geldt:

$$b_f = 300\ mm \leq 25 \cdot t_f = 25 \cdot 30 = 750\ mm$$

Waarin:

t_f is de dikte van de flens; [30 mm]

t_w is de dikte van het lijf; [6,5 mm]

c is de lengte waarover de kracht wordt uitgeoefend; [47,59 mm]

b_f is de breedte van de flens; [300 mm]

$\sigma_{f,Ed}$ is de rekenwaarde voor de (langs)spanning in de flens ten gevolge van de belasting;

$f_{y,f}$ is de rekenwaarde voor de vloeigrens van de liggerflens;

$f_{y,w}$ is de rekenwaarde voor de vloeigrens van het liggerlijf.

Voor de capaciteit F_{Ed} ten aanzien van vloeien van het lijf geldt:

$$F_{1,Rd} = (c + d_1) \cdot t_w \cdot f_y = (47{,}59 + 183{,}71) \cdot 8 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 656{,}90\ kN$$

Lokaal plooien van het lijf

Voor de capaciteit $F_{2,Rd}$ ten aanzien van lokaal plooien van het lijf geldt voor eindopleggingen:

$$F_{2,Rd} = 0{,}125 \cdot {t_w}^2 \cdot \sqrt{E_d \cdot f_y} \cdot \left[\sqrt{\frac{t_f}{t_w}} + 3 \cdot \frac{t_w}{t_f} \cdot \frac{c}{h - 2 \cdot t_f}\right]$$

Waarin:

h is de hoogte van de ligger; [1260 mm]

Invullen geeft:

$$F_{2,Rd} = 0{,}125 \cdot 8^2 \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5 \cdot 355} \cdot \left[\sqrt{\frac{30}{8}} + 3 \cdot \frac{8}{30} \cdot \frac{47{,}59}{1260 - 2 \cdot 30}\right] \cdot 10^{-3} = 135{,}95 \text{ kN}$$

De waarde voor $c/(h - 2 \cdot t_f)$ mag niet groter zijn genomen dan 0,2. Dit ingevuld levert:

$$47{,}59/(1260 - 2 \cdot 30) = 0{,}04 \leq 0{,}2$$

Globaal plooien van het lijf

De capaciteit $V_{3,Rd}$ ten aanzien van globaal plooien van het lijf moet zijn bepaald door het lijf te beschouwen als een gedrukte staaf met een effectieve breedte b_{eff} en een kniklengte l_{cr}. Voor de toetsing op knikstabiliteit geldt 6.3.1 uitgaande van knikcurve c. De effectieve breedte b_{eff} volgt uit NEN 6770, figuur 73, overeenkomstig met NEN 1993-1-1+C2+A1:2016, figuur *NB.10 — Effectieve breedte van het liggerlijf bij globaal plooien* in de norm.

$$b_{eff} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{h^2 + c^2} + x + \frac{c}{2} = \frac{1}{2} \cdot \sqrt{1260^2 + 47{,}59^2} + 126{,}21 + \frac{47{,}59}{2} = 780{,}45\ mm$$

$$b_{eff} = 780{,}45 \leq \sqrt{h^2 + c^2} = \sqrt{1260^2 + 47{,}59^2} = 1260{,}90\ mm$$

De kniklengte $l_{cr} = h = 1260\ mm$.

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/355} = 76{,}41$

$$i_z = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot {t_w}^2} = \sqrt{\frac{1}{12} \cdot 8^2} = 2{,}31\ mm$$

Dus:

$$\lambda_{rel} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{1260}{2{,}31} \cdot \frac{1}{76{,}41} = 7{,}14$$

De waarde voor ω_{buc} wordt bepaald met de volgende formule, omdat $\lambda_{rel} > 3{,}0$:

$$\omega_{buc} = \frac{1 + \alpha_k \cdot (\lambda_{rel} - \lambda_0) + {\lambda_{rel}}^2}{2 \cdot {\lambda_{rel}}^2} - \frac{1}{2 \cdot {\lambda_{rel}}^2} \cdot \sqrt{\left(1 + \alpha_k \cdot (\lambda_{rel} - \lambda_0) + {\lambda_{rel}}^2\right)^2 - 4 \cdot {\lambda_{rel}}^2}$$

$$= \frac{1 + 0{,}49 \cdot (7{,}14 - 0{,}2) + 7{,}14^2}{2 \cdot 7{,}14^2} - \frac{1}{2 \cdot 7{,}14^2} \cdot \sqrt{(1 + 0{,}49 \cdot (7{,}14 - 0{,}2) + 7{,}14^2)^2 - 4 \cdot 7{,}14^2}$$

$$= 0{,}018$$

Voor de capaciteit $F_{3,Rd}$ ten aanzien van globaal plooien van het lijf geldt:

$$F_{3,Rd} = \omega_{buc} \cdot b_{eff} \cdot t_w \cdot f_y = 0{,}018 \cdot 1260{,}90 \cdot 8 \cdot 355 \cdot 10^{-3} = 65{,}77\ kN$$

De toets is dan:

$$\frac{F_{Ed}}{F_{Rd}} = \frac{207{,}6}{65{,}77} = 3{,}16 > 1{,}0$$

$$\frac{F_{Ed}}{1{,}5 \cdot F_{2,Rd}} + \frac{M_{y,Ed}}{1{,}5 \cdot M_{y,Rd}} = \frac{207{,}6}{1{,}5 \cdot 135{,}95} + \frac{0}{1{,}5 \cdot\ 4249{,}97} = 1{,}02 > 1{,}0$$

Ter plaatse van de oplegging voldoet het lijf zonder verstijvingen niet aan de gestelde eisen. Het aanbrengen van een dwarsverstijving is noodzakelijk.

Ter voorkoming van excentriciteit wordt aan beide zijden van het lijf een verstijving aangebracht. Er wordt gekozen voor strippen met een breedte-dikteverhouding $b_s/t_s \leq 10 \cdot \alpha_y = 1$, waardoor de verstijvingen behoren tot doorsnedeklasse 1 (NEN 6770, tabel 8). Voor de bepaling van de afmeting wordt de oplegreactie R_{sd} gelijkgesteld aan de capaciteit van de totale verstijving $N_{c,Rd} = 2 \cdot b_s \cdot t_s \cdot f_y = 2 \cdot 10 \cdot (t_s)^2 \cdot f_y$.

De dikte t_s volgt uit:

$$t_s = \sqrt{\frac{R_{sd}}{2 \cdot 10 \cdot f_y}} = \sqrt{\frac{207{,}6 \cdot 10^3}{2 \cdot 10 \cdot 355}} = 5{,}4\ mm \cong 6\ mm$$

Met $t_s = 6\ mm$ volgt de breedte van de verstijving uit $b_s = 10 \cdot t_s = 10 \cdot 6 = 60\ mm$. Er wordt echter al een kopplaat aangebracht met een dikte van 15 mm om een verbinding te vormen met de kolom. Hierdoor is de berekende dwarsverstijver bij de opleggingen niet meer nodig.

Het is tevens goed om ook te bepalen of er dwarsverstijvers nodig zijn in het midden van de overspanning. Het moment ter plaatse van de doorsnede is $M_{Ed} = 1759{,}6\ kNm$. Hierin is de momentcapaciteit $M_{c,Rd} = W_{eff,y} \cdot f_y = 11972 \cdot 10^3 \cdot 355 = 4249{,}97\ kNm$.

Invullen van de formules 14.2-2 uit NEN 6770 geeft:

$$\frac{0}{1{,}5 \cdot 65{,}77} + \frac{1759{,}6}{1{,}5 \cdot 4249{,}97} = 0{,}28 \leq 1{,}0$$

Ter plaatse van het grootste moment voldoet het lijf zonder verstijvingen aan de gestelde eisen. Het aanbrengen van dwarsverstijving is niet noodzakelijk.

L.3.6 Lassen

De maximale dwarskracht ter plaatse van de opleggingen is $V_{Ed} = 207{,}6\ kN$. De langsschuifkracht (L) en de capaciteit van de las ($f_{w,Rd}$) volgen uit:

$$L = \frac{V_{Ed} \cdot S_y}{I_y} = \frac{V_{Ed} \cdot b_f \cdot t_f \cdot \frac{1}{2} \cdot (h_w + t_w)}{I_y} = \frac{207{,}6 \cdot 300 \cdot 30 \cdot \frac{1}{2} \cdot (1260 + 8)}{1095618 \cdot 10^4} = 0{,}11\ kN$$

$$f_{w,Rd} = 0{,}46 \cdot \frac{f_y}{\beta} = 0{,}46 \cdot \frac{355}{0{,}8} = 204{,}13\ \ N/mm^2$$

De benodigde lasdikte volgt uit: $a = L/(2 \cdot f_{w,Rd}) = 0{,}11 \cdot 10^3/(2 \cdot 204{,}13) = 0{,}26\ mm$. Om praktische redenen wordt een lasdikte van 4 mm aangehouden.

Bijlage M: Calculatieoverzicht

Overzicht Calculatie

Datum 04.05.2022

Project	220457	berekening div. spantconstructies
Alternatief	0 : origineel	
Debiteur	IZV B.V.	
Tel :	0114-687200	Fax : 0114-682964
Bedrijfsnaam		
Contact persoon		
Tel :		Fax :
Email :		

Subproject 1 Hoofdniveau

Calc.datum	22-10-2014
Bewerkingsprijslijst	Standaard
Oppervlakte	
Inhoud	

Element 1 **vakwerk spant** **1x uitvoeren**
Van:

Materiaal

Regel	Aantal	Artikel	Lengte	Breedte	Toeslag	Cons.	KG	M1	M²	Wpl	Bedrag
1	1	HEA 220	34.610			5	1.782,41	34,61	43,44		3.208,35
2	1	HEA 140	34.530			5	870,16	34,53	27,42		1.566,28
3	1	K70X70X5 - EN10219-S275J0H	40.930			5	397,02	40,93	10,76		736,74
4	1	K70X70X4 - EN10219-S275J0H	25.800			5	205,63	25,80	6,86		412,80
5	1	HOEKSTAAL 60 X 60 X 6	17.550			5	96,88	17,55	4,09		174,38
	5						3.352,09	153,42	92,57	0,00	6.098,54

Conserveringen

	Cons.	Aantal	Opsl. k+v pl	Eenheid	Tarief	Norm	Aant. Eh2	KG	M²	Bedrag
Coating 1-laagssysteem	5	92,57	4,63	M2	12,00					1.166,37
										1.166,37

Bewerking

	Aantal	Factor	Eenheid	Tarief	Norm	Aant. Eh2	Bedrag
Kop en voetplaten (kg x tarief)	167,60	1,00		2,20			368,73
Lasbenodigdheden	3,35	1,00		25,00			83,80
Zaagwerk staalconstructie	8,00	1,00		79,00			632,00
Werkuren prefab	80,00	1,00		43,00			3.440,00
Transportkosten		1,00		80,00			750,00
Rekenwerk derden		1,00					1.250,00
Tekenuren	32,00	1,00		59,00			1.888,00
							8.412,53

Opslagen

	Aantal	Factor	Eenheid	Tarief	Norm	Aant. Eh2	KG	M²	Bedrag
Kop- en voetplaten	5,00		%				167,60	4,63	0,00
Afval materiaal	10,00		%						646,73
Magazijn	0,10	43,00	%	43,00					12,25
Garantiekosten	1,00		%						163,36
toeslag gewicht na thermisch verzinken	3,00		%/KG				105,59		0,00
Algemene Kosten	10,00		%						1.649,98
									2.472,32

Totale kostprijs vakwerk spant 18.149,77

Winst over totaal

Aantal	Eenheid	Bedrag
7,00	%	1.270,48

			KG	M²	Bedrag
Totaal	**1 ST**	**vakwerk spant**	**3.625,29**	**97,20**	**19.420,25**
Eenheidsprijs	ST		3.625,29	97,20	19.420,25

EindTotalen

	KG	M²	Bedrag
vakwerk spant	3.625,29	97,20	19.420,25

Overzicht Calculatie

Datum 04.05.2022

Project	220457	berekening div. spantconstructies
Alternatief	0 : origineel	
Debiteur	IZV B.V.	
Tel :	0114-687200	Fax : 0114-682964
Bedrijfsnaam		
Contact persoon		
Tel :		Fax :
Email :		

Subproject 1 Hoofdniveau

Calc.datum	22-10-2014
Bewerkingsprijslijst	Standaard
Oppervlakte	
Inhoud	

Element 2 **Raatligger** **1x uitvoeren**
Van:

Materiaal

Regel	Aantal	Artikel	Lengte	Breedte	Toeslag	Cons.	KG	M1	M²	Wpl	Bedrag
1	1	HEA 900	37.000			3	9.505,30	37,00	107,15		18.535,33
6	1	UNP 400	34.110			3	2.496,85	34,11	40,25		4.868,86
7	1	IPE 100	8.840			3	73,37	8,84	3,54		132,07
	3						12.075,52	79,95	150,94	0,00	23.536,27

Conserveringen

	Cons.	Aantal	Opsl. k+v pl	Eenheid	Tarief	Norm	Aant. Eh2	KG	M²	Bedrag
Zinkfosfaatprimer Kleurgroep 1	3	150,94	7,55	M2	7,50					1.188,64
										1.188,64

Bewerking

	Aantal	Factor	Eenheid	Tarief	Norm	Aant. Eh2	Bedrag
Kop en voetplaten (kg x tarief)	603,78	1,00		2,20			1.328,31
Lasbenodigdheden	12,08	1,00		25,00			301,89
Zaagwerk staalconstructie	4,00	1,00		79,00			316,00
Werkuren prefab	88,00	1,00		43,00			3.784,00
Transportkosten		1,00		80,00			750,00
Rekenwerk derden		1,00					1.250,00
Tekenuren	24,00	1,00		59,00			1.416,00
Snijwerk	16,00	1,00		57,00			912,00
							10.058,20

Opslagen

	Aantal	Factor	Eenheid	Tarief	Norm	Aant. Eh2	KG	M²	Bedrag
Kop- en voetplaten	5,00		%				603,78	7,55	0,00
Afval materiaal	10,00		%						2.486,46
Magazijn	0,10	43,00	%	43,00					33,17
Garantiekosten	1,00		%						373,03
toeslag gewicht na thermisch verzinken	3,00		%/KG				380,38		0,00
Algemene Kosten	10,00		%						3.767,58
									6.660,23

Totale kostprijs Raatligger 41.443,33

Winst over totaal

Aantal	Eenheid	Bedrag
7,00	%	2.901,03

			KG	M²	Bedrag
Totaal	**1 ST**	**Raatligger**	**13.059,68**	**158,48**	**44.344,36**
Eenheidsprijs	ST		13.059,68	158,48	44.344,36

EindTotalen

	KG	M²	Bedrag
Raatligger	13.059,68	158,48	44.344,36

Overzicht Calculatie

Datum 04.05.2022

Project	220457	berekening div. spantconstructies
Alternatief	0 : origineel	
Debiteur	IZV B.V.	
Tel :	0114-687200	Fax : 0114-682964
Bedrijfsnaam		
Contact persoon		
Tel :		Fax :
Email :		

Subproject 1 Hoofdniveau

Calc.datum	22-10-2014
Bewerkingsprijslijst	Standaard
Oppervlakte	
Inhoud	

Element 3 **Plaatligger** **1x uitvoeren**
Van:

Materiaal

Regel	Aantal	Artikel	Lengte	Breedte	Toeslag	Cons.	KG	M1	M²	Wpl	Bedrag
1	1	STRIP 300 X 30	69.150			3	4.978,80	69,15	45,64		9.210,78
6	1	UNP 400	34.110			3	2.496,85	34,11	40,25		4.868,86
7	1	IPE 100	8.840			3	73,37	8,84	3,54		132,07
8	42	W.G.KW.PL.S355-6000X2500X8	0			3	2.688,00		84,00		4.704,00
	45						10.237,02	112,10	173,42	0,00	18.915,71

Conserveringen

	Cons.	Aantal	Opsl. k+v pl	Eenheid	Tarief	Norm	Aant. Eh2	KG	M²	Bedrag
Zinkfosfaatprimer Kleurgroep 1	3	173,42	8,67	M2	7,50					1.365,72
										1.365,72

Bewerking

	Aantal	Factor	Eenheid	Tarief	Norm	Aant. Eh2	Bedrag
Kop en voetplaten (kg x tarief)	511,85	1,00		2,20			1.126,07
Lasbenodigdheden	10,24	1,00		25,00			255,93
Zaagwerk staalconstructie	2,00	1,00		79,00			158,00
Werkuren prefab	64,00	1,00		43,00			2.752,00
Transportkosten		1,00		80,00			750,00
Rekenwerk derden		1,00					1.250,00
Tekenuren	24,00	1,00		59,00			1.416,00
Snijwerk	8,00	1,00		57,00			456,00
							8.164,00

Opslagen

	Aantal	Factor	Eenheid	Tarief	Norm	Aant. Eh2	KG	M²	Bedrag
Kop- en voetplaten	5,00		%				511,85	8,67	0,00
Afval materiaal	10,00		%						2.004,18
Magazijn	0,10	43,00	%	43,00					27,54
Garantiekosten	1,00		%						304,77
toeslag gewicht na thermisch verzinken	3,00		%/KG				322,47		0,00
Algemene Kosten	10,00		%						3.078,19
									5.414,68

Totale kostprijs Plaatligger 33.860,11

Winst over totaal

Aantal	Eenheid	Bedrag
7,00	%	2.370,21

			KG	M²	Bedrag
Totaal	**1 ST**	**Plaatligger**	**11.071,34**	**182,10**	**36.230,32**
Eenheidsprijs	ST		11.071,34	182,10	36.230,32

EindTotalen

	KG	M²	Bedrag
Plaatligger	11.071,34	182,10	36.230,32

Bijlage N: Standaardligger opslaghal

N.1 IPE 550 (S235)

N.1.1 Doorsnedeclassificatie IPE 550

Voor S235 bedraagt de factor ε:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1{,}0$$

Bij uniforme druk wordt de uitkragende flens op druk belast, zodat voor de grenswaarde van de doorsnedeklassen geldt: $9\varepsilon = 9$ voor klasse 1, $10\varepsilon = 10$ voor klasse 2 en $14\varepsilon = 14$ voor klasse 3. De breedte van de flens van een IPE 550 wordt gemeten vanaf de afrondingsstraal tot de flenstip: $c_f = 0{,}5(b - t_w - 2r) = 0{,}5(210 - 11{,}1 - 2 \cdot 24) = 75{,}45\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van de flens is dan: $c/t = c_f/t_f = 75{,}45/17{,}2 = 4{,}39 \leq 9$. De flens is dus van klasse 1.

Wanneer de doorsnede wordt belast op buiging om de sterke as worden de (bovenste) flenzen op druk en het lijf op buiging belast. Dat betekent dat in het lijf naast drukspanningen ook trekspanningen aanwezig zijn, zodat het lijf minder gevoelig is voor lokaal plooien. De op druk belaste flenzen vallen in doorsnedeklasse 1, zoals in de berekening hiervoor is te zien. Voor het op buiging belaste lijf geldt voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen: $72\varepsilon = 72$ voor klasse 1, $83\varepsilon = 83$ voor klasse 2 en $124\varepsilon = 124$ voor klasse 3. De hoogte van het lijf wordt gemeten tussen de afrondingsstalen: $c_w = h - 2t_f - 2r = 550 - 2 \cdot 17{,}2 - 2 \cdot 24 = 467{,}6\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van het lijf is dan: $c/t = c_w/t_w = 467{,}6/11{,}1 = 42{,}13 \leq 72$. Het lijf is dus van klasse 1. Het profiel IPE 550 in de staalsoort S235 belast op buiging om de sterke as is van klasse 1.

N.1.2 Controle sterkte/weerstand van de doorsnede

In een ligger op twee steunpunten treden de grootste spanningen op in het midden van de overspanning als gevolg van het buigend moment. In de ligger treden dwarskrachten, momenten en normaalkrachten op, waarbij de grootste dwarskrachten bij de opleggingen optreden en de grootste momenten in het midden van de overspanning. Er is dus geen combinatie van dwarskrachten met buigende momenten.

Toetsing buigend moment

De rekenwaarde van het buigend moment M_{Ed} voor deze ligger bedraagt 380,3 kNm. Dit is het resultaat van de belastingen in de UGT. De rekenwaarde van het buigend moment in elke dwarsdoorsnede moet voldoen aan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin $M_{c,Rd}$ is bepaald rekening houdend met de gaten voor bevestigingsmiddelen.

Omdat de doorsnede van klasse 1 is, mogen zowel de plastische momentweerstand als de elastische momentweerstand worden gebruikt. Omdat Diamonds BuildSoft in deze klasse rekent met de plastische momentweerstand, zal ook voor deze handberekening de plastische momentweerstand worden gebruikt. De rekenweerstand voor buiging om een hoofdas van een dwarsdoorsnede is als volgt bepaald:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{2787{,}73 \cdot 10^3 \cdot 235}{1{,}0} = 655{,}12\ kNm$$

De toets is dan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{380{,}3}{655{,}12} = 0{,}58 \leq 1{,}0$$

IPE 550 voldoet aan de voorwaarde voor momentweerstand. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met de plastische momentweerstand, waardoor de eenheidscontrole eveneens uitkomt op 58%.

Toetsing dwarskracht (afschuiving)

De rekenwaarde van de dwarskracht V_{Ed} voor deze ligger bedraagt 90,1 kN en moet in elke dwarsdoorsnede voldoen aan:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin $V_{c,Rd}$ de rekenwaarde is van de weerstand tegen dwarskracht.

Bij afwezigheid van torsie is de rekenwaarde van plastische weerstand tegen dwarskracht gegeven door:

$$V_{c,Rd} = \frac{A_v \cdot (f_y/\sqrt{3})}{\gamma_{M0}}$$

Waarin A_v de oppervlakte van het werkzame afschuifoppervlak is:

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de doorsnede; [13440 mm^2]

b is de totale breedte; [210 mm]

r is de afrondingsstraal; [24 mm]

t_f is de flensdikte; [17,2 mm]

t_w is de lijfdikte. [11,1 mm]

Invullen geeft:

$$A_v = 13440 - 2 \cdot 210 \cdot 17{,}2 + (11{,}1 + 2 \cdot 24) \cdot 17{,}2 = 7232{,}52\ mm^2$$

De rekenwaarde van de weerstand tegen dwarskracht wordt als volgt berekend:

$$V_{c,Rd} = \frac{7232{,}52 \cdot (235/\sqrt{3})}{1{,}0} = 981{,}29\ kN$$

De toets is dan:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{90{,}1}{981{,}29} = 0{,}09 \leq 1{,}0$$

IPE 550 voldoet aan de voorwaarde voor dwarskracht. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een werkzaam afschuifoppervlak van 7234,9 mm^2, waardoor de eenheidscontrole eveneens uitkomt op 9%.

N.1.3 Controle doorbuiging

Doorbuiging zal invloed hebben op de waterafvoer van het dak. Om het water van het dak op de juiste manier af te voeren moet het afschot van het dak minimaal 1,6% (16 mm/m) zijn volgens Bouwbesluit 2012. Bij een overspanning van 18,00 m is daarom in het midden van de overspanning een hoogte van 144 mm vereist. Zoals bekend is in het ontwerp een afschot van 2,0% (20 mm/m) aangenomen, wat resulteert in een hoogte in het midden van de overspanning van 180 mm. Er is dus een marge van 36 mm (= 180 mm – 144 mm) die gebruikt mag worden voor de doorbuiging van de constructie om nog te voldoen aan de ondergrens van het dakafschot.

Voorwaarde:

$$u \leq u_{max}$$

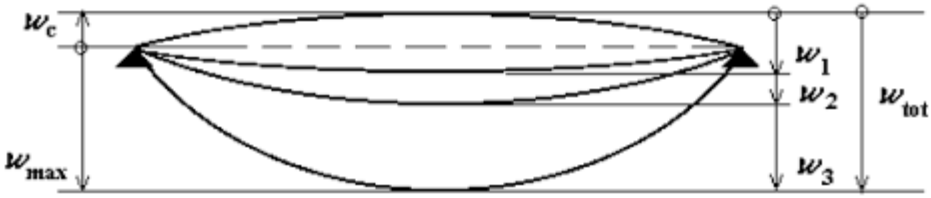
Waarin:

u doorbuiging van de gekozen ligger;

u_{max} (ook wel u_{eind} genoemd) maximale toegestane doorbuiging van de ligger.

$$u_{max} \leq 0{,}004 \cdot l_{rep} \leq 0{,}004 \cdot 18000 \leq 72\ mm$$

De limiet voor de doorbuiging van de ligger is echter 72 mm, dat is 36 mm meer dan de marge. Dat betekent dat er minimaal een extra hoogte van 36 mm moet worden aangebracht in de vorm van een zeeg bij maximale doorbuiging. De verschillende doorbuigingen zijn te zien in onderstaande figuur 72.



Figuur 72: Verklaring doorbuigingen volgens NEN-EN 1990:

w_c	*zeeg van onbelaste elementen;*
w_1	*aanvangsdeel van de doorbuiging onder de blijvende belastingen;*
w_2	*langetermijndeel van de doorbuigingen onder de blijvende belastingen;*
w_3	*bijkomende deel van de doorbuigingen voor de veranderlijke belastingen;*
w_{tot}	*totale doorbuiging ($w_{tot} = w_1 + w_2 + w_3$);*
w_{max}	*blijvende totale doorbuiging, rekening houdend met de zeeg.*

Uit het rekenmodel in Diamonds BuildSoft blijkt dat de omhullende doorbuiging van de plaatligger wordt bepaald door combinatie BGT ZC 2, waarin de belastinggevallen voor het eigengewicht van de raatligger, de permanente belasting van de dakbedekking (bitumen, isolatie, dakplaat, etc.) en de sneeuwbelasting als veranderlijke belasting zijn verwerkt. Om definitief een zeeghoogte vast te kunnen stellen worden voor permanente belastingen de doorbuiging bepaald en de doorbuiging voor permanente en variabele belastingen. Om deze doorbuigingen te kunnen bepalen moeten eerst de permanente belastingen worden bepaald:

Dakbedekking	0,36 kN/m · 6,25 m	2,24 kN/m
IPE 550		1,06 kN/m +
Totaal		3,30 kN/m

Doorbuiging van de ligger bij permanente belastingen:

$$u_1 = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

Waarin:

q_{Ed} gelijkmatig verdeelde belasting met inbegrip van de veiligheidsfactoren; [3,30 kN/m]

l lengte van de overspanning; [18,00 m]

E rekenwaarde van de elasticiteitsmodulus; [$2{,}1 \cdot 10^5$ N/mm^2]

I traagheidsmoment van de doorsnede; [$67116 \cdot 10^4$ mm^4]

Invullen geeft:

$$u_1 = \frac{5 \cdot 3{,}30 \cdot 18000^4}{384 \cdot 210000 \cdot 671160000} = 31{,}96\ mm \leq 72\ mm$$

Primaire doorbuiging van de ligger ten gevolge van permanente en veranderlijke belastingen:

$$u_{tot} = \frac{5 \cdot q_{Ed} \cdot l^4}{384 \cdot E \cdot I}$$

Waarin:

q_{Ed} gelijkmatig verdeelde belasting met inbegrip van de veiligheidsfactoren; [6,91 kN/m *]

l lengte van de overspanning; [18,00 m]

E rekenwaarde van de elasticiteitsmodulus; [2,1·10^5 N/mm^2]

I traagheidsmoment van de doorsnede; [67116·10^4 mm^4]

* Er wordt hier teruggerekend van het buigend moment in de BGT (279,9 kNm) naar een q-last middels de formule van het buigend moment bij een ligger op twee steunpunten ($M = 1/8 \cdot q \cdot l^2$). De q-last komt hierdoor uit op 6,91 kN/m.

Invullen geeft:

$$u_{tot} = \frac{5 \cdot 6{,}91 \cdot 18000^4}{384 \cdot 210000 \cdot 671160000} = 67{,}02\ mm \leq 72\ mm$$

IPE 550 voldoet aan de maximale doorbuigingseis. In Diamonds BuildSoft komt de doorbuiging uit op 68,4 mm en voldoet ook daar aan de maximale doorbuigingseis. De bijkomende doorbuiging is dus:

$$u_{bij} = u_{tot} - u_1 = 67{,}02 - 31{,}96 = 35{,}06\ mm.$$

De minimale benodigde zeeg om aan de eis voor de totale doorbuiging te voldoen is:

$$u_{ze} = u_{tot} - u_{bij} = 67{,}02 - 35{,}06 = 31{,}96\ mm \cong 32\ mm$$

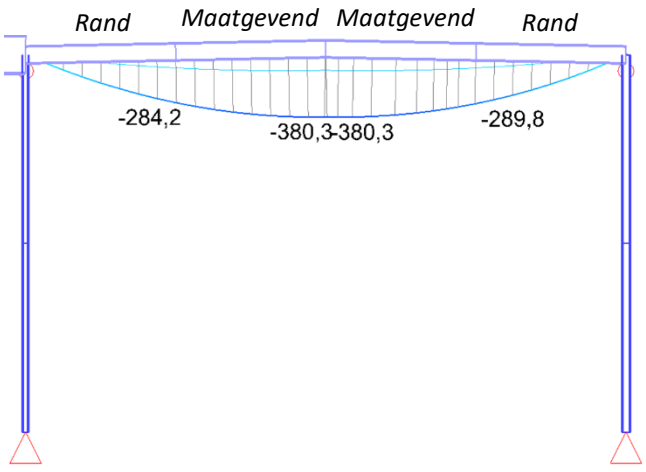
Wat hier nog niet is meegenomen is de doorbuiging van de dakplaat:

$$u_{max} \leq 0{,}004 \cdot l_{rep} \leq 0{,}004 \cdot 6250 \leq 25\ mm$$

In totaal moet de zeeg dus een hoogte hebben van $32 + 25 = 57\ mm$, maar voor de eenvoud en de veiligheid wordt gekozen voor een zeeghoogte van 60 mm.

N.1.4 Toetsing kipstabiliteit

Voor de toetsing van de kipstabiliteit worden waarden gebruikt van diverse buigende momenten. In onderstaande figuur 73 zijn de benaming per liggerdeel terug te vinden met de bijbehorende buigende momenten.



Figuur 73: Benaming per veld en bijbehorende maatgevende buigende momenten bij sneeuwval. Deze gegevens worden gebruikt in de berekening van de kiptoetsing. Het schema komt uit Diamonds BuildSoft.

Maatgevende velden

Bij een ligger met een type A of B kipsteunen aan beide uiteinden is L_{kip} gelijk aan L_{st}. De raatligger wordt gesteund met type A kipsteunen t.p.v. de verticale steunpunten en type C kipsteunen langs de overspanning. In eerste instantie wordt aangenomen dat er vijf kipsteunen worden aangebracht. Dat betekent dat $L_{st} = 2250\ mm$ voor de maatgevende liggerdelen in het midden van de overspanning.

Voorwaarde:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{\beta;Rd}} \leq 1{,}0$$

Type C kipsteunen: $L_{kip} = (1{,}4 - 0{,}8 \cdot \beta) \cdot L_{st}$ onder de voorwaarde dat $1{,}0L_{st} \leq L_{kip} \leq 1{,}4L_{st}$.

$$\beta = \frac{M_{Ed1}}{M_{Ed2}} = \frac{289{,}8}{380{,}3} = 0{,}76$$

Dus:

$$L_{kip} = (1{,}4 - 0{,}8 \cdot 0{,}76) \cdot 2250 = 1778{,}35\ mm$$

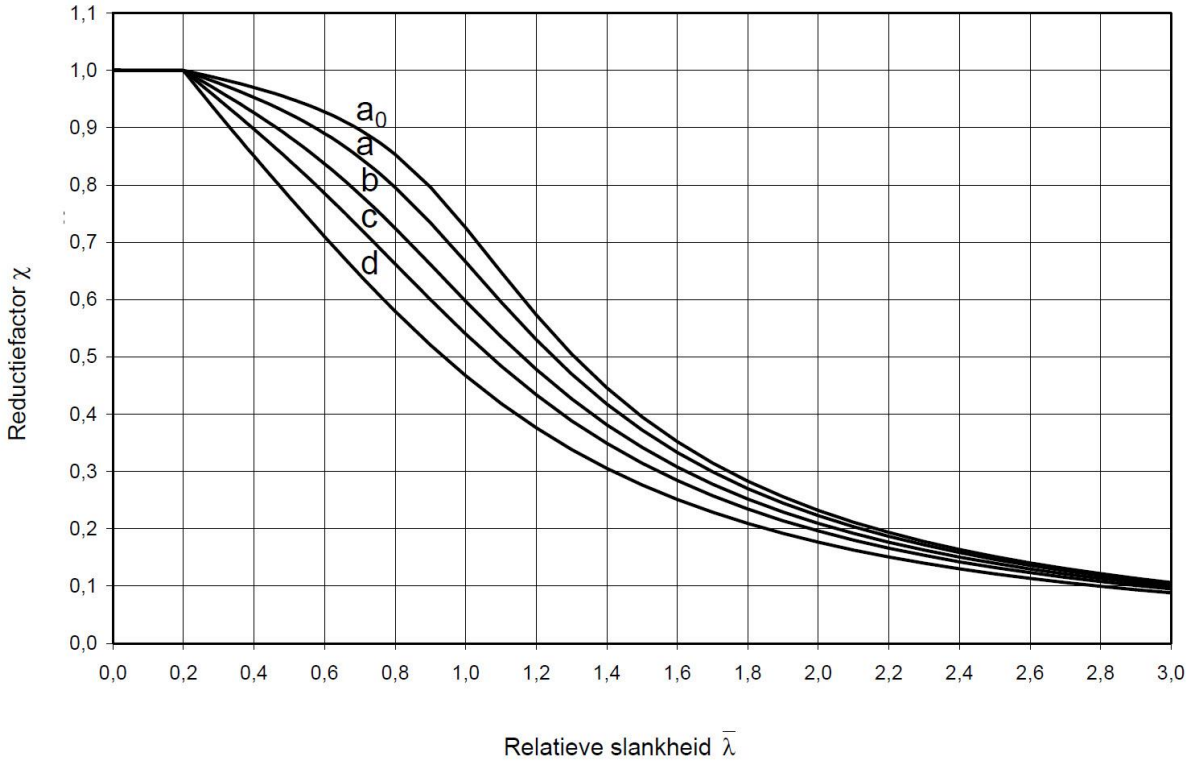
$$1{,}0 \cdot 2250\ mm \leq L_{kip} \leq 1{,}4 \cdot 2250\ mm, \text{ dus } L_{kip} = 2250\ mm$$

$$\overline{\lambda_{LT}} = \lambda_{rel} = \xi \cdot \sqrt{\frac{l_{kip} \cdot h \cdot f_{yd}}{b \cdot t_f \cdot E}} = 1{,}32 \cdot \sqrt{\frac{2250 \cdot 550 \cdot 235}{210 \cdot 17{,}2 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5}} = 0{,}82$$

Om te bepalen welke knikkromme moet worden gebruikt voor het bepalen van de kipstabiliteit wordt de ratio h/b bepaald. De ratio h/b van de IPE 550 is $550/210 = 2{,}62$. Dit betekent volgens onderstaande tabel dat de χ_{LT} van een warmgewalst profiel wordt bepaald aan de hand van curve c.

Sectie	**Ratio h/b**	**Geldige kromme**
Warmgewalst	h/b ≤ 2 h/b > 2	Curve b Curve c
Gelast	h/b ≤ 2 h/b > 2	Curve c Curve d

Door in onderstaande figuur 74 curve d af te lezen wordt $\chi_{LT} \cong 0{,}66$ gevonden.



Figuur 74: Knikkrommen (NEN-EN 1993-1-1+C2+A12106).

De rekenwaarde van de kipweerstand van een zijdelings ongesteunde ligger behoort als volgt te zijn bepaald:

$$M_{\beta;Rd} = \chi_{LT} \cdot \left(W_{pl,y} \cdot \frac{f_{yd}}{\gamma_{M0}} \right) = 0{,}66 \cdot \left(2787{,}73 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1{,}0} \right) = 432{,}38\ kNm$$

De toets is dan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{\beta;Rd}} = \frac{380{,}3}{432{,}38} = 0{,}88 \leq 1{,}0$$

Met deze configuratie voor de kipsteunen wordt voldaan aan de eis.

Randliggerdelen

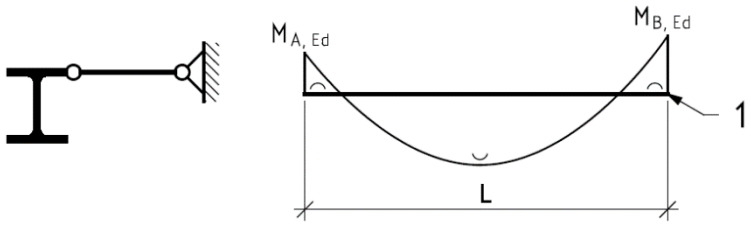
De maatgevende liggerdelen voldoen al met een minimaal aantal kipsteunen. Om dit al het minimale aantal is, zijn er voor de randliggerdelen geen optimalisaties mogelijk.

Kipsteunconfiguratie

Bij plaatsing van een enkele kipsteun in het midden van de overspanning moet de kipsteun aan de bovenflens worden aangebracht, indien:

$$\left| M_{A,Ed} + M_{B,Ed} \right| = |167{,}1 + 280{,}3| = 447{,}4 < 0{,}2 \cdot 6{,}65 \cdot 2{,}25^2 = 6{,}73$$

$$447{,}4 < 6{,}73$$

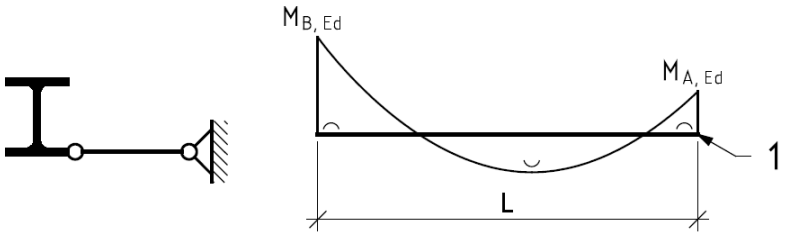


Figuur 75: Plaatsing kipsteun aan bovenflens (NEN-EN 1993-1-1+C2+A1 NB).

De kipsteun moet ter plaatse van de onderflens worden aangebracht, indien:

$$\left|M_{A,Ed} + M_{B,Ed}\right| = |167{,}1 + 280{,}3| = 447{,}4 \geq 0{,}2 \cdot 6{,}65 \cdot 2{,}25^2 = 6{,}73$$

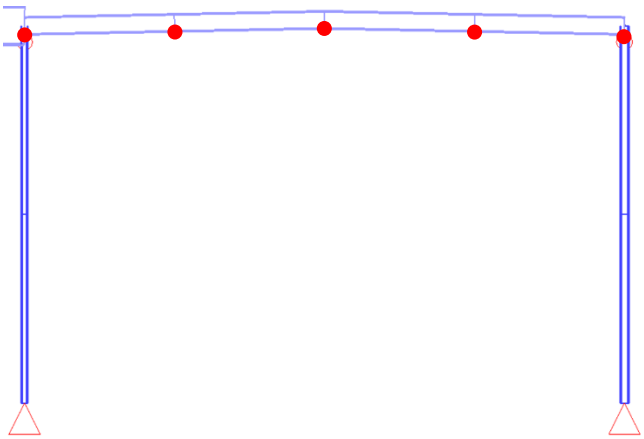
$$447{,}4 \geq 6{,}73$$



Figuur 76: Plaatsing kipsteun aan onderflens (NEN-EN 1993-1-1+C2+A1 NB).

Dit komt omdat bij de kritieke (Euler)kipvorm de onderflens dan meer verplaatst dan de bovenflens. Dat betekent dat de kipsteunen ter plaatse van de onderflens moeten worden aangebracht.

In totaal zijn dus vijf kipsteunen nodig, waarvan drie steunen van type C en twee steunen van type A ter plaatse van de verbindingen met de kolommen, zoals te zien in onderstaande figuur 77.



Figuur 77: Resultaat van de kipberekeningen. De rode stippen geven de plaatsen aan waar kipsteunen worden aangebracht.

Bijlage O: Kolommen

O.1 Kolom A (linker buitenkolom)

O.1.1 Doorsnedeclassificatie HEA 280 (kolom A)

Voor S235 bedraagt de factor ε:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1{,}0$$

Bij uniforme druk wordt de uitkragende flens op druk belast, zodat voor de grenswaarde van de doorsnedeklassen geldt: $9\varepsilon = 9$ voor klasse 1, $10\varepsilon = 10$ voor klasse 2 en $14\varepsilon = 14$ voor klasse 3. De breedte van de flens van een HEA 280 wordt gemeten vanaf de afrondingsstraal tot de flenstip: $c_f = 0{,}5(b - t_w - 2r) = 0{,}5(280 - 8 - 2 \cdot 24) = 112\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van de flens is dan: $c/t = c_f/t_f = 112/13 = 8{,}62 \leq 9$. De flens is dus van klasse 1.

Wanneer de doorsnede wordt belast op buiging om de sterke as worden de (bovenste) flenzen op druk en het lijf op buiging belast. Dat betekent dat in het lijf naast drukspanningen ook trekspanningen aanwezig zijn, zodat het lijf minder gevoelig is voor lokaal plooien. De op druk belaste flenzen vallen in doorsnedeklasse 1, zoals in de berekening hiervoor is te zien. Voor het op buiging belaste lijf geldt voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen: $72\varepsilon = 72$ voor klasse 1, $83\varepsilon = 83$ voor klasse 2 en $124\varepsilon = 124$ voor klasse 3. De hoogte van het lijf wordt gemeten tussen de afrondingsstalen: $c_w = h - 2t_f - 2r = 270 - 2 \cdot 13 - 2 \cdot 24 = 196\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van het lijf is dan: $c/t = c_w/t_w = 196/8 = 24{,}5 \leq 72$. Het lijf is dus van klasse 1. Het profiel HEA 280 in de staalsoort S235 belast op buiging om de sterke as is van klasse 1.

O.1.2 Controle weerstand/sterkte doorsnede

Toetsing buigend moment

De rekenwaarde van het buigend moment M_{Ed} voor buitenkolom A bedraagt 147,5 kNm. Dit is het resultaat van de belastingen in de UGT. De rekenwaarde van het buigend moment in elke dwarsdoorsnede moet voldoen aan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin $M_{c,Rd}$ is bepaald rekening houdend met de gaten voor bevestigingsmiddelen.

Omdat de doorsnede van klasse 1 is, mag zowel de elastische als de plastische momentweerstand worden gebruikt. Voor de toetsing wordt de plastische methode toegepast. De rekenweerstand voor buiging om een hoofdas van een dwarsdoorsnede is als volgt bepaald:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1110 \cdot 10^3 \cdot 235}{1{,}0} = 260{,}85\ kNm$$

De toets is dan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{147{,}5}{260{,}85} = 0{,}57 \leq 1{,}0$$

HEA 280 voldoet aan de voorwaarde voor momentweerstand. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met $W_{pl,y} = 1112317\ mm^3$. Door dit kleine verschil in het plastische weerstandsmoment komt de eenheidscontrole uit op 56%.

Toetsing dwarskracht (afschuiving)

De rekenwaarde van de dwarskracht V_{Ed} voor buitenkolom A bedraagt 52,3 kNm. Dit is het resultaat van de windbelastingen in de UGT. De rekenwaarde van de dwarskracht V_{Ed} in elke dwarsdoorsnede moet voldoen aan:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin $V_{c,Rd}$ de rekenwaarde is van de weerstand tegen dwarskracht. Bij afwezigheid van torsie is de rekenwaarde van plastische weerstand tegen dwarskracht gegeven door:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(f_y/\sqrt{3}\right)}{\gamma_{M0}}$$

Waarin:

A_v is de oppervlakte van het werkzame afschuifoppervlak; [3178 mm^2]

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de doorsnede; [9730 mm^2]

b is de totale breedte; [280 mm]

t_f is de flensdikte; [13 mm]

t_w is de lijfdikte; [8 mm]

r is de afrondingstraal; [24 mm]

Invullen geeft:

$$A_v = 9730 - 2 \cdot 280 \cdot 13 + (8 + 2 \cdot 24) \cdot 13 = 3178\ mm^2$$

Invullen geeft:

$$V_{pl,Rd} = \frac{3178 \cdot \left(235/\sqrt{3}\right)}{1{,}0} = 431{,}18\ kN$$

De toets is dan:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{52{,}3}{431{,}18} = 0{,}12 \leq 1{,}0$$

HEA 280 voldoet aan de voorwaarde voor dwarskracht. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met A_{vz} van 3175,3 mm^2. Ondanks dit kleine verschil komt de eenheidscontrole eveneens uit op 12%.

Toetsing normaalkracht (axiale druk)

De rekenwaarde van de normaalkracht N_{Ed} voor buitenkolom A bedraagt 202,7 kNm. Dit is het resultaat van de belastingen in de UGT. De rekenwaarde van de drukkracht N_{Ed} in elke dwarsdoorsnede moet voldoen aan:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde van de weerstand van de doorsnede onder gelijkmatige druk $N_{c,Rd}$ behoort als volgt te zijn bepaald:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9730 \cdot 235}{1{,}0} = 2286{,}55\ kN$$

De toets is dan:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{202{,}7}{2286{,}55} = 0{,}09 \leq 1{,}0$$

HEA 280 voldoet aan de voorwaarde voor axiale druk. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 9727,3 mm^2. Ondanks dit kleine verschil komt de eenheidscontrole eveneens uit op 9%.

Toetsing combinatie buigend moment en axiale druk

Voor dubbel-symmetrische I- en H-profielen of andere profielen met flenzen hoeft het effect van de normaalkracht op het vloeimoment om de y-y-as niet in rekening te zijn gebracht wanneer aan beide volgende voorwaarden is voldaan:

$$N_{Ed} \leq 0{,}25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Invullen geeft:

$$N_{Ed} = 162{,}1 \leq 0{,}25 \cdot N_{pl,Rd} = 0{,}25 \cdot 2286{,}55 = 571{,}64$$

$$N_{Ed} = 162{,}1 \leq \frac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}5 \cdot 196 \cdot 8 \cdot 235}{1{,}0} = 184{,}24$$

Aan beide voorwaarden is voldaan, dus geen extra controle vereist.

Toetsing combinatie axiale druk en dwarskracht (afschuiving)

Voor dubbel-symmetrische I- en H-profielen of andere profielen met flenzen hoeft het effect van de normaalkracht op het vloeimoment om de y-y-as niet in rekening te zijn gebracht wanneer aan beide volgende voorwaarden is voldaan:

$$N_{Ed} \leq 0{,}25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Invullen geeft:

$$N_{Ed} = 176{,}6 \leq 0{,}25 \cdot N_{pl,Rd} = 0{,}25 \cdot 2286{,}55 = 571{,}64$$

$$N_{Ed} = 176{,}6 \leq \frac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}5 \cdot 196 \cdot 8 \cdot 235}{1{,}0} = 184{,}24$$

Verder moet voor dwarskracht aan de volgende voorwaarde zijn voldaan:

$$V_{Ed} \leq 0{,}5 \cdot V_{pl,Rd}$$

Invullen geeft:

$$V_{Ed} = 52{,}3 \leq 0{,}5 \cdot 431{,}18 = 215{,}59$$

Aan beide voorwaarden is voldaan, dus geen extra controle vereist.

O.1.3 Knikstabiliteit om de sterke as (y'-as)

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_y:

$$N_{b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_y is een factor die volgt uit een empirische formule:

$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$ en $\chi_y \leq 1{,}0$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

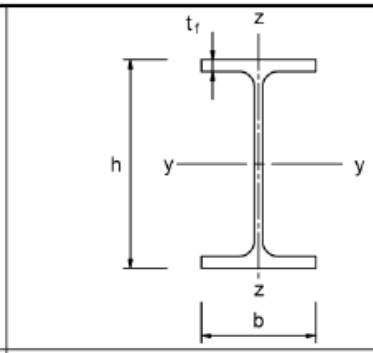
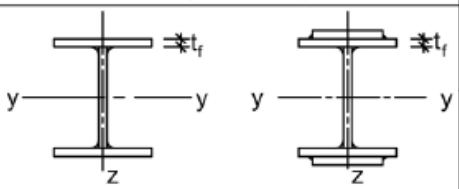
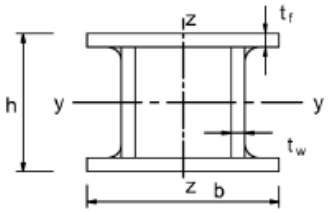
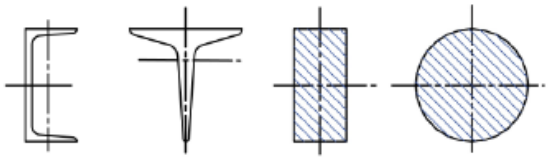
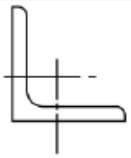
$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/235} = 93{,}91$

$$i_y = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{13670 \cdot 10^4}{9730}} = 118{,}53\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{11290}{118{,}53} \cdot \frac{1}{93{,}91} = 1{,}01$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De HEA-profielen en van staalkwaliteit S235 met $h/b = 270/280 = 0{,}96 \leq 1{,}2$ en $t_f = 13 \leq 100$, dus bij knikken om de y'-as moet curve b worden gebruikt. De te hanteren waarde voor de imperfectiefactor α wordt bepaald met de daaropvolgende tabel.

Cross section		Limits		Buckling about axis	Buckling curve: S 235 S 275 S 355 S 420	Buckling curve: S 460
Rolled sections		h/b > 1,2	$t_f \leq 40$ mm	y – y z – z	a b	a_0 a_0
			40 mm < $t_f \leq 100$	y – y z – z	b c	a a
		h/b ≤ 1,2	$t_f \leq 100$ mm	y – y z – z	b c	a a
			$t_f > 100$ mm	y – y z – z	d d	c c
Welded I-sections			$t_f \leq 40$ mm	y – y z – z	b c	b c
			$t_f > 40$ mm	y – y z – z	c d	c d
Hollow sections			hot finished	any	a	a_0
			cold formed	any	c	c
Welded box sections			generally (except as below)	any	b	b
			thick welds: a > 0,5t_f b/t_f < 30 h/t_w <30	any	c	c
U-, T- and solid sections				any	c	c
L-sections				any	b	b

Figuur 78: Profielconfiguratie en keuze stabiliteitskromme volgens Eurocode 3.

Tabel 13: Imperfectiefactoren voor verschillende curves.

	a_0	**a**	**b**	**c**	**d**
α	0,13	0,21	0,34	0,49	0,76

Er geldt: α = 0,34

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}34(1{,}01 - 0{,}2) + 1{,}01^2] = 1{,}15$$

$$\chi_y = \frac{1}{1{,}15 + \sqrt{1{,}15^2 - 1{,}01^2}} = 0{,}59 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}59 \cdot \frac{9730 \cdot 235}{1{,}0} = 1344{,}52\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{202{,}7}{1344{,}52} = 0{,}15 \leq 1{,}0$$

HEA 280 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 9727,3 mm^2. Ondanks dit kleine verschil komt de eenheidscontrole eveneens uit op 15%.

O.1.4 Knikstabiliteit om de zwakke as (z'-as)

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_z:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_z is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ en } \chi_z \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/235} = 93{,}91$

$$i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{4760 \cdot 10^4}{9730}} = 69{,}94\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5645}{69{,}94} \cdot \frac{1}{93{,}91} = 0{,}86$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De HEA-profielen en van staalkwaliteit S235 met $h/b = 270/280 = 0{,}96 \leq 1{,}2$ en $t_f = 13 \leq 100$, dus bij knikken om de z'-as moet curve c worden gebruikt (zie eerdere figuur 78 en tabel 13 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,49

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}49(0{,}86 - 0{,}2) + 0{,}86^2] = 1{,}03$$

$$\chi_z = \frac{1}{1{,}03 + \sqrt{1{,}03^2 - 0{,}86^2}} = 0{,}62 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}62 \cdot \frac{9730 \cdot 235}{1{,}0} = 1429{,}02\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{202{,}7}{1429{,}02} = 0{,}14 \leq 1{,}0$$

HEA 280 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 9727,3 mm^2. Ondanks dit kleine verschil komt de eenheidscontrole eveneens uit op 14%.

O.1.5 Toetsing kipstabiliteit

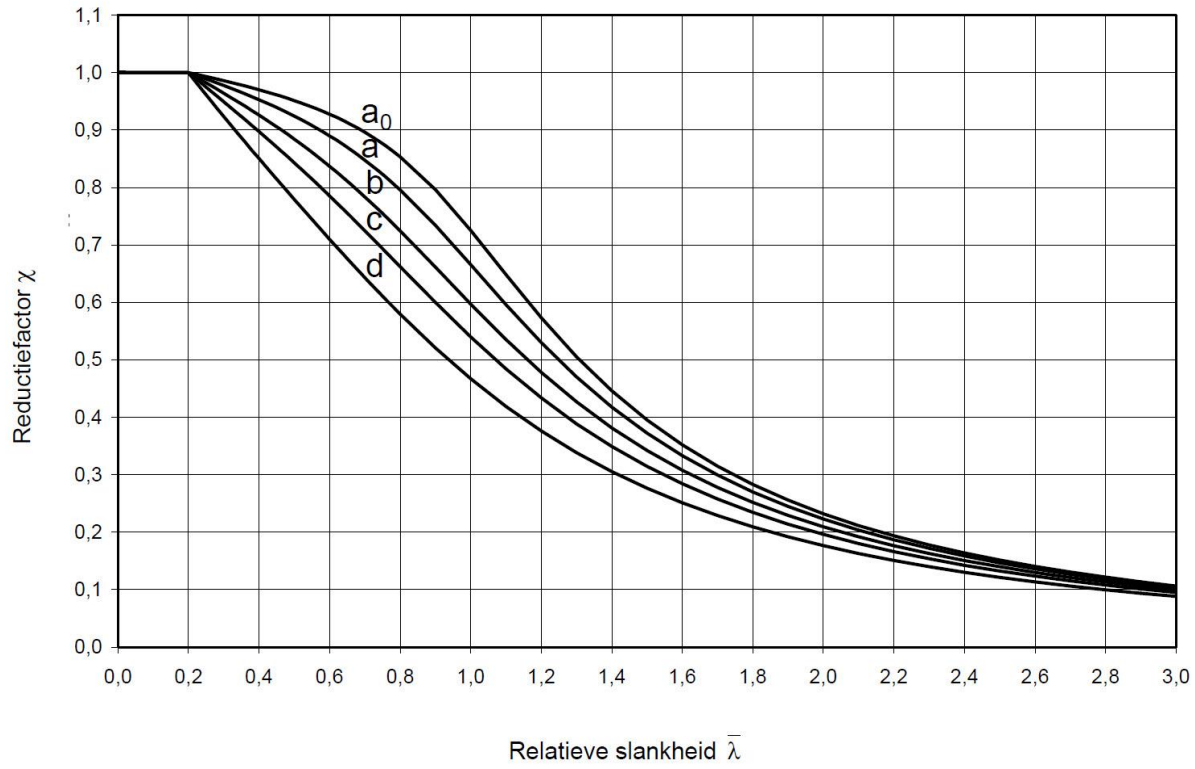
$$L_{kip} = L_{st} = 5645\ mm$$

$$\overline{\lambda_{LT}} = \lambda_{rel} = \xi \cdot \sqrt{\frac{l_{kip} \cdot h \cdot f_{yd}}{b \cdot t_f \cdot E}} = 1{,}32 \cdot \sqrt{\frac{5645 \cdot 270 \cdot 235}{280 \cdot 13 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5}} = 0{,}90$$

Om te bepalen welke knikkromme moet worden gebruikt voor het bepalen van de kipstabiliteit wordt de ratio h/b bepaald. De ratio h/b van de HEA 280 is $270/280 = 0{,}96$. Dit betekent volgens onderstaande tabel dat de χ_{LT} van een gewalst profiel wordt bepaald aan de hand van curve b.

Sectie	**Ratio h/b**	**Geldige kromme**
Warmgewalst	h/b ≤ 2	Curve b
	h/b > 2	Curve c
Gelast	h/b ≤ 2	Curve c
	h/b > 2	Curve d

Door in onderstaande figuur 79 curve b af te lezen wordt $\chi_{LT} \cong 0{,}66$ gevonden.



Figuur 79: Knikkrommen (NEN-EN 1993-1-1+C2+A1:2016).

De rekenwaarde van de kipweerstand van een zijdelings ongesteunde ligger behoort als volgt te zijn bepaald:

$$M_{\beta;Rd} = \chi_{LT} \cdot \left(W_{pl,y} \cdot \frac{f_{yd}}{\gamma_{M0}} \right) = 0{,}66 \cdot \left(1112 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1{,}0} \right) = 172{,}47\ kNm$$

De toets is dan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{\beta;Rd}} = \frac{147{,}5}{172{,}47} = 0{,}86 \leq 1{,}0$$

O.1.6 Combinatie kip- en knikstabiliteit

Staven die aan gecombineerde buiging en druk zijn onderworpen behoren te voldoen aan:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

De staaf is niet onderhevig aan buigen om de z-z-as, dus bovenstaande formules worden herschreven tot:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

Waarin:

N_{Ed} en $M_{y,Ed}$ zijn de rekenwaarden van de drukkrachten en de maximale momenten om de y-y-as en z-z-as;

χ_y en χ_z zijn de knikreductiefactoren;

χ_{LT} is de kipreductiefactor;

k_{yy} en k_{zy} zijn de interactiefactoren.

Er wordt met behulp van Diamonds BuildSoft vastgesteld dat $C_{my} = 0{,}950$, $C_{mz} = 1{,}000$ en $C_{mLT} = 0{,}950$. Tevens wordt aangenomen dat $\bar{\lambda}_{y/z} = 0{,}683$ en dat $\chi_{LT} = 0{,}884$. Factoren k_{yy} en k_{zy} worden bepaald met tabellen B.1, B.2 en B.3 uit NEN-EN 1993-1-1. HEA 280 is torsiegevoelig, want $\chi_{LT} < 1$.

Uit *Tabel B.1 – Interactiefactoren k_{ij} voor staven die niet gevoelig zijn voor vervormingen door torsie* blijkt:

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + \left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0{,}8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + \left(2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0{,}6\right) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 1{,}4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$$

Waarin:

C_{my} equivalente momentenverdelingsfactor (rekening houdend met het niet-gelijkmatig moment-verloop); [0,950]

C_{mz} equivalente momentenverdelingsfactor (rekening houdend met het niet-gelijkmatig moment-verloop); [1,000]

$\bar{\lambda}_y$ relatieve slankheid (y-y-as); [0,683]

$\bar{\lambda}_z$ relatieve slankheid (z-z-as); [0,683]

N_{Ed} is de rekenwaarde van de drukkracht; [162,1 kN]

χ_y is de knikreductiefactor (y-y-as); [0,59]

χ_z is de knikreductiefactor (z-z -as); [0,62]

N_{Rk} is de karakteristieke waarde van de weerstand tegen een normaalkracht van de kritieke dwars-doorsnede; [2286,55 kN]

$$k_{yy} = 0{,}950 \cdot \left(1 + (0{,}683 - 0{,}2) \cdot \frac{162{,}1}{0{,}59 \cdot 2286{,}55/1{,}00}\right) = 1{,}005$$
$$\leq 0{,}950 \cdot \left(1 + 0{,}8 \cdot \frac{162{,}1}{0{,}59 \cdot 2286{,}55/1{,}00}\right) = 1{,}042$$

$$k_{zz} = 1{,}000 \cdot \left(1 + (2 \cdot 0{,}683 - 0{,}6) \cdot \frac{162{,}1}{0{,}62 \cdot 2286{,}55/1{,}00}\right) = 1{,}087$$
$$\leq 1{,}000 \cdot \left(1 + 1{,}4 \cdot \frac{162{,}1}{0{,}62 \cdot 2286{,}55/1{,}00}\right) = 1{,}159$$

Waardoor:

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_{yd}}{\gamma_{M0}} = 1110 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1{,}0} = 260{,}85\ kNm$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot \frac{f_{yd}}{\gamma_{M0}} = 518 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{\gamma_{M0}} = 121{,}73\ kNm$$

Uit *Tabel B.1 — Interactiefactoren k_{ij} voor staven die niet gevoelig zijn voor vervormingen door torsie* blijkt:

$$k_{zy} = 1 - \frac{0{,}1 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot N_{Ed}}{(C_{mLT} - 0{,}25) \cdot \chi_z \cdot N_{Rk}} = 1 - \frac{0{,}1 \cdot 0{,}683 \cdot 162{,}1}{(0{,}950 - 0{,}25) \cdot 0{,}62 \cdot 2286{,}55} = 0{,}989$$

$$k_{yz} = 0{,}6 \cdot k_{zz} = 0{,}6 \cdot 1{,}159 = 0{,}695$$

Invullen geeft:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{162{,}1}{\frac{0{,}59 \cdot 2286{,}55}{1{,}00}} + 1{,}042 \cdot \frac{147{,}5}{0{,}884 \cdot \frac{260{,}85}{1{,}00}} = 0{,}79 \leq 1{,}0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{162{,}1}{\frac{0{,}62 \cdot 2286{,}55}{1{,}00}} + 0{,}989 \cdot \frac{147{,}5}{0{,}884 \cdot \frac{260{,}85}{1{,}00}} = 0{,}75 \leq 1{,}0$$

In Diamonds BuildSoft wordt onderscheidt gemaakt tussen knikken om de y-y-as in combinatie met buiging [1] en knikken om de z-z-as in combinatie met buiging [2]. Voor het knikken en het buigen om de y-y-as geldt eveneens een eenheidscontrole van 79 en voor knikken en buigen om de z-z-as geldt een eenheidscontrole van 74%, omdat met een weerstandsmoment van $1112 \cdot 10^3$ mm^3 wordt gerekend. In beide gevallen voldoet de kolom in HEA 280 van staalsoort S235.

O.2 Kolom B (rechter buitenkolom)

O.2.1 Doorsnedeclassificatie HEA 280 (kolom B)

Voor S235 bedraagt de factor ε:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1{,}0$$

Bij uniforme druk wordt de uitkragende flens op druk belast, zodat voor de grenswaarde van de doorsnedeklassen geldt: $9\varepsilon = 9$ voor klasse 1, $10\varepsilon = 10$ voor klasse 2 en $14\varepsilon = 14$ voor klasse 3. De breedte van de flens van een HEA 280 wordt gemeten vanaf de afrondingsstraal tot de flenstip: $c_f = 0{,}5(b - t_w - 2r) = 0{,}5(280 - 8 - 2 \cdot 24) = 112\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van de flens is dan: $c/t = c_f/t_f = 112/13 = 8{,}62 \leq 9$. De flens is dus van klasse 1.

Wanneer de doorsnede wordt belast op buiging om de sterke as worden de (bovenste) flenzen op druk en het lijf op buiging belast. Dat betekent dat in het lijf naast drukspanningen ook trekspanningen aanwezig zijn, zodat het lijf minder gevoelig is voor lokaal plooien. De op druk belaste flenzen vallen in doorsnedeklasse 1, zoals in de berekening hiervoor is te zien. Voor het op buiging belaste lijf geldt voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen: $72\varepsilon = 72$ voor klasse 1, $83\varepsilon = 83$ voor klasse 2 en $124\varepsilon = 124$ voor klasse 3. De hoogte van het lijf wordt gemeten tussen de afrondingsstalen: $c_w = h - 2t_f - 2r = 270 - 2 \cdot 13 - 2 \cdot 24 = 196\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van het lijf is dan: $c/t = c_w/t_w = 196/8 = 24{,}5 \leq 72$. Het lijf is dus van klasse 1. Het profiel HEA 280 in de staalsoort S235 belast op buiging om de sterke as is van klasse 1.

Controle weerstand/sterkte doorsnede

Toetsing buigend moment

De rekenwaarde van het buigend moment M_{Ed} voor buitenkolom B bedraagt 147,5 kNm. Dit is het resultaat van de belastingen in de UGT. De rekenwaarde van het buigend moment in elke dwarsdoorsnede moet voldoen aan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin $M_{c,Rd}$ is bepaald rekening houdend met de gaten voor bevestigingsmiddelen.

Omdat de doorsnede van klasse 1 is, mag zowel de elastische als de plastische momentweerstand worden gebruikt. Voor de toetsing wordt de plastische methode toegepast. De rekenweerstand voor buiging om een hoofdas van een dwarsdoorsnede is als volgt bepaald:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1110 \cdot 10^3 \cdot 235}{1{,}0} = 260{,}85\ kNm$$

De toets is dan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{147{,}5}{260{,}85} = 0{,}57 \leq 1{,}0$$

HEA 280 voldoet aan de voorwaarde voor momentweerstand. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met $W_{pl,y} = 1112317\ mm^3$. Door dit kleine verschil in het plastische weerstandsmoment komt de eenheidscontrole uit op 56%.

Toetsing dwarskracht (afschuiving)

De rekenwaarde van de dwarskracht V_{Ed} voor buitenkolom B bedraagt 52,3 kNm. Dit is het resultaat van de windbelastingen in de UGT. De rekenwaarde van de dwarskracht V_{Ed} in elke dwarsdoorsnede moet voldoen aan:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin $V_{c,Rd}$ de rekenwaarde is van de weerstand tegen dwarskracht. Bij afwezigheid van torsie is de rekenwaarde van plastische weerstand tegen dwarskracht gegeven door:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(f_y/\sqrt{3}\right)}{\gamma_{M0}}$$

Waarin:

A_v is de oppervlakte van het werkzame afschuifoppervlak; [3178 mm^2]

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de doorsnede; [9730 mm^2]

b is de totale breedte; [280 mm]

t_f is de flensdikte; [13 mm]

t_w is de lijfdikte; [8 mm]

r is de afrondingstraal; [24 mm]

Invullen geeft:

$$A_v = 9730 - 2 \cdot 280 \cdot 13 + (8 + 2 \cdot 24) \cdot 13 = 3178\ mm^2$$

Invullen geeft:

$$V_{pl,Rd} = \frac{3178 \cdot \left(235/\sqrt{3}\right)}{1{,}0} = 431{,}18\ kN$$

De toets is dan:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{52{,}3}{431{,}18} = 0{,}12 \leq 1{,}0$$

HEA 280 voldoet aan de voorwaarde voor dwarskracht. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met A_{vz} van 3175,3 mm^2. Ondanks dit kleine verschil komt de eenheidscontrole eveneens uit op 12%.

Toetsing normaalkracht (axiale druk)

De rekenwaarde van de normaalkracht N_{Ed} voor buitenkolom B bedraagt 126,5 kNm. Dit is het resultaat van de belastingen in de UGT. De rekenwaarde van de drukkracht N_{Ed} in elke dwarsdoorsnede moet voldoen aan:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde van de weerstand van de doorsnede onder gelijkmatige druk $N_{c,Rd}$ behoort als volgt te zijn bepaald:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9730 \cdot 235}{1{,}0} = 2286{,}55\ kN$$

De toets is dan:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{126{,}5}{2286{,}55} = 0{,}06 \leq 1{,}0$$

HEA 280 voldoet aan de voorwaarde voor axiale druk. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 9727,3 mm^2. Ondanks dit kleine verschil komt de eenheidscontrole eveneens uit op 6%.

Toetsing combinatie buigend moment en axiale druk

Voor dubbel-symmetrische I- en H-profielen of andere profielen met flenzen hoeft het effect van de normaalkracht op het vloeimoment om de y-y-as niet in rekening te zijn gebracht wanneer aan beide volgende voorwaarden is voldaan:

$$N_{Ed} \leq 0{,}25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Invullen geeft:

$$N_{Ed} = 95{,}3 \leq 0{,}25 \cdot N_{pl,Rd} = 0{,}25 \cdot 2286{,}55 = 571{,}64$$

$$N_{Ed} = 95{,}3 \leq \frac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}5 \cdot 196 \cdot 8 \cdot 235}{1{,}0} = 184{,}24$$

Aan beide voorwaarden is voldaan, dus geen extra controle vereist.

Toetsing combinatie axiale druk en dwarskracht (afschuiving)

Voor dubbel-symmetrische I- en H-profielen of andere profielen met flenzen hoeft het effect van de normaalkracht op het vloeimoment om de y-y-as niet in rekening te zijn gebracht wanneer aan beide volgende voorwaarden is voldaan:

$$N_{Ed} \leq 0{,}25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Invullen geeft:

$$N_{Ed} = 109{,}8 \leq 0{,}25 \cdot N_{pl,Rd} = 0{,}25 \cdot 2286{,}55 = 571{,}64$$

$$N_{Ed} = 109{,}8 \leq \frac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}5 \cdot 196 \cdot 8 \cdot 235}{1{,}0} = 184{,}24$$

Verder moet voor dwarskracht aan de volgende voorwaarde zijn voldaan:

$$V_{Ed} \leq 0{,}5 \cdot V_{pl,Rd}$$

Invullen geeft:

$$V_{Ed} = 52{,}3 \leq 0{,}5 \cdot 431{,}18 = 215{,}59$$

Aan beide voorwaarden is voldaan, dus geen extra controle vereist.

O.2.2 Knikstabiliteit om de sterke as (y'-as)

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_y:

$$N_{b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_y is een factor die volgt uit een empirische formule:

$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}}$ en $\chi_y \leq 1{,}0$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5 / 235} = 93{,}91$

$$i_y = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{13670 \cdot 10^4}{9730}} = 118{,}53\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{11290}{118{,}53} \cdot \frac{1}{93{,}91} = 1{,}01$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De HEA-profielen en van staalkwaliteit S235 met $h/b = 270/280 = 0{,}96 \leq 1{,}2$ en $t_f = 13 \leq 100$, dus bij knikken om de y'-as moet curve b worden gebruikt (zie eerdere figuur 78 en tabel 13 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,34

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}34(1{,}01 - 0{,}2) + 1{,}01^2] = 1{,}15$$

$$\chi_y = \frac{1}{1{,}15 + \sqrt{1{,}15^2 - 1{,}01^2}} = 0{,}59 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}59 \cdot \frac{9730 \cdot 235}{1{,}0} = 1344{,}52\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{126{,}5}{1344{,}52} = 0{,}09 \leq 1{,}0$$

HEA 280 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 9727,3 mm^2. Ondanks dit kleine verschil komt de eenheidscontrole eveneens uit op 9%.

O.2.3 Knikstabiliteit om de zwakke as (z'-as)

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_z:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_z is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ en } \chi_z \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/235} = 93{,}91$

$$i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{4760 \cdot 10^4}{9730}} = 69{,}94\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5645}{69{,}94} \cdot \frac{1}{93{,}91} = 0{,}86$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De HEA-profielen en van staalkwaliteit S235 met $h/b = 270/280 = 0{,}96 \leq 1{,}2$ en $t_f = 13 \leq 100$, dus bij knikken om de z'-as moet curve c worden gebruikt (zie eerdere figuur 78 en tabel 13 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,49

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}49(0{,}86 - 0{,}2) + 0{,}86^2] = 1{,}03$$

$$\chi_z = \frac{1}{1{,}03 + \sqrt{1{,}03^2 - 0{,}86^2}} = 0{,}62 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}62 \cdot \frac{9730 \cdot 235}{1{,}0} = 1429{,}02\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{126{,}5}{1429{,}02} = 0{,}09 \leq 1{,}0$$

HEA 280 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 9727,3 mm^2. Ondanks dit kleine verschil komt de eenheidscontrole eveneens uit op 9%.

O.2.4 Toetsing kipstabiliteit

$$L_{kip} = L_{st} = 5645\ mm$$

$$\overline{\lambda_{LT}} = \lambda_{rel} = \xi \cdot \sqrt{\frac{l_{kip} \cdot h \cdot f_{yd}}{b \cdot t_f \cdot E}} = 1{,}32 \cdot \sqrt{\frac{5645 \cdot 270 \cdot 235}{280 \cdot 13 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5}} = 0{,}90$$

Om te bepalen welke knikkromme moet worden gebruikt voor het bepalen van de kipstabiliteit wordt de ratio h/b bepaald. De ratio h/b van de HEA 280 is $270/280 = 0{,}96$. Dit betekent volgens onderstaande tabel dat de χ_{LT} van een gewalst profiel wordt bepaald aan de hand van curve b.

Sectie	Ratio h/b	Geldige kromme
Warmgewalst	h/b ≤ 2	Curve b
	h/b > 2	Curve c
Gelast	h/b ≤ 2	Curve c
	h/b > 2	Curve d

Door in bovenstaande figuur 79 curve b af te lezen wordt $\chi_{LT} \cong 0{,}66$ gevonden.

De rekenwaarde van de kipweerstand van een zijdelings ongesteunde ligger behoort als volgt te zijn bepaald:

$$M_{\beta;Rd} = \chi_{LT} \cdot \left(W_{pl,y} \cdot \frac{f_{yd}}{\gamma_{M0}}\right) = 0{,}66 \cdot \left(1112 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1{,}0}\right) = 172{,}47\ kNm$$

De toets is dan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{\beta;Rd}} = \frac{147{,}5}{172{,}47} = 0{,}86 \leq 1{,}0$$

O.2.5 Combinatie kip- en knikstabiliteit

Staven die aan gecombineerde buiging en druk zijn onderworpen behoren te voldoen aan:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

De staaf is niet onderhevig aan buigen om de z-z-as, dus bovenstaande formules worden herschreven tot:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

Waarin:

N_{Ed} en $M_{y,Ed}$ zijn de rekenwaarden van de drukkrachten en de maximale momenten om de y-y-as en z-z-as;

χ_y en χ_z zijn de knikreductiefactoren;

χ_{LT} is de kipreductiefactor;

k_{yy} en k_{zy} zijn de interactiefactoren.

Er wordt met behulp van Diamonds BuildSoft vastgesteld dat $C_{my} = 0{,}950$, $C_{mz} = 1{,}000$ en $C_{mLT} = 0{,}950$. Tevens wordt aangenomen dat $\bar{\lambda}_{y/z} = 0{,}683$ en dat $\chi_{LT} = 0{,}884$. Factoren k_{yy} en k_{zy} worden bepaald met tabellen B.1, B.2 en B.3 uit NEN-EN 1993-1-1. HEA 280 is torsiegevoelig, want $\chi_{LT} < 1$.

Uit *Tabel B.1 – Interactiefactoren k_{ij} voor staven die niet gevoelig zijn voor vervormingen door torsie* blijkt:

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + \left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0{,}8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + \left(2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0{,}6\right) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 1{,}4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$$

Waarin:

C_{my} equivalente momentenverdelingsfactor (rekening houdend met het niet-gelijkmatig momentverloop); [0,950]

C_{mz} equivalente momentenverdelingsfactor (rekening houdend met het niet-gelijkmatig momentverloop); [1,000]

$\bar{\lambda}_y$ relatieve slankheid (y-y-as); [0,683]

$\bar{\lambda}_z$ relatieve slankheid (z-z-as); [0,683]

N_{Ed} is de rekenwaarde van de drukkracht; [95,3 kN]

χ_y is de knikreductiefactor (y-y-as); [0,59]

χ_z is de knikreductiefactor (z-z-as); [0,62]

N_{Rk} is de karakteristieke waarde van de weerstand tegen een normaalkracht van de kritieke dwarsdoorsnede; [2286,55 kN]

$$k_{yy} = 0{,}950 \cdot \left(1 + (0{,}683 - 0{,}2) \cdot \frac{95{,}3}{0{,}59 \cdot 2286{,}55/1{,}00}\right) = 0{,}983$$

$$\leq 0{,}950 \cdot \left(1 + 0{,}8 \cdot \frac{95{,}3}{0{,}59 \cdot 2286{,}55/1{,}00}\right) = 1{,}004$$

$$k_{zz} = 1{,}000 \cdot \left(1 + (2 \cdot 0{,}683 - 0{,}6) \cdot \frac{95{,}3}{0{,}62 \cdot 2286{,}55/1{,}00}\right) = 1{,}051$$
$$\leq 1{,}000 \cdot \left(1 + 1{,}4 \cdot \frac{95{,}3}{0{,}62 \cdot 2286{,}55/1{,}00}\right) = 1{,}093$$

Waardoor:

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_{yd}}{\gamma_{M0}} = 1110 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1{,}0} = 260{,}85\ kNm$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot \frac{f_{yd}}{\gamma_{M0}} = 518 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{\gamma_{M0}} = 121{,}73\ kNm$$

Uit *Tabel B.1 — Interactiefactoren k_{ij} voor staven die niet gevoelig zijn voor vervormingen door torsie* blijkt:

$$k_{yz} = 1 - \frac{0{,}1 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot N_{Ed}}{(C_{mLT} - 0{,}25) \cdot \chi_z \cdot N_{Rk}} = 1 - \frac{0{,}1 \cdot 0{,}683 \cdot 95{,}3}{(0{,}950 - 0{,}25) \cdot 0{,}62 \cdot 2286{,}55} = 0{,}993$$

$$k_{yz} = 0{,}6 \cdot k_{zz} = 0{,}6 \cdot 1{,}093 = 0{,}656$$

Invullen geeft:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{95{,}3}{\frac{0{,}59 \cdot 2286{,}55}{1{,}00}} + 1{,}004 \cdot \frac{147{,}5}{0{,}884 \cdot \frac{260{,}85}{1{,}00}} = 0{,}71 \leq 1{,}0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{95{,}3}{\frac{0{,}62 \cdot 2286{,}55}{1{,}00}} + 0{,}993 \cdot \frac{147{,}5}{0{,}884 \cdot \frac{260{,}85}{1{,}00}} = 0{,}70 \leq 1{,}0$$

In Diamonds BuildSoft wordt onderscheidt gemaakt tussen knikken om de y-y-as in combinatie met buiging [1] en knikken om de z-z-as in combinatie met buiging [2]. Voor [1] geldt eveneens een eenheidscontrole van 71% en voor [2] geldt eveneens een eenheidscontrole van 70%. In beide gevallen voldoet de kolom in HEA 280 van staalsoort S235.

O.3 Kolom C (middenkolom)

O.3.1 Doorsnedeclassificatie HEA 280 (kolom C)

Voor S235 bedraagt de factor ε:

$$\varepsilon = \sqrt{235/f_y} = \sqrt{235/235} = 1{,}0$$

Bij uniforme druk wordt de uitkragende flens op druk belast, zodat voor de grenswaarde van de doorsnedeklassen geldt: $9\varepsilon = 9$ voor klasse 1, $10\varepsilon = 10$ voor klasse 2 en $14\varepsilon = 14$ voor klasse 3. De breedte van de flens van een HEA 280 wordt gemeten vanaf de afrondingsstraal tot de flenstip: $c_f = 0{,}5(b - t_w - 2r) = 0{,}5(280 - 8 - 2 \cdot 24) = 112\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van de flens is dan: $c/t = c_f/t_f = 112/13 = 8{,}62 \leq 9$. De flens is dus van klasse 1.

Wanneer de doorsnede wordt belast op buiging om de sterke as worden de (bovenste) flenzen op druk en het lijf op buiging belast. Dat betekent dat in het lijf naast drukspanningen ook trekspanningen aanwezig zijn, zodat het lijf minder gevoelig is voor lokaal plooien. De op druk belaste flenzen vallen in doorsnedeklasse 1, zoals in de berekening hiervoor is te zien. Voor het op buiging belaste lijf geldt voor de grenswaarden van de doorsnedeklassen: $72\varepsilon = 72$ voor klasse 1, $83\varepsilon = 83$ voor klasse 2 en $124\varepsilon = 124$ voor klasse 3. De hoogte van het lijf wordt gemeten tussen de afrondingsstalen: $c_w = h - 2t_f - 2r = 270 - 2 \cdot 13 - 2 \cdot 24 = 196\ mm$. De toetsing van de doorsnedeklasse van het lijf is dan: $c/t = c_w/t_w = 196/8 = 24{,}5 \leq 72$. Het lijf is dus van klasse 1. Het profiel HEA 280 in de staalsoort S235 belast op buiging om de sterke as is van klasse 1.

S*3.2 Controle weerstand/sterkte doorsnede*

Toetsing buigend moment

De rekenwaarde van het buigend moment M_{Ed} voor middenkolom C bedraagt 102,8 kNm. Dit is het resultaat van de belastingen in de UGT. De rekenwaarde van het buigend moment in elke dwarsdoorsnede moet voldoen aan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin $M_{c,Rd}$ is bepaald rekening houdend met de gaten voor bevestigingsmiddelen.

Omdat de doorsnede van klasse 1 is, mag zowel de elastische als de plastische momentweerstand worden gebruikt. Voor de toetsing wordt de plastische methode toegepast. De rekenweerstand voor buiging om een hoofdas van een dwarsdoorsnede is als volgt bepaald:

$$M_{c,Rd} = M_{pl,Rd} = \frac{W_{pl,y} \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{1110 \cdot 10^3 \cdot 235}{1{,}0} = 260{,}85\ kNm$$

De toets is dan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{c,Rd}} = \frac{102{,}8}{260{,}85} = 0{,}39 \leq 1{,}0$$

HEA 280 voldoet aan de voorwaarde voor momentweerstand. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met $W_{pl,y} = 1112317\ mm^3$. Door dit kleine verschil in het plastische weerstandsmoment komt de eenheidscontrole uit op 39%.

Toetsing dwarskracht (afschuiving)

De rekenwaarde van de dwarskracht V_{Ed} voor middenkolom C bedraagt 36,4 kNm. Dit is het resultaat van de windbelastingen in de UGT. De rekenwaarde van de dwarskracht V_{Ed} in elke dwarsdoorsnede moet voldoen aan:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin $V_{c,Rd}$ de rekenwaarde is van de weerstand tegen dwarskracht. Bij afwezigheid van torsie is de rekenwaarde van plastische weerstand tegen dwarskracht gegeven door:

$$V_{pl,Rd} = \frac{A_v \cdot \left(f_y/\sqrt{3}\right)}{\gamma_{M0}}$$

Waarin:

A_v is de oppervlakte van het werkzame afschuifoppervlak; [3178 mm^2]

$$A_v = A - 2 \cdot b \cdot t_f + (t_w + 2 \cdot r) \cdot t_f$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de doorsnede; [9730 mm^2]

b is de totale breedte; [280 mm]

t_f is de flensdikte; [13 mm]

t_w is de lijfdikte; [8 mm]

r is de afrondingstraal; [24 mm]

Invullen geeft:

$$A_v = 9730 - 2 \cdot 280 \cdot 13 + (8 + 2 \cdot 24) \cdot 13 = 3178\ mm^2$$

Invullen geeft:

$$V_{pl,Rd} = \frac{3178 \cdot \left(235/\sqrt{3}\right)}{1{,}0} = 431{,}18\ kN$$

De toets is dan:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{36{,}4}{431{,}18} = 0{,}08 \leq 1{,}0$$

HEA 280 voldoet aan de voorwaarde voor dwarskracht. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met A_{vz} van 3175,3 mm^2. Ondanks dit kleine verschil komt de eenheidscontrole eveneens uit op 8%.

Toetsing normaalkracht (axiale druk)

De rekenwaarde van de normaalkracht N_{Ed} voor middenkolom C bedraagt 254,6 kNm. Dit is het resultaat van de belastingen in de UGT. De rekenwaarde van de drukkracht N_{Ed} in elke dwarsdoorsnede moet voldoen aan:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde van de weerstand van de doorsnede onder gelijkmatige druk $N_{c,Rd}$ behoort als volgt te zijn bepaald:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{9730 \cdot 235}{1{,}0} = 2286{,}55\ kN$$

De toets is dan:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{254{,}6}{2286{,}55} = 0{,}11 \leq 1{,}0$$

HEA 280 voldoet aan de voorwaarde voor axiale druk. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 9727,3 mm^2. Ondanks dit kleine verschil komt de eenheidscontrole eveneens uit op 11%.

Toetsing combinatie buigend moment en axiale druk

Voor dubbel-symmetrische I- en H-profielen of andere profielen met flenzen hoeft het effect van de normaalkracht op het vloeimoment om de y-y-as niet in rekening te zijn gebracht wanneer aan beide volgende voorwaarden is voldaan:

$$N_{Ed} \leq 0{,}25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Invullen geeft:

$$N_{Ed} = 218{,}5 \leq 0{,}25 \cdot N_{pl,Rd} = 0{,}25 \cdot 2286{,}55 = 571{,}64$$

$$N_{Ed} = 218{,}5 > \frac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}5 \cdot 196 \cdot 8 \cdot 235}{1{,}0} = 184{,}24$$

Er wordt niet aan alle voorwaarden voldaan, dus er is een extra controle vereist. Wanneer een normaalkracht aanwezig is, behoort rekening te zijn gehouden met de invloed ervan op het vloeimoment.

De interactie tussen buiging en normaalkracht mag voor ronde buisprofielen van klasse 1 of 2 als volgt zijn getoetst:

$$\frac{M_{Ed}}{1{,}04 \cdot M_{c,Rd}} + \left(\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}}\right)^{1{,}7} = \frac{102{,}8}{1{,}04 \cdot 260{,}85} + \left(\frac{218{,}5}{2286{,}55}\right)^{1{,}7} = 0{,}40 \leq 1{,}0$$

HEA 280 voldoet aan de voorwaarde voor de interacties tussen buiging en axiale druk.

Toetsing combinatie axiale druk en dwarskracht (afschuiving)
Voor dubbel-symmetrische I- en H-profielen of andere profielen met flenzen hoeft het effect van de normaalkracht op het vloeimoment om de y-y-as niet in rekening te zijn gebracht wanneer aan beide volgende voorwaarden is voldaan:

$$N_{Ed} \leq 0{,}25 \cdot N_{pl,Rd}$$

$$N_{Ed} \leq \frac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Invullen geeft:

$$N_{Ed} = 223{,}6 \leq 0{,}25 \cdot N_{pl,Rd} = 0{,}25 \cdot 2286{,}55 = 571{,}64$$

$$N_{Ed} = 223{,}6 > \frac{0{,}5 \cdot h_w \cdot t_w \cdot f_y}{\gamma_{M0}} = \frac{0{,}5 \cdot 196 \cdot 8 \cdot 235}{1{,}0} = 184{,}24$$

Verder moet voor dwarskracht aan de volgende voorwaarde zijn voldaan:

$$V_{Ed} \leq 0{,}5 \cdot V_{pl,Rd}$$

Invullen geeft:

$$V_{Ed} = 36{,}4 \leq 0{,}5 \cdot 431{,}18 = 215{,}59$$

Er wordt niet aan alle voorwaarden voldaan, dus er is een extra controle vereist. De interactie tussen dwarskracht en normaalkracht mag voor doorsneden van klasse 1 of 2 als volgt zijn getoetst bij buiging om de sterke as (gebaseerd op interactie tussen buiging, dwarskracht en normaalkracht, maar het aandeel van de buiging weggelaten):

$$\frac{\frac{N_{Ed}}{N_{Vz,Rd}} - \frac{a_2}{2}}{1 - \frac{a_2}{2}} = \frac{\frac{223{,}6}{1770{,}62} - \frac{0{,}078}{2}}{1 - \frac{0{,}078}{2}} = 0{,}91 \leq 1{,}0$$

Met:

$$N_{Vz,Rd} = \frac{N_{pl,Rd} - (\rho \cdot A_v \cdot f_y)}{\gamma_{M0}} = \frac{2286{,}55 - (0{,}69 \cdot 3178 \cdot 235)}{1{,}00} = 1770{,}62\ kN$$

$$a_2 = a_1 \cdot (1 - \rho) = 0{,}25 \cdot (1 - 0{,}69) = 0{,}078$$

$$a_1 = min\left(\frac{A - \left(2 \cdot b_f \cdot t_f\right)}{A}; 0{,}5\right) = min\left(\frac{9730 - (2 \cdot 280 \cdot 13)}{9730}; 0{,}5\right) = 0{,}25$$

Waarin:

$$\rho = \left(\frac{2 \cdot V_{Ed}}{V_{pl,Rd}} - 1\right)^2 = \left(\frac{2 \cdot 36{,}4}{431{,}18} - 1\right)^2 = 0{,}69$$

HEA 280 voldoet aan de voorwaarde voor de interacties tussen axiale druk en afschuiving.

Knikstabiliteit om de sterke as (y'-as)
Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_y:

$$N_{b,Rd} = \chi_y \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_y is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_y = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi_y \leq 1{,}0$$

Waarin:
$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/235} = 93{,}91$

$$i_y = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{13670 \cdot 10^4}{9730}} = 118{,}53\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,y}}{i_y} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{11290}{118{,}53} \cdot \frac{1}{93{,}91} = 1{,}01$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De HEA-profielen en van staalkwaliteit S235 met $h/b = 270/280 = 0{,}96 \leq 1{,}2$ en $t_f = 13 \leq 100$, dus

bij knikken om de y'-as moet curve b worden gebruikt (zie eerdere figuur 78 en tabel 13 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,34.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}34(1{,}01 - 0{,}2) + 1{,}01^2] = 1{,}15$$

$$\chi_y = \frac{1}{1{,}15 + \sqrt{1{,}15^2 - 1{,}01^2}} = 0{,}59 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}59 \cdot \frac{9730 \cdot 235}{1{,}0} = 1344{,}52\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{254{,}6}{1344{,}52} = 0{,}19 \leq 1{,}0$$

HEA 280 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 9727,3 mm^2. Ondanks dit kleine verschil komt de eenheidscontrole eveneens uit op 19%.

Knikstabiliteit om de zwakke as (z'-as)
Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{b,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_z:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_z is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \text{ en } \chi_z \leq 1{,}0$$

Waarin:
$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/235} = 93{,}91$

$$i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{4760 \cdot 10^4}{9730}} = 69{,}94\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5645}{69{,}94} \cdot \frac{1}{93{,}91} = 0{,}86$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De HEA-profielen en van staalkwaliteit S235 met $h/b = 270/280 = 0{,}96 \leq 1{,}2$ en $t_f = 13 \leq 100$, dus bij knikken om de z'-as moet curve c worden gebruikt (zie eerdere figuur 78 en tabel 13 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,49

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}49(0{,}86 - 0{,}2) + 0{,}86^2] = 1{,}03$$

$$\chi_z = \frac{1}{1{,}03 + \sqrt{1{,}03^2 - 0{,}86^2}} = 0{,}62 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}62 \cdot \frac{9730 \cdot 235}{1{,}0} = 1429{,}02\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{254{,}6}{1429{,}02} = 0{,}18 \leq 1{,}0$$

HEA 280 voldoet aan de voorwaarde voor stabiliteit. In Diamonds BuildSoft wordt gerekend met een brutodoorsnede van 9727,3 mm^2. Ondanks dit kleine verschil komt de eenheidscontrole eveneens uit op 18%.

Toetsing kipstabiliteit

$$L_{kip} = L_{st} = 5645\ mm$$

$$\overline{\lambda_{LT}} = \lambda_{rel} = \xi \cdot \sqrt{\frac{l_{kip} \cdot h \cdot f_{yd}}{b \cdot t_f \cdot E}} = 1{,}32 \cdot \sqrt{\frac{5645 \cdot 270 \cdot 235}{280 \cdot 13 \cdot 2{,}1 \cdot 10^5}} = 0{,}90$$

Om te bepalen welke knikkromme moet worden gebruikt voor het bepalen van de kipstabiliteit wordt de ratio h/b bepaald. De ratio h/b van de HEA 280 is $270/280 = 0{,}96$. Dit betekent volgens onderstaande tabel dat de χ_{LT} van een gewalst profiel wordt bepaald aan de hand van curve b.

Sectie	Ratio h/b	Geldige kromme
Warmgewalst	h/b ≤ 2	Curve b
	h/b > 2	Curve c
Gelast	h/b ≤ 2	Curve c
	h/b > 2	Curve d

Door in bovenstaande figuur 79 curve b af te lezen wordt $\chi_{LT} \cong 0{,}66$ gevonden.

De rekenwaarde van de kipweerstand van een zijdelings ongesteunde ligger behoort als volgt te zijn bepaald:

$$M_{\beta;Rd} = \chi_{LT} \cdot \left(W_{pl,y} \cdot \frac{f_{yd}}{\gamma_{M0}} \right) = 0{,}66 \cdot \left(1112 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1{,}0} \right) = 172{,}47\ kNm$$

De toets is dan:

$$\frac{M_{Ed}}{M_{\beta;Rd}} = \frac{147{,}5}{172{,}47} = 0{,}86 \leq 1{,}0$$

O.3.2 Combinatie kip- en knikstabiliteit

Staven die aan gecombineerde buiging en druk zijn onderworpen behoren te voldoen aan:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zz} \cdot \frac{M_{z,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{z,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

De staaf is niet onderhevig aan buigen om de z-z-as, dus bovenstaande formules worden herschreven tot:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} \leq 1{,}0$$

Waarin:

N_{Ed} en $M_{y,Ed}$ zijn de rekenwaarden van de drukkrachten en de maximale momenten om de y-y-as en z-z-as;

χ_y en χ_z zijn de knikreductiefactoren;

χ_{LT} is de kipreductiefactor;

k_{yy} en k_{zy} zijn de interactiefactoren.

Er wordt met behulp van Diamonds BuildSoft vastgesteld dat $C_{my} = 0{,}950$, $C_{mz} = 1{,}000$ en $C_{mLT} = 0{,}950$. Tevens wordt aangenomen dat $\bar{\lambda}_{y/z} = 0{,}683$ en dat $\chi_{LT} = 0{,}884$. Factoren k_{yy} en k_{zy} worden bepaald met tabellen B.1, B.2 en B.3 uit NEN-EN 1993-1-1. HEA 280 is torsiegevoelig, want $\chi_{LT} < 1$.

Uit *Tabel B.1 – Interactiefactoren k_{ij} voor staven die niet gevoelig zijn voor vervormingen door torsie* blijkt:

$$k_{yy} = C_{my} \cdot \left(1 + \left(\bar{\lambda}_y - 0{,}2\right) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \leq C_{my} \cdot \left(1 + 0{,}8 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_y \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$$

$$k_{zz} = C_{mz} \cdot \left(1 + \left(2 \cdot \bar{\lambda}_z - 0{,}6\right) \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right) \leq C_{mz} \cdot \left(1 + 1{,}4 \cdot \frac{N_{Ed}}{\chi_z \cdot N_{Rk}/\gamma_{M1}}\right)$$

Waarin:

C_{my} equivalente momentenverdelingsfactor (rekening houdend met het niet-gelijkmatig moment-verloop); [0,950]

C_{mz} equivalente momentenverdelingsfactor (rekening houdend met het niet-gelijkmatig moment-verloop); [1,000]

$\bar{\lambda}_y$ relatieve slankheid (y-y-as); [0,683]

$\bar{\lambda}_z$ relatieve slankheid (z-z-as); [0,683]

N_{Ed} is de rekenwaarde van de drukkracht; [218,5 kN]

χ_y is de knikreductiefactor (y-y-as); [0,59]

χ_z is de knikreductiefactor (z-z-as); [0,62]

N_{Rk} is de karakteristieke waarde van de weerstand tegen een normaalkracht van de kritieke dwars-doorsnede; [2286,55 kN]

$$k_{yy} = 0{,}950 \cdot \left(1 + (0{,}683 - 0{,}2) \cdot \frac{218{,}5}{0{,}59 \cdot 2286{,}55/1{,}00}\right) = 1{,}025$$
$$\leq 0{,}950 \cdot \left(1 + 0{,}8 \cdot \frac{218{,}5}{0{,}59 \cdot 2286{,}55/1{,}00}\right) = 1{,}074$$

$$k_{zz} = 1{,}000 \cdot \left(1 + (2 \cdot 0{,}683 - 0{,}6) \cdot \frac{218{,}5}{0{,}62 \cdot 2286{,}55/1{,}00}\right) = 1{,}117$$
$$\leq 1{,}000 \cdot \left(1 + 1{,}4 \cdot \frac{218{,}5}{0{,}62 \cdot 2286{,}55/1{,}00}\right) = 1{,}214$$

Waardoor:

$$M_{y,Rk} = W_{pl,y} \cdot \frac{f_{yd}}{\gamma_{M0}} = 1110 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{1{,}0} = 260{,}85\ kNm$$

$$M_{z,Rk} = W_{pl,z} \cdot \frac{f_{yd}}{\gamma_{M0}} = 518 \cdot 10^3 \cdot \frac{235}{\gamma_{M0}} = 121{,}73\ kNm$$

Uit *Tabel B.1 — Interactiefactoren k_{ij} voor staven die niet gevoelig zijn voor vervormingen door torsie* blijkt:

$$k_{zy} = 1 - \frac{0{,}1 \cdot \bar{\lambda}_z \cdot N_{Ed}}{(C_{mLT} - 0{,}25) \cdot \chi_z \cdot N_{Rk}} = 1 - \frac{0{,}1 \cdot 0{,}683 \cdot 218{,}5}{(0{,}950 - 0{,}25) \cdot 0{,}62 \cdot 2286{,}55} = 0{,}985$$

$$k_{yz} = 0{,}6 \cdot k_{zz} = 0{,}6 \cdot 1{,}074 = 0{,}644$$

Invullen geeft:

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_y \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{yy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{218{,}5}{\frac{0{,}59 \cdot 2286{,}55}{1{,}00}} + 1{,}074 \cdot \frac{102{,}8}{0{,}884 \cdot \frac{260{,}85}{1{,}00}} = 0{,}64 \leq 1{,}0$$

$$\frac{N_{Ed}}{\frac{\chi_z \cdot N_{Rk}}{\gamma_{M1}}} + k_{zy} \cdot \frac{M_{y,Ed}}{\chi_{LT} \cdot \frac{M_{y,Rk}}{\gamma_{M1}}} = \frac{218{,}5}{\frac{0{,}62 \cdot 2286{,}55}{1{,}00}} + 0{,}985 \cdot \frac{102{,}8}{0{,}884 \cdot \frac{260{,}85}{1{,}00}} = 0{,}59 \leq 1{,}0$$

In Diamonds BuildSoft wordt onderscheidt gemaakt tussen knikken om de y-y-as in combinatie met buiging [1] en knikken om de z-z-as in combinatie met buiging [2]. Voor [1] geldt eveneens een eenheidscontrole van 64% en voor [2] geldt eveneens een eenheidscontrole van 59%. In beide gevallen voldoet de kolom in HEA 280 van staalsoort S235.

Bijlage P: Rapport DB – Definitief middenportaal met wind en zonne-panelen

Inhoudsopgave

1 Geometrie
- 1.1 Software informatie
- 1.2 Geometrie voorstelling (m)
- 1.3 Geometrie gegevens
  - 1.3.1 Punten
  - 1.3.2 Staven
- 1.4 Materiaalgegevens
  - 1.4.1 Staal S275
    - 1.4.1.1 Elastische materiaaleigenschappen
    - 1.4.1.2 Sterkte-eigenschappen volgens Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (NL)
  - 1.4.2 Staal S235
    - 1.4.2.1 Elastische materiaaleigenschappen
    - 1.4.2.2 Sterkte-eigenschappen volgens Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (NL)

2 Lasten
- 2.1 Software informatie
- 2.2 Gegevens lasten
  - 2.2.1 Eigengewicht
    - 2.2.1.1 Staven
  - 2.2.2 permanente lasten
    - 2.2.2.1 Staven
  - 2.2.3 nuttige last H : daken
    - 2.2.3.1 Staven
  - 2.2.4 Wind - Geval 1
    - 2.2.4.1 Staven
  - 2.2.5 Wind - Geval 2
    - 2.2.5.1 Staven
  - 2.2.6 Wind - Geval 3
    - 2.2.6.1 Staven
  - 2.2.7 Wind - Geval 4
    - 2.2.7.1 Staven
  - 2.2.8 Wind - Geval 5
    - 2.2.8.1 Staven
  - 2.2.9 Wind - Geval 6
    - 2.2.9.1 Staven
  - 2.2.10 Wind - Geval 7
    - 2.2.10.1 Staven
  - 2.2.11 Wind - Geval 8
    - 2.2.11.1 Staven
  - 2.2.12 Wind - Geval 9
    - 2.2.12.1 Staven
  - 2.2.13 Wind - Geval 10
    - 2.2.13.1 Staven
  - 2.2.14 Wind - Geval 11
    - 2.2.14.1 Staven
  - 2.2.15 Wind - Geval 12
    - 2.2.15.1 Staven
  - 2.2.16 Wind - Geval 13
    - 2.2.16.1 Staven
  - 2.2.17 Wind - Geval 14

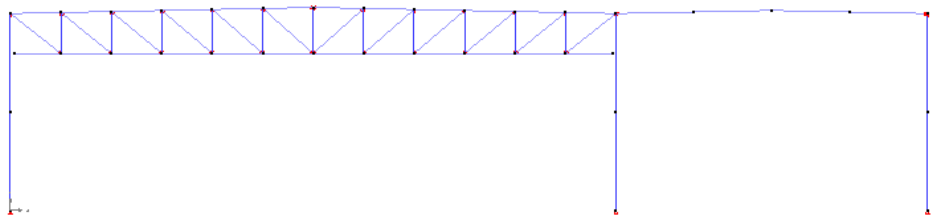
2.2.17.1 Staven
2.2.18 Wind - Geval 15
2.2.18.1 Staven
2.2.19 Wind - Geval 16
2.2.19.1 Staven
2.2.20 Wind - Geval 17
2.2.20.1 Staven
2.2.21 Wind - Geval 18
2.2.21.1 Staven
2.2.22 Wind - Geval 19
2.2.22.1 Staven
2.2.23 Wind - Geval 20
2.2.23.1 Staven
2.2.24 Wind - Geval 21
2.2.24.1 Staven
2.2.25 Wind - Geval 22
2.2.25.1 Staven
2.2.26 Wind - Geval 23
2.2.26.1 Staven
2.2.27 Wind - Geval 24
2.2.27.1 Staven
2.3 Lastengroepen
2.4 Combinaties
2.4.1 uiterste grenstoestand - fundamentele combinatie
2.4.2 bruikbaarheidsgrenstoestand - zeldzame combinatie
3 Resultaten
3.1 Software informatie
3.2 Voorstelling algemene resultaten
3.2.1 δx (mm) - BGT ZC Omhullende
3.2.2 δy (mm) - BGT ZC Omhullende
3.2.3 Reactie Rx op punt (kN) - UGT FC Omhullende
3.2.4 Reactie Ry op punt (kN) - UGT FC Omhullende
3.2.5 N in staaf (kN) - UGT FC Omhullende
3.2.6 Vz in staaf (kN) - UGT FC Omhullende
3.2.7 My in staaf (kNm) - UGT FC Omhullende
3.2.8 σc in staaf volgens sterke as (N/mm^2) - UGT FC Omhullende
3.2.9 σt in staaf volgens sterke as (N/mm^2) - UGT FC Omhullende
3.2.10 Sterkte controle van staaf (%) - Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (NL)
3.2.11 Stabiliteitscontrole van staaf (%) - Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (NL)
3.3 Algemene resultaten
3.3.1 Doorbuiging staaf - BGT ZC Omhullende
3.3.2 Reactie in punt - UGT FC Omhullende
3.3.3 NMV in staaf - UGT FC Omhullende
3.3.4 Spanning in staaf - UGT FC Omhullende
3.3.5 Controle van staven
3.3.6 Evenwichtscontrole

1 Geometrie

1.1 Software informatie

Structuur gemodelleerd met Diamonds Versie 2021.3.0.0
Structuur berekend met Buildsoft Server Versie 2021.3.0.0
Berekeningsnota afgeprint met Diamonds Versie 2021.3.0.0

1.2 Geometrie voorstelling (m)



1.3 Geometrie gegevens

1.3.1 Punten

Punt	Label	X (m)	Y (m)	Z (m)	Ondersteuning (kN/m,kNm/Rad)	Commentaar
1	-	2,92	9,00	0,00	vrij	-
2	-	5,83	9,00	0,00	kz	-
3	-	8,75	9,00	0,00	vrij	-
4	-	11,67	9,00	0,00	kz	-
5	-	14,58	9,00	0,00	vrij	-
6	-	17,50	9,00	0,00	kz	-
7	-	20,42	9,00	0,00	vrij	-
8	-	23,33	9,00	0,00	kz	-
9	-	26,25	9,00	0,00	vrij	-
10	-	29,17	9,00	0,00	kz	-
11	-	32,08	9,00	0,00	vrij	-
12	-	35,00	11,29	0,00	kz	-
13	-	32,08	11,35	0,00	vrij	-
14	-	29,17	11,41	0,00	kz	-
15	-	26,25	11,47	0,00	vrij	-
16	-	23,33	11,52	0,00	kz	-
17	-	20,42	11,58	0,00	vrij	-
18	-	17,50	11,64	0,00	kz	-
19	-	14,58	11,58	0,00	vrij	-
20	-	11,67	11,52	0,00	kz	-

Punt	Label	X (m)	Y (m)	Z (m)	Ondersteuning (kN/m,kNm/Rad)	Commentaar
21	-	8,75	11,47	0,00	vrij	-
22	-	5,83	11,41	0,00	kz	-
23	-	2,92	11,35	0,00	vrij	-
24	-	0,00	11,29	0,00	kz	-
25	-	0,00	0,00	0,00	kx;ky;kz	-
26	-	44,00	11,47	0,00	kz	-
27	-	53,00	11,29	0,00	kx;kz	-
28	-	53,00	5,65	0,00	kz	-
29	-	53,00	0,00	0,00	kx;ky;kz	-
30	-	35,00	0,00	0,00	kx;ky;kz	-
31	-	0,00	5,65	0,00	kz	-
32	-	39,50	11,38	0,00	kz	-
33	-	48,50	11,38	0,00	kz	-
34	-	35,00	5,65	0,00	kz	-
35	-	0,20	9,00	0,00	kz	-
36	-	34,80	9,00	0,00	kz	-

1.3.2 Staven

Staaf	Label	begin knoop	einde knoop	doorsnede	lengte (m)	Brandcurve	Vereiste brandweerstand (min)
1	-	1	2	HEA 140	2,92	-	-
2	-	2	3	HEA 140	2,92	-	-
3	-	3	4	HEA 140	2,92	-	-
4	-	4	5	HEA 140	2,92	-	-
5	-	5	6	HEA 140	2,92	-	-
6	-	6	7	HEA 140	2,92	-	-
7	-	7	8	HEA 140	2,92	-	-
8	-	8	9	HEA 140	2,92	-	-
9	-	9	10	HEA 140	2,92	-	-
10	-	10	11	HEA 140	2,92	-	-
11	-	13	12	HEA 220	2,92	-	-
12	-	14	13	HEA 220	2,92	-	-
13	-	15	14	HEA 220	2,92	-	-
14	-	16	15	HEA 220	2,92	-	-
15	-	17	16	HEA 220	2,92	-	-
16	-	18	17	HEA 220	2,92	-	-
17	-	19	18	HEA 220	2,92	-	-
18	-	20	19	HEA 220	2,92	-	-
19	-	21	20	HEA 220	2,92	-	-
20	-	22	21	HEA 220	2,92	-	-
21	-	23	22	HEA 220	2,92	-	-
22	-	24	23	HEA 220	2,92	-	-
23	-	1	23	SHS 70x70x4	2,35	-	-
24	-	2	22	SHS 70x70x4	2,41	-	-
25	-	3	21	SHS 70x70x4	2,47	-	-
26	-	4	20	SHS 70x70x4	2,52	-	-

Staaf	Label	begin knoop	einde knoop	doorsnede	lengte (m)	Brandcurve	Vereiste brandweerstand (min)
27	-	5	19	SHS 70x70x4	2,58	-	-
28	-	6	18	SHS 70x70x4	2,64	-	-
29	-	7	17	SHS 70x70x4	2,58	-	-

Staaf	Beschermmateriaal	Dikte bescherming (mm)	Profielfactor (m-1)	Toevallige excentriciteit (mm)
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	-	-	-	-
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-

Staaf	Excentriciteit Y'	Excentriciteit Z'	Commentaar
1	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
2	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
3	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-

Staaf	Excentriciteit Y'	Excentriciteit Z'	Commentaar
4	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
5	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
6	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
7	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
8	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
9	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
10	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
11	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
12	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
13	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
14	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
15	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
16	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
17	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
18	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
19	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
20	geen uitlijning begin: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit	-

Staaf	Excentriciteit Y'	Excentriciteit Z'	Commentaar
	einde: geen excentriciteit	einde: geen excentriciteit	
21	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
22	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
23	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
24	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
25	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
26	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
27	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
28	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
29	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-

Staaf	Label	begin knoop	einde knoop	doorsnede	lengte (m)	Brandcurve	Vereiste brandweerstand (min)
30	-	8	16	SHS 70x70x4	2,52	-	-
31	-	9	15	SHS 70x70x4	2,47	-	-
32	-	10	14	SHS 70x70x4	2,41	-	-
33	-	11	13	SHS 70x70x4	2,35	-	-
34	-	24	1	SHS 70x70x5	3,71	-	-
35	-	23	2	SHS 70x70x5	3,74	-	-
36	-	22	3	SHS 70x70x5	3,78	-	-
37	-	21	4	SHS 70x70x5	3,82	-	-
38	-	20	5	SHS 70x70x5	3,86	-	-
39	-	19	6	SHS 70x70x5	3,90	-	-
40	-	11	12	SHS 70x70x5	3,71	-	-
41	-	10	13	SHS 70x70x5	3,74	-	-
42	-	9	14	SHS 70x70x5	3,78	-	-
43	-	8	15	SHS 70x70x5	3,82	-	-
44	-	7	16	SHS 70x70x5	3,86	-	-
45	-	6	17	SHS 70x70x5	3,90	-	-
46	-	25	31	HEA 280	5,65	-	-

Staaf	Label	begin knoop	einde knoop	doorsnede	lengte (m)	Brandcurve	Vereiste brandweerstand (min)
47	-	12	32	IPE 550	4,50	-	-
48	-	26	33	IPE 550	4,50	-	-
49	-	28	27	HEA 280	5,65	-	-
50	-	29	28	HEA 280	5,65	-	-
51	-	30	34	HEA 280	5,65	-	-
52	-	31	24	HEA 280	5,65	-	-
53	-	32	26	IPE 550	4,50	-	-
54	-	33	27	IPE 550	4,50	-	-
55	-	34	12	HEA 280	5,65	-	-
56	-	35	1	HEA 140	2,72	-	-
57	-	11	36	HEA 140	2,72	-	-
totaal					194,38		

Staaf	Beschermmateriaal	Dikte bescherming (mm)	Profielfactor (m-1)	Toevallige excentriciteit (mm)
30	-	-	-	-
31	-	-	-	-
32	-	-	-	-
33	-	-	-	-
34	-	-	-	-
35	-	-	-	-
36	-	-	-	-
37	-	-	-	-
38	-	-	-	-
39	-	-	-	-
40	-	-	-	-
41	-	-	-	-
42	-	-	-	-
43	-	-	-	-
44	-	-	-	-
45	-	-	-	-
46	-	-	-	-
47	-	-	-	-
48	-	-	-	-
49	-	-	-	-
50	-	-	-	-
51	-	-	-	-
52	-	-	-	-
53	-	-	-	-
54	-	-	-	-
55	-	-	-	-
56	-	-	-	-
57	-	-	-	-
totaal				

Staaf	Excentriciteit Y'	Excentriciteit Z'	Commentaar
30	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
31	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
32	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
33	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
34	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
35	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
36	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
37	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
38	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
39	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
40	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
41	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
42	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
43	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
44	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
45	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
46	geen uitlijning begin: geen excentriciteit	geen uitlijning begin: geen excentriciteit	-

Staaf	Excentriciteit Y'	Excentriciteit Z'	Commentaar
	einde: geen excentriciteit	einde: geen excentriciteit	
47	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
48	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
49	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
50	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
51	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
52	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
53	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
54	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
55	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
56	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
57	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
totaal			

1.4 Materiaalgegevens

1.4.1 Staal S275

1.4.1.1 Elastische materiaaleigenschappen

Dichtheid = 7850,0 kg/m^3
Elasticiteitsmodulus E = 210000 N/mm^2
Coefficient van Poisson v = 0,300
Glijdingsmodulus G = 80769 N/mm^2
Thermische uitzettingscoefficient = 0,000012 /°C

1.4.1.2 Sterkte-eigenschappen volgens Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (--)

Sterkte:

dikte (mm)	**0,0 - 40,0**	**40,0 - 150,0**
vloeigrens fy (N/mm²)	275,0	255,0
breukgrens fu (N/mm²)	430,0	410,0

Veiligheidscoëfficiënt:

γ_{M0} = 1,00
γ_{M1} = 1,00
γ_{M2} = 1,25
γ_{M3} = 1,25
γ_{M4} = 1,00
γ_{M5} = 1,00
γ_{M6} = 1,00
γ_{M7} = 1,10

1.4.1.3 Sterkte-eigenschappen volgens Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (NL)

Sterkte:

dikte (mm)	**0,0 - 40,0**	**40,0 - 150,0**
vloeigrens fy (N/mm²)	275,0	255,0
breukgrens fu (N/mm²)	430,0	410,0

Veiligheidscoëfficiënt:

γ_{M0} = 1,00
γ_{M1} = 1,00
γ_{M2} = 1,25
γ_{M3} = 1,25
γ_{M4} = 1,00
γ_{M5} = 1,00
γ_{M6} = 1,00
γ_{M7} = 1,10

1.4.2 Staal S235

1.4.2.1 Elastische materiaaleigenschappen

Dichtheid = 7850,0 kg/m^3
Elasticiteitsmodulus E = 210000 N/mm^2
Coefficient van Poisson v = 0,300
Glijdingsmodulus G = 80769 N/mm^2
Thermische uitzettingscoefficient = 0,000012 /°C

1.4.2.2 Sterkte-eigenschappen volgens Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (--)

Sterkte:

dikte (mm)	**0,0 - 40,0**	**40,0 - 150,0**
vloeigrens fy (N/mm²)	235,0	215,0
breukgrens fu (N/mm²)	360,0	360,0

Veiligheidscoëfficiënt:

γ_{M0} = 1,00
γ_{M1} = 1,00
γ_{M2} = 1,25
γ_{M3} = 1,25
γ_{M4} = 1,00
γ_{M5} = 1,00
γ_{M6} = 1,00
γ_{M7} = 1,10

1.4.2.3 Sterkte-eigenschappen volgens Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (NL)

Sterkte:

dikte (mm)	**0,0 - 40,0**	**40,0 - 150,0**
vloeigrens fy (N/mm²)	235,0	215,0
breukgrens fu (N/mm²)	360,0	360,0

Veiligheidscoëfficiënt:

γ_{M0} = 1,00
γ_{M1} = 1,00
γ_{M2} = 1,25
γ_{M3} = 1,25
γ_{M4} = 1,00
γ_{M5} = 1,00
γ_{M6} = 1,00
γ_{M7} = 1,10

2 Lasten

2.1 Software informatie

Structuur gemodelleerd met Diamonds Versie 2021.3.0.0
Structuur berekend met Buildsoft Server Versie 2021.3.0.0
Berekeningsnota afgeprint met Diamonds Versie 2021.3.0.0

2.2 Gegevens lasten

2.2.1 Eigengewicht

2.2.1.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
1	-	1	2	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
2	-	2	3	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
3	-	3	4	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
4	-	4	5	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
5	-	5	6	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
6	-	6	7	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
7	-	7	8	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
8	-	8	9	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
9	-	9	10	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
10	-	10	11	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
11	-	13	12	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
12	-	14	13	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
13	-	15	14	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
14	-	16	15	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
15	-	17	16	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
16	-	18	17	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
17	-	19	18	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
18	-	20	19	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
19	-	21	20	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
20	-	22	21	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
21	-	23	22	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
22	-	24	23	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
23	-	1	23	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
24	-	2	22	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
25	-	3	21	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
26	-	4	20	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
27	-	5	19	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
28	-	6	18	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
29	-	7	17	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
30	-	8	16	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
31	-	9	15	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
32	-	10	14	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
33	-	11	13	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
34	-	24	1	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
35	-	23	2	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
36	-	22	3	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
37	-	21	4	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
38	-	20	5	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
39	-	19	6	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
40	-	11	12	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
41	-	10	13	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
42	-	9	14	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
43	-	8	15	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
44	-	7	16	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
45	-	6	17	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
46	-	25	31	Verdeelde last	0,7	0,7	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
47	-	12	32	Verdeelde last	1,0	1,0	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
48	-	26	33	Verdeelde last	1,0	1,0	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
49	-	28	27	Verdeelde last	0,7	0,7	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
50	-	29	28	Verdeelde last	0,7	0,7	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
51	-	30	34	Verdeelde last	0,7	0,7	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
52	-	31	24	Verdeelde last	0,7	0,7	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
53	-	32	26	Verdeelde last	1,0	1,0	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
54	-	33	27	Verdeelde last	1,0	1,0	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
55	-	34	12	Verdeelde last	0,7	0,7	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
56	-	35	1	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
57	-	11	36	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y

2.2.2 permanente lasten

2.2.2.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
12	-	14	13	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
13	-	15	14	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
14	-	16	15	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
15	-	17	16	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
16	-	18	17	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
17	-	19	18	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
18	-	20	19	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
19	-	21	20	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
20	-	22	21	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
21	-	23	22	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
22	-	24	23	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
46	-	25	31	Verdeelde last	2,5	2,5	kN/m	2,50	0,00	globaal Y
47	-	12	32	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
48	-	26	33	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
49	-	28	27	Verdeelde last	2,5	2,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
50	-	29	28	Verdeelde last	2,5	2,5	kN/m	2,50	0,00	globaal Y
52	-	31	24	Verdeelde last	2,5	2,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
53	-	32	26	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
54	-	33	27	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y

2.2.3 nuttige last H : daken

2.2.3.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
12	-	14	13	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
13	-	15	14	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
14	-	16	15	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
15	-	17	16	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
16	-	18	17	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
17	-	19	18	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
18	-	20	19	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
19	-	21	20	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
20	-	22	21	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
21	-	23	22	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
22	-	24	23	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
47	-	12	32	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
48	-	26	33	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
53	-	32	26	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
54	-	33	27	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y

2.2.4 Wind - Geval 1

2.2.4.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,03	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	2,89	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,59	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	2,33	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	-6,2	-6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-1,1	-1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-1,1	-1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
51	-	30	34	Verdeelde last	4,3	4,3	kN/m	0,00	0,00	globaal X
52	-	31	24	Verdeelde last	-6,2	-6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
55	-	34	12	Verdeelde last	4,3	4,3	kN/m	0,00	0,00	globaal X

2.2.5 Wind - Geval 2

2.2.5.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
18	-	20	19	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,03	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	2,89	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,59	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	2,33	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	-6,2	-6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-1,1	-1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-1,1	-1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
51	-	30	34	Verdeelde last	-4,3	-4,3	kN/m	0,00	0,00	globaal X
52	-	31	24	Verdeelde last	-6,2	-6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
55	-	34	12	Verdeelde last	-4,3	-4,3	kN/m	0,00	0,00	globaal X

2.2.6 Wind - Geval 3

2.2.6.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,03	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	2,89	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,59	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	2,33	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	-6,2	-6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-1,1	-1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
50	-	29	28	Verdeelde last	-1,1	-1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	-6,2	-6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.7 Wind - Geval 4

2.2.7.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,03	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	2,89	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,59	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	2,33	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	-6,2	-6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-1,1	-1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-1,1	-1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	-6,2	-6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.8 Wind - Geval 5

2.2.8.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,03	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	2,89	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-6,7	-6,7	kN/m	0,00	0,59	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	2,33	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	-3,4	-3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	-3,4	-3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.9 Wind - Geval 6

2.2.9.1 Staven

staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
19	-	21	20	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,03	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-6,7	-6,7	kN/m	0,00	0,59	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	2,33	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	-3,4	-3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	-3,4	-3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.10 Wind - Geval 7

2.2.10.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
19	-	21	20	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,03	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-6,7	-6,7	kN/m	0,00	0,59	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	2,33	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	-3,4	-3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	-3,4	-3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.11 Wind - Geval 8

2.2.11.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
19	-	21	20	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,03	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-6,7	-6,7	kN/m	0,00	0,59	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	2,33	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	-3,4	-3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	-3,4	-3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.12 Wind - Geval 9

2.2.12.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
15	-	17	16	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	1,1	1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	6,2	6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	6,2	6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	1,1	1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	1,86	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	2,64	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	2,17	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	2,33	lokaal z'

2.2.13 Wind - Geval 10

2.2.13.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	1,1	1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	6,2	6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	6,2	6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
52	-	31	24	Verdeelde last	1,1	1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	1,86	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	2,64	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	2,17	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	2,33	lokaal z'

2.2.14 Wind - Geval 11

2.2.14.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	1,1	1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	6,2	6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	6,2	6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	1,1	1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	1,86	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	2,64	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	2,17	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	2,33	lokaal z'

2.2.15 Wind - Geval 12

2.2.15.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	1,1	1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	6,2	6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	6,2	6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	1,1	1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	1,86	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	2,64	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	2,17	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	2,33	lokaal z'

2.2.16 Wind - Geval 13

2.2.16.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
20	-	22	21	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	3,9	3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	3,4	3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	3,4	3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	3,9	3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	1,86	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	2,64	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-6,7	-6,7	kN/m	2,17	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	2,33	lokaal z'

2.2.17 Wind - Geval 14

2.2.17.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
46	-	25	31	Verdeelde last	3,9	3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	3,4	3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	3,4	3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	3,9	3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	1,86	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-6,7	-6,7	kN/m	2,17	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	2,33	lokaal z'

2.2.18 Wind - Geval 15

2.2.18.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
46	-	25	31	Verdeelde last	3,9	3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	3,4	3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	3,4	3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
52	-	31	24	Verdeelde last	3,9	3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	1,86	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-6,7	-6,7	kN/m	2,17	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	2,33	lokaal z'

2.2.19 Wind - Geval 16

2.2.19.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
46	-	25	31	Verdeelde last	3,9	3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	3,4	3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	3,4	3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	3,9	3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	1,86	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-6,7	-6,7	kN/m	2,17	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	2,33	lokaal z'

2.2.20 Wind - Geval 17

2.2.20.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	1,5	1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
47	-	12	32	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-1,5	-1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-1,5	-1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	1,5	1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.21 Wind - Geval 18

2.2.21.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	1,5	1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-1,5	-1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-1,5	-1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	1,5	1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.22 Wind - Geval 19

2.2.22.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	4,3	4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-4,3	-4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-4,3	-4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	4,3	4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.23 Wind - Geval 20

2.2.23.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
46	-	25	31	Verdeelde last	4,3	4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-4,3	-4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-4,3	-4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	4,3	4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.24 Wind - Geval 21

2.2.24.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	1,5	1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-1,5	-1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-1,5	-1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	1,5	1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.25 Wind - Geval 22

2.2.25.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
22	-	24	23	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	1,5	1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-1,5	-1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-1,5	-1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	1,5	1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.26 Wind - Geval 23

2.2.26.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	4,3	4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-4,3	-4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-4,3	-4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	4,3	4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.27 Wind - Geval 24

2.2.27.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
46	-	25	31	Verdeelde last	4,3	4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-4,3	-4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-4,3	-4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	4,3	4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.3 Lastengroepen

Belastingscoëfficiënten voor EN 1990(NL)
Klimaatklasse: 1
Gevolgklasse: 2
Ontwerplevensduur: 50 jaren

Naam	Type	Naam	γuls-	γuls+	γsls-	γsls+	ψ0	ψ1	ψ2	ξ	t0	kmod
Eigengewicht			1,35	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,89	0	permanent
permanente lasten			1,35	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,89	0	permanent
nuttige last H : daken			1,50	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	middellange termijn
Wind	⁑	Geval 1 Geval 2 Geval 3 Geval 4 Geval 5 Geval 6 Geval 7 Geval 8 Geval 9 Geval 10 Geval 11 Geval 12 Geval 13 Geval 14 Geval 15 Geval 16 Geval 17 Geval 18 Geval 19 Geval 20 Geval 21 Geval 22	1,50	0,00	1,00	0,00	0,00	0,20	0,00	1,00	0	korte termijn

Naam	Type	Naam	γuls -	γuls +	γsl s-	γsls +	ψ0	ψ1	ψ2	ξ	t0	kmod
		Geval 23 Geval 24										

2.4 Combinaties

2.4.1 uiterste grenstoestand - fundamentele combinatie

	Naam	Eigengewicht	permanente lasten	nuttige last H : daken	Wind
1	UGT FC 1	1,00 x 1,20	1,00 x 1,20	1,00 x 1,50	0,00
2	UGT FC 2	1,00 x 1,20	1,00 x 1,20	0,00	1,00 x 1,50
3	UGT FC 3	1,00 x 1,35	1,00 x 1,35	0,00	0,00
4	UGT FC 4	1,00 x 0,90	1,00 x 1,20	1,00 x 1,50	0,00
5	UGT FC 5	1,00 x 0,90	1,00 x 1,20	0,00	1,00 x 1,50
6	UGT FC 6	1,00 x 0,90	1,00 x 1,35	0,00	0,00
7	UGT FC 7	1,00 x 1,20	1,00 x 0,90	1,00 x 1,50	0,00
8	UGT FC 8	1,00 x 1,20	1,00 x 0,90	0,00	1,00 x 1,50
9	UGT FC 9	1,00 x 1,35	1,00 x 0,90	0,00	0,00
10	UGT FC 10	1,00 x 0,90	1,00 x 0,90	1,00 x 1,50	0,00
11	UGT FC 11	1,00 x 0,90	1,00 x 0,90	0,00	1,00 x 1,50
12	UGT FC 12	1,00 x 0,90	1,00 x 0,90	0,00	0,00

2.4.2 bruikbaarheidsgrenstoestand - zeldzame combinatie

	Naam	Eigengewicht	permanente lasten	nuttige last H : daken	Wind
1	BGT ZC 1	1,00 x 1,00	1,00 x 1,00	1,00 x 1,00	0,00
2	BGT ZC 2	1,00 x 1,00	1,00 x 1,00	0,00	1,00 x 1,00
3	BGT ZC 3	1,00 x 1,00	1,00 x 1,00	0,00	0,00

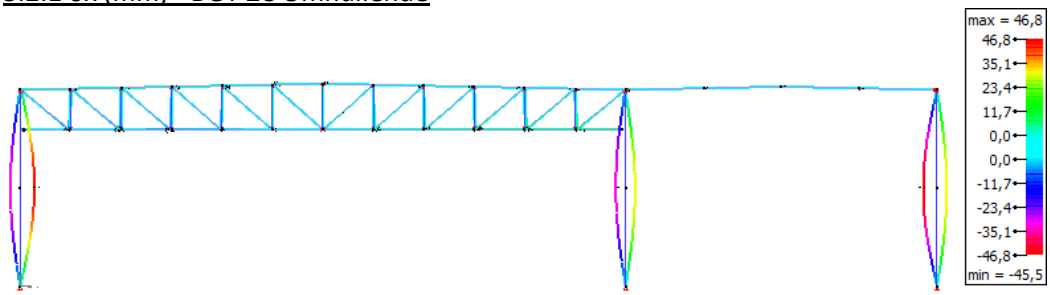
3 Resultaten

3.1 Software informatie

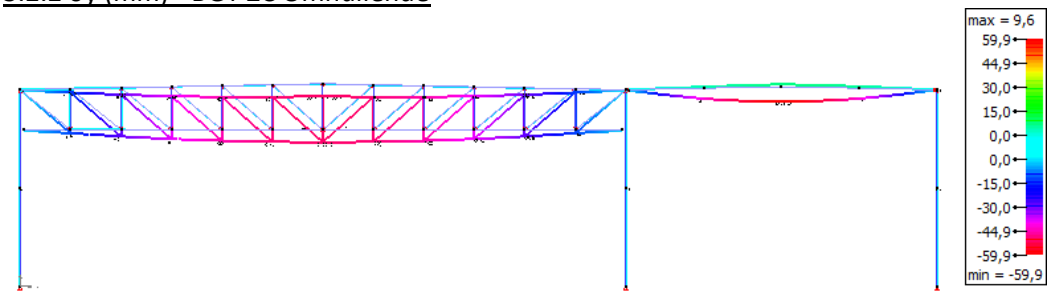
Structuur gemodelleerd met Diamonds Versie 2021.3.0.0
Structuur berekend met Buildsoft Server Versie 2021.3.0.0
Berekeningsnota afgeprint met Diamonds Versie 2021.3.0.0

3.2 Voorstelling algemene resultaten

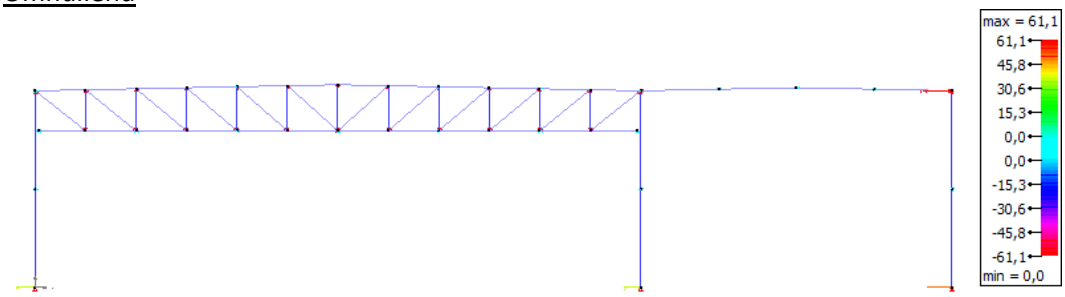
3.2.1 δx (mm) - BGT ZC Omhullende



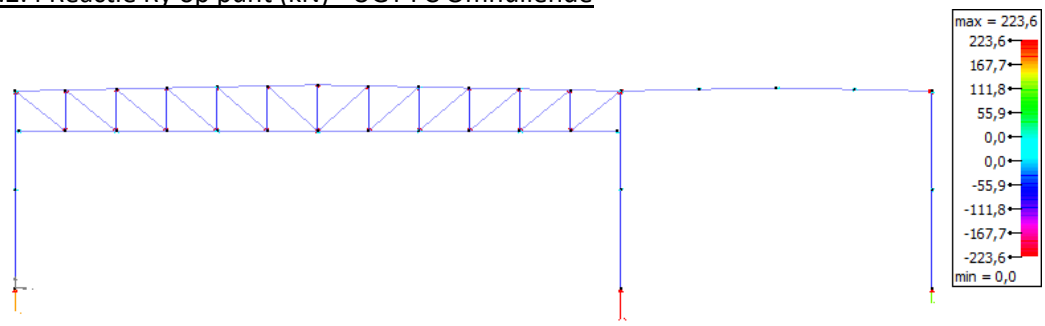
3.2.2 δy (mm) - BGT ZC Omhullende



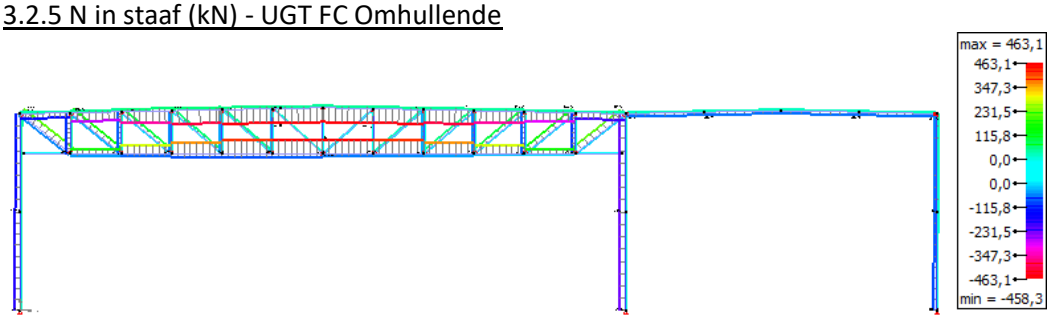
3.2.3 Reactie Rx op punt (kN) - UGT FC Omhullend



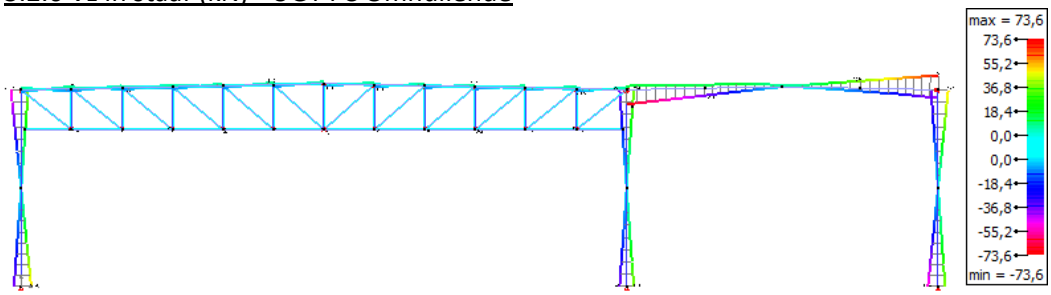
3.2.4 Reactie Ry op punt (kN) - UGT FC Omhullende



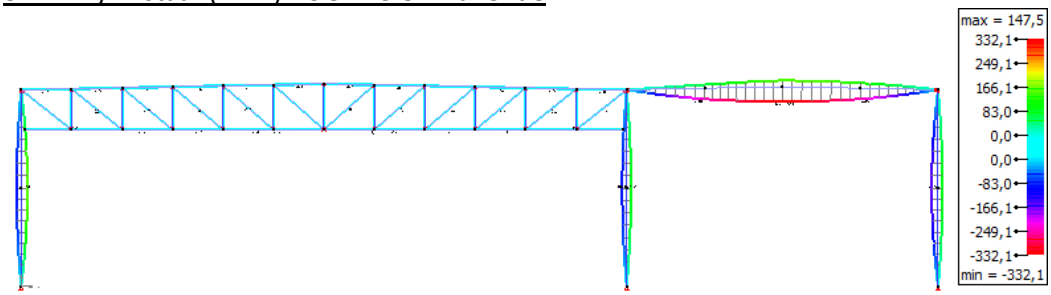
3.2.5 N in staaf (kN) - UGT FC Omhullende



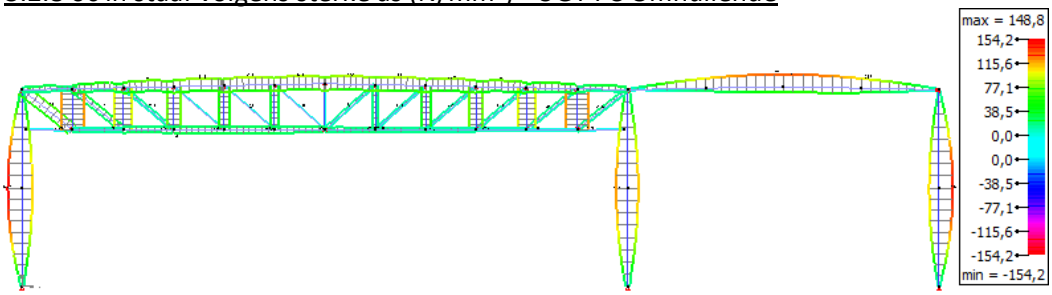
3.2.6 Vz in staaf (kN) - UGT FC Omhullende



3.2.7 My in staaf (kNm) - UGT FC Omhullende



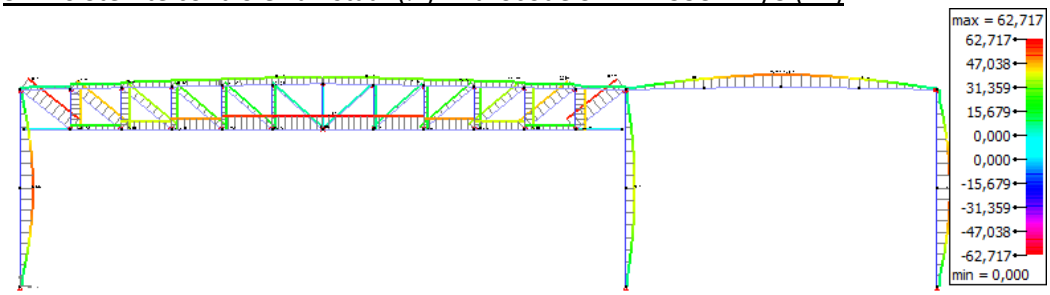
3.2.8 σc in staaf volgens sterke as (N/mm^2) - UGT FC Omhullende



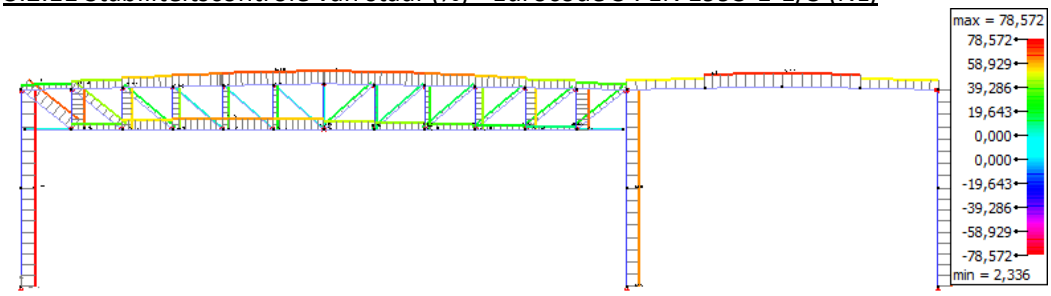
3.2.9 σt in staaf volgens sterke as (N/mm^2) - UGT FC Omhullende



3.2.10 Sterkte controle van staaf (%) - Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (NL)



3.2.11 Stabiliteitscontrole van staaf (%) - Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (NL)



3.3 Algemene resultaten

3.3.1 Doorbuiging staaf - BGT ZC Omhullende

Staaf	Dx (mm) (min)	Dx (mm) (max)	Dy (mm) (min)	Dy (mm) (max)	Dz (mm) (min)	Dz (mm) (max)	ϕx (°) (min)	ϕx (°) (max)	ϕy (°) (min)	ϕy (°) (max)	ϕz (°) (min)	ϕz (°) (max)
1	-5,7	0,1	-27,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0
2	-5,2	0,0	-38,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0

Staaf	Dx (mm) (min)	Dx (mm) (max)	Dy (mm) (min)	Dy (mm) (max)	Dz (mm) (min)	Dz (mm) (max)	ϕx (°) (min)	ϕx (°) (max)	ϕy (°) (min)	ϕy (°) (max)	ϕz (°) (min)	ϕz (°) (max)
3	-4,2	0,0	-46,0	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0
4	-3,0	0,3	-50,4	-1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
5	-1,6	1,5	-51,6	-1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
6	-0,5	3,0	-51,6	-2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
7	-0,2	4,4	-50,5	-3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
8	0,0	5,6	-46,0	-2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
9	0,2	6,6	-38,4	-2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
10	0,3	7,1	-27,8	-1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
11	-2,5	0,2	-15,7	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
12	-2,5	0,2	-28,6	-1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
13	-2,3	0,2	-39,0	-2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
14	-1,9	0,4	-46,5	-2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
15	-1,4	0,7	-50,7	-2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
16	-0,8	1,5	-51,7	-2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	-0,5	2,2	-51,7	-2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
18	-0,4	2,8	-50,7	-1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
19	-0,4	3,4	-46,4	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0
20	-0,3	3,7	-38,9	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0
21	-0,3	3,9	-28,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0
22	-0,4	3,9	-15,5	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0
23	-5,7	3,9	-15,5	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0
24	-5,2	3,7	-28,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0
25	-4,2	3,4	-38,9	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
26	-3,0	2,8	-46,4	-1,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
27	-1,6	2,2	-50,7	-1,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
28	-0,5	1,5	-51,6	-2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	-0,8	3,0	-50,7	-2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	-1,4	4,4	-46,5	-3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
31	-1,9	5,6	-39,0	-2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
32	-2,3	6,6	-28,6	-2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
33	-2,5	7,1	-15,7	-1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
34	-5,7	3,9	-14,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,1
35	-5,2	3,9	-27,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0
36	-4,2	3,7	-38,3	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0
37	-3,0	3,4	-46,0	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0
38	-1,6	2,8	-50,4	-1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
39	-1,2	2,2	-52,1	-2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,1
40	-2,4	7,1	-14,7	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
41	-2,5	6,6	-27,8	-1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
42	-2,3	5,6	-38,4	-2,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
43	-1,9	4,4	-46,0	-2,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
44	-1,4	3,0	-50,5	-3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,1
45	-0,8	1,9	-52,1	-2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,1
46	-31,9	46,8	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,8	0,5
47	-2,4	0,2	-43,0	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,6	0,1
48	-1,2	0,1	-59,9	9,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,4
49	-45,5	31,7	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,7	0,5

Staaf	Dx (mm) (min)	Dx (mm) (max)	Dy (mm) (min)	Dy (mm) (max)	Dz (mm) (min)	Dz (mm) (max)	ϕx (°) (min)	ϕx (°) (max)	ϕy (°) (min)	ϕy (°) (max)	ϕz (°) (min)	ϕz (°) (max)
50	-45,5	31,7	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	0,7
51	-32,4	30,7	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	0,5
52	-31,9	46,8	-0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	0,7
53	-1,6	0,2	-59,9	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,4	0,1
54	-0,9	0,1	-42,8	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,6
55	-32,4	30,7	-0,9	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	0,5
56	-5,7	0,1	-14,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0
57	0,3	7,1	-14,7	-1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3

3.3.2 Reactie in punt - UGT FC Omhullende

Punt	reactie F_x (kN) (min)	reactie F_x (kN) (max)	reactie F_y (kN) (min)	reactie F_y (kN) (max)	reactie F_z (kN) (min)	reactie F_z (kN) (max)	reactie M_x (kNm) (min)	reactie M_x (kNm) (max)	reactie M_y (kNm) (min)	reactie M_y (kNm) (max)	reactie M_z (kNm) (min)	reactie M_z (kNm) (max)
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	-52,3	36,5	-28,2	176,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	-96,3	61,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	-36,5	52,3	-15,0	109,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	-36,4	36,4	-21,5	223,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
33	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
34	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

3.3.3 NMV in staaf - UGT FC Omhullende

Staaf	N (kN) (min)	N (kN) (max)	Vz (kN) (min)	Vz (kN) (max)	Vy (kN) (min)	Vy (kN) (max)	My (kNm) (min)	My (kNm) (max)	Mz (kNm) (min)	Mz (kNm) (max)	Tx (kNm) (min)	Tx (kNm) (max)
1	-57,9	161,6	-1,2	0,2	0,0	0,0	-1,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
2	-91,5	283,9	-0,4	0,6	0,0	0,0	-1,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
3	-108,2	374,1	-0,5	0,4	0,0	0,0	-1,1	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
4	-107,4	433,1	-0,6	0,5	0,0	0,0	-1,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	-98,3	463,1	-0,6	0,8	0,0	0,0	-1,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
6	-79,4	463,1	-0,8	0,6	0,0	0,0	-1,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
7	-68,7	433,1	-0,5	0,5	0,0	0,0	-1,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
8	-55,4	374,1	-0,4	0,5	0,0	0,0	-1,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
9	-39,7	283,9	-0,6	0,4	0,0	0,0	-1,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
10	-21,2	161,6	-0,1	1,2	0,0	0,0	-1,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
11	-192,2	45,8	-11,9	10,0	0,0	0,0	-6,6	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0
12	-295,8	53,3	-10,3	11,6	0,0	0,0	-6,3	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0
13	-368,3	58,3	-10,7	11,2	0,0	0,0	-7,7	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
14	-424,4	61,5	-10,8	11,1	0,0	0,0	-8,3	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
15	-454,5	62,8	-11,1	11,0	0,0	0,0	-8,6	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
16	-458,3	62,5	-11,2	11,1	0,0	0,0	-8,4	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
17	-458,3	62,5	-11,1	11,2	0,0	0,0	-8,4	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
18	-454,5	71,8	-11,0	11,5	0,0	0,0	-8,6	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
19	-424,4	80,7	-11,1	10,8	0,0	0,0	-8,2	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0
20	-365,2	81,0	-11,2	10,7	0,0	0,0	-7,7	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0
21	-274,7	63,9	-11,6	10,2	0,0	0,0	-6,3	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0
22	-152,3	45,8	-11,2	11,9	0,0	0,0	-6,7	6,1	0,0	0,0	0,0	0,0
23	-124,8	46,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	-98,2	27,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	-73,3	14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	-55,1	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	-42,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28	-5,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	-25,3	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	-48,7	12,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31	-73,3	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
32	-98,2	15,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
33	-124,8	18,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
34	-73,7	205,6	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
35	-43,3	157,0	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36	-21,6	117,2	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
37	-4,1	87,3	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
38	-1,7	65,2	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
39	0,5	28,0	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
40	-27,0	205,6	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
41	-23,9	157,0	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
42	-20,4	117,2	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
43	-17,5	77,4	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
44	-14,4	39,7	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
45	-19,4	5,1	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Staaf	N (kN) (min)	N (kN) (max)	Vz (kN) (min)	Vz (kN) (max)	Vy (kN) (min)	Vy (kN) (max)	My (kNm) (min)	My (kNm) (max)	Mz (kNm) (min)	Mz (kNm) (max)	Tx (kNm) (min)	Tx (kNm) (max)
46	-176,6	39,1	-36,5	52,3	0,0	0,0	-102,9	147,5	0,0	0,0	0,0	0,0
47	-88,3	36,8	-73,6	19,3	0,0	0,0	-248,6	82,7	0,0	0,0	0,0	0,0
48	-87,9	37,1	-15,0	36,9	0,0	0,0	-332,1	145,8	0,0	0,0	0,0	0,0
49	-95,3	42,3	-36,5	52,3	0,0	0,0	-147,5	102,9	0,0	0,0	0,0	0,0
50	-109,8	25,8	-52,3	36,5	0,0	0,0	-147,5	102,9	0,0	0,0	0,0	0,0
51	-223,6	25,3	-36,4	36,4	0,0	0,0	-102,8	102,8	0,0	0,0	0,0	0,0
52	-162,1	55,6	-52,3	36,5	0,0	0,0	-102,9	147,5	0,0	0,0	0,0	0,0
53	-87,9	37,1	-36,9	20,4	0,0	0,0	-332,1	142,2	0,0	0,0	0,0	0,0
54	-88,3	36,8	-41,6	73,6	0,0	0,0	-248,6	121,3	0,0	0,0	0,0	0,0
55	-218,5	29,1	-36,4	36,4	0,0	0,0	-102,8	102,8	0,0	0,0	0,0	0,0
56	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
57	0,0	0,0	-0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0

3.3.4 Spanning in staaf - UGT FC Omhullende

Staaf	σc sterke as (N/mm²) (min)	σc sterke as (N/mm²) (max)	σt sterke as (N/mm²) (min)	σt sterke as (N/mm²) (max)	σc zwakke as (N/mm²) (min)	σc zwakke as (N/mm²) (max)	σt zwakke as (N/mm²) (min)	σt zwakke as (N/mm²) (max)
1	-23,6	16,3	-58,2	58,4	-18,4	18,4	-51,4	51,4
2	-32,8	27,6	-98,2	85,6	-29,1	29,1	-90,3	90,3
3	-38,1	32,7	-126,3	114,4	-34,4	34,4	-119,1	119,1
4	-37,0	32,9	-146,6	132,2	-34,2	34,2	-137,9	137,9
5	-34,0	31,7	-154,9	147,4	-31,3	31,3	-147,4	147,4
6	-27,8	25,8	-154,9	147,4	-25,3	25,3	-147,4	147,4
7	-24,3	21,3	-146,6	132,2	-21,9	21,9	-137,9	137,9
8	-19,6	17,3	-126,3	114,4	-17,6	17,6	-119,1	119,1
9	-14,6	13,0	-98,2	85,6	-12,7	12,7	-90,3	90,3
10	-11,9	6,3	-58,2	58,4	-6,7	6,7	-51,5	51,5
11	-35,0	42,8	-8,0	8,6	-29,9	29,9	-7,1	7,1
12	-51,1	58,0	-9,1	9,5	-46,0	46,0	-8,3	8,3
13	-59,0	71,6	-9,5	10,5	-57,2	57,2	-9,1	9,1
14	-65,8	82,0	-10,0	11,0	-66,0	66,0	-9,6	9,6
15	-69,6	87,4	-10,2	11,3	-70,6	70,6	-9,8	9,8
16	-71,2	87,4	-10,1	11,9	-71,2	71,2	-9,7	9,7
17	-71,2	87,4	-10,1	11,9	-71,2	71,2	-9,7	9,7
18	-69,6	87,4	-12,3	12,9	-70,6	70,6	-11,2	11,2
19	-65,8	81,8	-16,5	20,5	-66,0	66,0	-12,5	12,5
20	-58,1	71,6	-16,5	19,7	-56,8	56,8	-12,6	12,6
21	-47,9	54,9	-17,1	15,5	-42,7	42,7	-9,9	9,9
22	-28,8	36,6	-11,8	16,5	-23,7	23,7	-7,1	7,1
23	-123,0	123,0	-46,2	46,2	-123,0	123,0	-46,2	46,2
24	-96,7	96,7	-27,4	27,4	-96,7	96,7	-27,4	27,4
25	-72,2	72,2	-14,6	14,6	-72,2	72,2	-14,6	14,6
26	-54,3	54,3	-3,4	3,4	-54,3	54,3	-3,4	3,4
27	-41,4	41,4	-2,1	2,1	-41,4	41,4	-2,1	2,1
28	-5,3	5,3	-0,5	0,5	-5,3	5,3	-0,5	0,5

Staaf	σc sterke as (N/mm²) (min)	σc sterke as (N/mm²) (max)	σt sterke as (N/mm²) (min)	σt sterke as (N/mm²) (max)	σc zwakke as (N/mm²) (min)	σc zwakke as (N/mm²) (max)	σt zwakke as (N/mm²) (min)	σt zwakke as (N/mm²) (max)
29	-25,0	25,0	-10,3	10,3	-25,0	25,0	-10,3	10,3
30	-48,0	48,0	-12,0	12,0	-48,0	48,0	-12,0	12,0
31	-72,2	72,2	-13,8	13,8	-72,2	72,2	-13,8	13,8
32	-96,7	96,7	-15,3	15,3	-96,7	96,7	-15,3	15,3
33	-123,0	123,0	-17,9	17,9	-123,0	123,0	-17,9	17,9
34	-59,7	64,4	-172,7	166,4	-59,7	59,7	-166,4	166,4
35	-35,0	39,8	-133,5	127,1	-35,0	35,0	-127,1	127,1
36	-17,5	22,3	-101,2	94,8	-17,5	17,5	-94,8	94,8
37	-3,3	8,1	-77,1	70,7	-3,3	3,3	-70,7	70,7
38	-1,3	6,8	-59,3	52,8	-1,3	1,3	-52,8	52,8
39	0,0	6,0	-29,3	22,7	0,0	0,0	-22,7	22,7
40	-21,9	26,6	-172,7	166,4	-21,9	21,9	-166,4	166,4
41	-19,4	24,1	-133,5	127,1	-19,4	19,4	-127,1	127,1
42	-16,5	21,3	-101,2	94,8	-16,5	16,5	-94,8	94,8
43	-14,2	19,0	-69,1	62,6	-14,2	14,2	-62,6	62,6
44	-11,6	17,1	-38,7	32,1	-11,6	11,6	-32,1	32,1
45	-15,7	22,1	-10,7	4,1	-15,7	15,7	-4,1	4,1
46	-154,2	110,7	-100,9	142,1	-18,2	18,2	-4,0	4,0
47	-31,3	104,7	-102,7	36,4	-6,6	6,6	-2,7	2,7
48	-57,2	135,2	-137,0	62,2	-6,5	6,5	-2,8	2,8
49	-107,5	148,8	-144,4	100,3	-9,8	9,8	-4,3	4,3
50	-107,5	148,8	-144,4	100,3	-11,3	11,3	-2,7	2,7
51	-122,4	113,9	-91,8	83,3	-23,0	23,0	-2,6	2,6
52	-154,2	110,7	-100,9	142,1	-16,7	16,7	-5,7	5,7
53	-55,7	135,2	-137,0	60,8	-6,5	6,5	-2,8	2,8
54	-47,2	104,7	-102,7	52,2	-6,6	6,6	-2,7	2,7
55	-122,4	113,9	-91,8	83,3	-22,5	22,5	-3,0	3,0
56	-7,8	0,0	0,0	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0
57	-7,8	0,0	0,0	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0

3.3.5 Controle van staven

Staaf	Weerstand (%)	Stabiliteit (%)
1	21,894 ~ 21,894	34,297
2	38,446 ~ 38,446	53,894
3	50,673 ~ 50,673	62,954
4	58,664 ~ 58,664	63,070
5	62,717 ~ 62,717	57,376
6	62,717 ~ 62,717	46,935
7	58,664 ~ 58,664	41,509
8	50,673 ~ 50,673	33,562
9	38,447 ~ 38,447	25,061
10	21,894 ~ 21,894	14,070
11	12,701 ~ 12,713	32,314
12	19,550 ~ 19,563	46,520

Staaf	Weerstand (%)	Stabiliteit (%)
13	24,343 ~ 24,355	57,670
14	28,052 ~ 28,064	65,931
15	30,043 ~ 30,056	70,385
16	30,299 ~ 30,311	70,728
17	30,299 ~ 30,311	70,728
18	30,043 ~ 30,056	70,376
19	28,052 ~ 28,064	65,832
20	24,138 ~ 24,150	57,180
21	18,156 ~ 18,168	43,489
22	10,058 ~ 10,071	26,704
23	44,631 ~ 44,710	68,237
24	35,099 ~ 35,180	55,178
25	26,174 ~ 26,256	42,350
26	19,667 ~ 19,751	32,780
27	14,966 ~ 15,053	25,717
28	1,862 ~ 1,928	3,392
29	8,989 ~ 9,076	15,506
30	17,382 ~ 17,467	28,988
31	26,174 ~ 26,257	42,350
32	35,099 ~ 35,180	55,178
33	44,631 ~ 44,710	68,237
34	60,449 ~ 60,526	69,445
35	46,141 ~ 46,220	41,983
36	34,406 ~ 34,487	22,006
37	25,608 ~ 25,691	5,260
38	19,114 ~ 19,199	2,952
39	8,167 ~ 8,254	2,336
40	60,449 ~ 60,526	26,276
41	46,141 ~ 46,220	23,773
42	34,406 ~ 34,487	20,776
43	22,693 ~ 22,776	18,329
44	11,605 ~ 11,690	15,560
45	5,632 ~ 5,697	21,210
46	11,807 ~ 56,444	78,541
47	7,493 ~ 40,979	52,442
48	40,979 ~ 53,725	74,818
49	12,134 ~ 56,444	71,191
50	11,807 ~ 56,444	71,161
51	9,754 ~ 39,315	64,003
52	12,134 ~ 56,444	78,572
53	40,979 ~ 53,725	74,803
54	7,493 ~ 40,979	52,431
55	9,337 ~ 39,315	64,003
56	0,000 ~ 2,956	3,130
57	0,000 ~ 2,956	3,130

Bijlage Q: Rapport DB – Definitief middenportaal met wind, zonder zonnepanelen

Inhoudsopgave

1 Geometrie
  1.1 Software informatie
  1.2 Geometrie voorstelling (m)
  1.3 Geometrie gegevens
    1.3.1 Punten
    1.3.2 Staven
  1.4 Materiaalgegevens
    1.4.1 Staal S275
      1.4.1.1 Elastische materiaaleigenschappen
      1.4.1.2 Sterkte-eigenschappen volgens Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (--)
    1.4.2 Staal S235
      1.4.2.1 Elastische materiaaleigenschappen
      1.4.2.2 Sterkte-eigenschappen volgens Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (--)
2 Lasten
  2.1 Software informatie
  2.2 Gegevens lasten
    2.2.1 Eigengewicht
      2.2.1.1 Staven
    2.2.2 permanente lasten
      2.2.2.1 Staven
    2.2.3 Wind - Geval 1
      2.2.3.1 Staven
    2.2.4 Wind - Geval 2
      2.2.4.1 Staven
    2.2.5 Wind - Geval 3
      2.2.5.1 Staven
    2.2.6 Wind - Geval 4
      2.2.6.1 Staven
    2.2.7 Wind - Geval 5
      2.2.7.1 Staven
    2.2.8 Wind - Geval 6
      2.2.8.1 Staven
    2.2.9 Wind - Geval 7
      2.2.9.1 Staven
    2.2.10 Wind - Geval 8
      2.2.10.1 Staven
    2.2.11 Wind - Geval 9
      2.2.11.1 Staven
    2.2.12 Wind - Geval 10
      2.2.12.1 Staven
    2.2.13 Wind - Geval 11
      2.2.13.1 Staven
    2.2.14 Wind - Geval 12
      2.2.14.1 Staven
    2.2.15 Wind - Geval 13
      2.2.15.1 Staven
    2.2.16 Wind - Geval 14
      2.2.16.1 Staven
    2.2.17 Wind - Geval 15

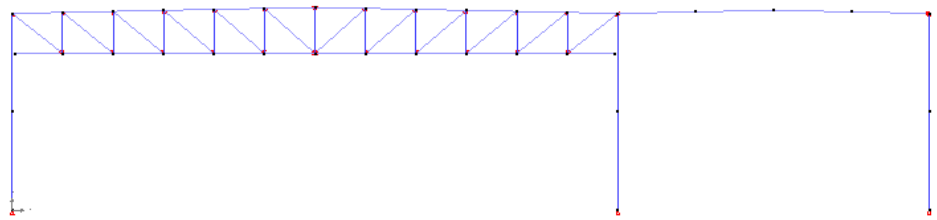
2.2.17.1 Staven
2.2.18 Wind - Geval 16
2.2.18.1 Staven
2.2.19 Wind - Geval 17
2.2.19.1 Staven
2.2.20 Wind - Geval 18
2.2.20.1 Staven
2.2.21 Wind - Geval 19
2.2.21.1 Staven
2.2.22 Wind - Geval 20
2.2.22.1 Staven
2.2.23 Wind - Geval 21
2.2.23.1 Staven
2.2.24 Wind - Geval 22
2.2.24.1 Staven
2.2.25 Wind - Geval 23
2.2.25.1 Staven
2.2.26 Wind - Geval 24
2.2.26.1 Staven
2.3 Lastengroepen
2.4 Combinaties
2.4.1 uiterste grenstoestand - fundamentele combinatie
2.4.2 bruikbaarheidsgrenstoestand - zeldzame combinatie
3 Resultaten
3.1 Software informatie
3.2 Voorstelling algemene resultaten
3.2.1 δx (mm) - BGT ZC Omhullende
3.2.2 δy (mm) - BGT ZC Omhullende
3.2.3 Reactie Rx op punt (kN) - UGT FC Omhullende
3.2.4 Reactie Ry op punt (kN) - UGT FC Omhullende
3.2.5 N in staaf (kN) - UGT FC Omhullende
3.2.6 Vz in staaf (kN) - UGT FC Omhullende
3.2.7 My in staaf (kNm) - UGT FC Omhullende
3.2.8 σc in staaf volgens sterke as (N/mm^2) - UGT FC Omhullende
3.2.9 σt in staaf volgens sterke as (N/mm^2) - UGT FC Omhullende
3.2.10 Sterkte controle van staaf (%) - Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (--)
3.2.11 Stabiliteitscontrole van staaf (%) - Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (--)
3.3 Algemene resultaten
3.3.1 Doorbuiging staaf - BGT ZC Omhullende
3.3.2 Reactie in punt - UGT FC Omhullende
3.3.3 NMV in staaf - UGT FC Omhullende
3.3.4 Spanning in staaf - UGT FC Omhullende
3.3.5 Controle van staven

1 Geometrie

1.1 Software informatie

Structuur gemodelleerd met Diamonds Versie 2021.3.0.0
Structuur berekend met Buildsoft Server Versie 2021.3.0.0
Berekeningsnota afgeprint met Diamonds Versie 2021.3.0.0

1.2 Geometrie voorstelling (m)



1.3 Geometrie gegevens

1.3.1 Punten

Punt	Label	X (m)	Y (m)	Z (m)	Ondersteuning (kN/m,kNm/Rad)	Commentaar
1	-	2,92	9,00	0,00	vrij	-
2	-	5,83	9,00	0,00	kz	-
3	-	8,75	9,00	0,00	vrij	-
4	-	11,67	9,00	0,00	kz	-
5	-	14,58	9,00	0,00	vrij	-
6	-	17,50	9,00	0,00	kz	-
7	-	20,42	9,00	0,00	vrij	-
8	-	23,33	9,00	0,00	kz	-
9	-	26,25	9,00	0,00	vrij	-
10	-	29,17	9,00	0,00	kz	-
11	-	32,08	9,00	0,00	vrij	-
12	-	35,00	11,29	0,00	kz	-
13	-	32,08	11,35	0,00	vrij	-
14	-	29,17	11,41	0,00	kz	-
15	-	26,25	11,47	0,00	vrij	-
16	-	23,33	11,52	0,00	kz	-
17	-	20,42	11,58	0,00	vrij	-
18	-	17,50	11,64	0,00	kz	-
19	-	14,58	11,58	0,00	vrij	-
20	-	11,67	11,52	0,00	kz	-

Punt	Label	X (m)	Y (m)	Z (m)	Ondersteuning (kN/m,kNm/Rad)	Commentaar
21	-	8,75	11,47	0,00	vrij	-
22	-	5,83	11,41	0,00	kz	-
23	-	2,92	11,35	0,00	vrij	-
24	-	0,00	11,29	0,00	kz	-
25	-	0,00	0,00	0,00	kx;ky;kz	-
26	-	44,00	11,47	0,00	kz	-
27	-	53,00	11,29	0,00	kx;kz	-
28	-	53,00	5,65	0,00	kz	-
29	-	53,00	0,00	0,00	kx;ky;kz	-
30	-	35,00	0,00	0,00	kx;ky;kz	-
31	-	0,00	5,65	0,00	kz	-
32	-	39,50	11,38	0,00	kz	-
33	-	48,50	11,38	0,00	kz	-
34	-	35,00	5,65	0,00	kz	-
35	-	0,20	9,00	0,00	kz	-
36	-	34,80	9,00	0,00	kz	-

1.3.2 Staven

Staaf	Label	begin knoop	einde knoop	doorsnede	lengte (m)	Brandcurve	Vereiste brandweerstand (min)
1	-	1	2	HEA 140	2,92	-	-
2	-	2	3	HEA 140	2,92	-	-
3	-	3	4	HEA 140	2,92	-	-
4	-	4	5	HEA 140	2,92	-	-
5	-	5	6	HEA 140	2,92	-	-
6	-	6	7	HEA 140	2,92	-	-
7	-	7	8	HEA 140	2,92	-	-
8	-	8	9	HEA 140	2,92	-	-
9	-	9	10	HEA 140	2,92	-	-
10	-	10	11	HEA 140	2,92	-	-
11	-	13	12	HEA 220	2,92	-	-
12	-	14	13	HEA 220	2,92	-	-
13	-	15	14	HEA 220	2,92	-	-
14	-	16	15	HEA 220	2,92	-	-
15	-	17	16	HEA 220	2,92	-	-
16	-	18	17	HEA 220	2,92	-	-
17	-	19	18	HEA 220	2,92	-	-
18	-	20	19	HEA 220	2,92	-	-
19	-	21	20	HEA 220	2,92	-	-
20	-	22	21	HEA 220	2,92	-	-
21	-	23	22	HEA 220	2,92	-	-
22	-	24	23	HEA 220	2,92	-	-
23	-	1	23	SHS 70x70x4	2,35	-	-
24	-	2	22	SHS 70x70x4	2,41	-	-
25	-	3	21	SHS 70x70x4	2,47	-	-
26	-	4	20	SHS 70x70x4	2,52	-	-

Staaf	Label	begin knoop	einde knoop	doorsnede	lengte (m)	Brandcurve	Vereiste brandweerstand (min)
27	-	5	19	SHS 70x70x4	2,58	-	-
28	-	6	18	SHS 70x70x4	2,64	-	-
29	-	7	17	SHS 70x70x4	2,58	-	-

Staaf	Beschermmateriaal	Dikte bescherming (mm)	Profielfactor (m-1)	Toevallige excentriciteit (mm)
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	-	-	-	-
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-

Staaf	Excentriciteit Y'	Excentriciteit Z'	Commentaar
1	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
2	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
3	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-

Staaf	Excentriciteit Y'	Excentriciteit Z'	Commentaar
4	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
5	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
6	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
7	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
8	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
9	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
10	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
11	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
12	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
13	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
14	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
15	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
16	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
17	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
18	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
19	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
20	geen uitlijning begin: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit	-

Staaf	Excentriciteit Y'	Excentriciteit Z'	Commentaar
	einde: geen excentriciteit	einde: geen excentriciteit	
21	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
22	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
23	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
24	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
25	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
26	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
27	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
28	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
29	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-

Staaf	Label	begin knoop	einde knoop	doorsnede	lengte (m)	Brandcurve	Vereiste brandweerstand (min)
30	-	8	16	SHS 70x70x4	2,52	-	-
31	-	9	15	SHS 70x70x4	2,47	-	-
32	-	10	14	SHS 70x70x4	2,41	-	-
33	-	11	13	SHS 70x70x4	2,35	-	-
34	-	24	1	SHS 70x70x5	3,71	-	-
35	-	23	2	SHS 70x70x5	3,74	-	-
36	-	22	3	SHS 70x70x5	3,78	-	-
37	-	21	4	SHS 70x70x5	3,82	-	-
38	-	20	5	SHS 70x70x5	3,86	-	-
39	-	19	6	SHS 70x70x5	3,90	-	-
40	-	11	12	SHS 70x70x5	3,71	-	-
41	-	10	13	SHS 70x70x5	3,74	-	-
42	-	9	14	SHS 70x70x5	3,78	-	-
43	-	8	15	SHS 70x70x5	3,82	-	-
44	-	7	16	SHS 70x70x5	3,86	-	-
45	-	6	17	SHS 70x70x5	3,90	-	-
46	-	25	31	HEA 280	5,65	-	-

Staaf	Label	begin knoop	einde knoop	doorsnede	lengte (m)	Brandcurve	Vereiste brandweerstand (min)
47	-	12	32	IPE 550	4,50	-	-
48	-	26	33	IPE 550	4,50	-	-
49	-	28	27	HEA 280	5,65	-	-
50	-	29	28	HEA 280	5,65	-	-
51	-	30	34	HEA 180	5,65	-	-
52	-	31	24	HEA 280	5,65	-	-
53	-	32	26	IPE 550	4,50	-	-
54	-	33	27	IPE 550	4,50	-	-
55	-	34	12	HEA 180	5,65	-	-
56	-	35	1	HEA 140	2,72	-	-
57	-	11	36	HEA 140	2,72	-	-
totaal					194,38		

Staaf	Beschermmateriaal	Dikte bescherming (mm)	Profielfactor (m-1)	Toevallige excentriciteit (mm)
30	-	-	-	-
31	-	-	-	-
32	-	-	-	-
33	-	-	-	-
34	-	-	-	-
35	-	-	-	-
36	-	-	-	-
37	-	-	-	-
38	-	-	-	-
39	-	-	-	-
40	-	-	-	-
41	-	-	-	-
42	-	-	-	-
43	-	-	-	-
44	-	-	-	-
45	-	-	-	-
46	-	-	-	-
47	-	-	-	-
48	-	-	-	-
49	-	-	-	-
50	-	-	-	-
51	-	-	-	-
52	-	-	-	-
53	-	-	-	-
54	-	-	-	-
55	-	-	-	-
56	-	-	-	-
57	-	-	-	-
totaal				

Staaf	Excentriciteit Y'	Excentriciteit Z'	Commentaar
30	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
31	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
32	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
33	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
34	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
35	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
36	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
37	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
38	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
39	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
40	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
41	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
42	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
43	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
44	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
45	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
46	geen uitlijning begin: geen excentriciteit	geen uitlijning begin: geen excentriciteit	-

Staaf	Excentriciteit Y'	Excentriciteit Z'	Commentaar
	einde: geen excentriciteit	einde: geen excentriciteit	
47	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
48	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
49	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
50	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
51	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
52	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
53	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
54	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
55	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
56	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
57	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
totaal			

1.4 Materiaalgegevens

1.4.1 Staal S275

1.4.1.1 Elastische materiaaleigenschappen

Dichtheid = 7850,0 kg/m^3
Elasticiteitsmodulus E = 210000 N/mm^2
Coëfficiënt van Poisson v = 0,300
Glijdingsmodulus G = 80769 N/mm^2
Thermische uitzettingscoëfficiënt = 0,000012 /°C

1.4.1.2 Sterkte-eigenschappen volgens Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (--)

Sterkte:

dikte (mm)	**0,0 - 40,0**	**40,0 - 150,0**
vloeigrens fy (N/mm²)	275,0	255,0
breukgrens fu (N/mm²)	430,0	410,0

Veiligheidscoëfficiënt:

γ_{M0} = 1,00
γ_{M1} = 1,00
γ_{M2} = 1,25
γ_{M3} = 1,25
γ_{M4} = 1,00
γ_{M5} = 1,00
γ_{M6} = 1,00
γ_{M7} = 1,10

1.4.2 Staal S235

1.4.2.1 Elastische materiaaleigenschappen

Dichtheid = 7850,0 kg/m^3
Elasticiteitsmodulus E = 210000 N/mm^2
Coëfficiënt van Poisson v = 0,300
Glijdingsmodulus G = 80769 N/mm^2
Thermische uitzettingscoëfficiënt = 0,000012 /°C

1.4.2.2 Sterkte-eigenschappen volgens Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (--)

Sterkte:

dikte (mm)	**0,0 - 40,0**	**40,0 - 150,0**
vloeigrens fy (N/mm²)	235,0	215,0
breukgrens fu (N/mm²)	360,0	360,0

Veiligheidscoëfficiënt:

γ_{M0} = 1,00
γ_{M1} = 1,00
γ_{M2} = 1,25
γ_{M3} = 1,25
γ_{M4} = 1,00
γ_{M5} = 1,00
γ_{M6} = 1,00
γ_{M7} = 1,10

2 Lasten

2.1 Software informatie

Structuur gemodelleerd met Diamonds Versie 2021.3.0.0
Structuur berekend met Buildsoft Server Versie 2021.3.0.0
Berekeningsnota afgeprint met Diamonds Versie 2021.3.0.0

2.2 Gegevens lasten

2.2.1 Eigengewicht

2.2.1.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
1	-	1	2	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
2	-	2	3	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
3	-	3	4	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
4	-	4	5	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
5	-	5	6	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
6	-	6	7	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
7	-	7	8	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
8	-	8	9	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
9	-	9	10	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
10	-	10	11	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
11	-	13	12	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
12	-	14	13	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
13	-	15	14	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
14	-	16	15	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
15	-	17	16	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
16	-	18	17	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
17	-	19	18	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
18	-	20	19	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
19	-	21	20	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
20	-	22	21	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
21	-	23	22	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
22	-	24	23	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
23	-	1	23	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
24	-	2	22	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
25	-	3	21	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
26	-	4	20	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
27	-	5	19	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
28	-	6	18	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
29	-	7	17	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
30	-	8	16	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
31	-	9	15	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
32	-	10	14	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
33	-	11	13	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
34	-	24	1	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
35	-	23	2	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
36	-	22	3	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
37	-	21	4	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
38	-	20	5	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
39	-	19	6	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
40	-	11	12	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
41	-	10	13	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
42	-	9	14	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
43	-	8	15	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
44	-	7	16	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
45	-	6	17	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
46	-	25	31	Verdeelde last	0,7	0,7	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
47	-	12	32	Verdeelde last	1,0	1,0	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
48	-	26	33	Verdeelde last	1,0	1,0	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
49	-	28	27	Verdeelde last	0,7	0,7	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
50	-	29	28	Verdeelde last	0,7	0,7	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
51	-	30	34	Verdeelde last	0,3	0,3	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
52	-	31	24	Verdeelde last	0,7	0,7	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
53	-	32	26	Verdeelde last	1,0	1,0	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
54	-	33	27	Verdeelde last	1,0	1,0	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
55	-	34	12	Verdeelde last	0,3	0,3	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
56	-	35	1	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
57	-	11	36	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y

2.2.2 permanente lasten

2.2.2.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
12	-	14	13	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
13	-	15	14	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
14	-	16	15	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
15	-	17	16	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
16	-	18	17	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
17	-	19	18	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
18	-	20	19	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
19	-	21	20	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
20	-	22	21	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
21	-	23	22	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
22	-	24	23	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
46	-	25	31	Verdeelde last	2,5	2,5	kN/m	2,50	0,00	globaal Y
47	-	12	32	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
48	-	26	33	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
49	-	28	27	Verdeelde last	2,5	2,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
50	-	29	28	Verdeelde last	2,5	2,5	kN/m	2,50	0,00	globaal Y
52	-	31	24	Verdeelde last	2,5	2,5	kN/m	0,00	2,29	globaal Y
52	-	31	24	Verdeelde last	2,5	2,5	kN/m	3,36	0,00	globaal Y
53	-	32	26	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
54	-	33	27	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y

2.2.3 Wind - Geval 1

2.2.3.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,03	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	2,89	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,59	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	2,33	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	-6,2	-6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-1,1	-1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-1,1	-1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	-6,2	-6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.4 Wind - Geval 2

2.2.4.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,03	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	2,89	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,59	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	2,33	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	-6,2	-6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-1,1	-1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-1,1	-1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	-6,2	-6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.5 Wind - Geval 3

2.2.5.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,03	lokaal z'

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
19	-	21	20	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	2,89	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,59	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	2,33	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	-6,2	-6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-1,1	-1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-1,1	-1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	-6,2	-6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.6 Wind - Geval 4

2.2.6.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,03	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	2,89	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,59	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	2,33	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	-6,2	-6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-1,1	-1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-1,1	-1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	-6,2	-6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.7 Wind - Geval 5

2.2.7.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,03	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	2,89	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-6,7	-6,7	kN/m	0,00	0,59	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	2,33	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	-3,4	-3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	-3,4	-3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.8 Wind - Geval 6

2.2.8.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
19	-	21	20	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,03	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-6,7	-6,7	kN/m	0,00	0,59	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	2,33	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	-3,4	-3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	-3,4	-3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.9 Wind - Geval 7

2.2.9.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
19	-	21	20	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,03	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-6,7	-6,7	kN/m	0,00	0,59	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	2,33	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	-3,4	-3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	-3,4	-3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.10 Wind - Geval 8

2.2.10.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
19	-	21	20	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,03	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-6,7	-6,7	kN/m	0,00	0,59	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	2,33	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	-3,4	-3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	-3,4	-3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.11 Wind - Geval 9

2.2.11.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
15	-	17	16	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	1,1	1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	6,2	6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	6,2	6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	1,1	1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	1,86	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	2,64	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	2,17	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	2,33	lokaal z'

2.2.12 Wind - Geval 10

2.2.12.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	1,1	1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	6,2	6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	6,2	6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
52	-	31	24	Verdeelde last	1,1	1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	1,86	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	2,64	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	2,17	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	2,33	lokaal z'

2.2.13 Wind - Geval 11

2.2.13.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	1,1	1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	6,2	6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	6,2	6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	1,1	1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	1,86	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	2,64	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	2,17	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	2,33	lokaal z'

2.2.14 Wind - Geval 12

2.2.14.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	1,1	1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	6,2	6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	6,2	6,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	1,1	1,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	1,86	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	2,64	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-3,9	-3,9	kN/m	2,17	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	2,33	lokaal z'

2.2.15 Wind - Geval 13

2.2.15.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
20	-	22	21	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	3,9	3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	3,4	3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	3,4	3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	3,9	3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	1,86	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	2,64	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-6,7	-6,7	kN/m	2,17	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	2,33	lokaal z'

2.2.16 Wind - Geval 14

2.2.16.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
46	-	25	31	Verdeelde last	3,9	3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	3,4	3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	3,4	3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	3,9	3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	1,86	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-6,7	-6,7	kN/m	2,17	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	2,33	lokaal z'

2.2.17 Wind - Geval 15

2.2.17.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
46	-	25	31	Verdeelde last	3,9	3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	3,4	3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	3,4	3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
52	-	31	24	Verdeelde last	3,9	3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	1,86	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-6,7	-6,7	kN/m	2,17	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	2,33	lokaal z'

2.2.18 Wind - Geval 16

2.2.18.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
46	-	25	31	Verdeelde last	3,9	3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	3,4	3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	3,4	3,4	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	3,9	3,9	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	1,86	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-6,7	-6,7	kN/m	2,17	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-5,1	-5,1	kN/m	0,00	2,33	lokaal z'

2.2.19 Wind - Geval 17

2.2.19.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	1,5	1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
47	-	12	32	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-1,5	-1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-1,5	-1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	1,5	1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.20 Wind - Geval 18

2.2.20.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	1,5	1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-1,5	-1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-1,5	-1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	1,5	1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.21 Wind - Geval 19

2.2.21.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	4,3	4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-4,3	-4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-4,3	-4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	4,3	4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.22 Wind - Geval 20

2.2.22.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
46	-	25	31	Verdeelde last	4,3	4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-4,3	-4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-4,3	-4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	4,3	4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.23 Wind - Geval 21

2.2.23.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	1,5	1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-1,5	-1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-1,5	-1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	1,5	1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	0,6	0,6	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.24 Wind - Geval 22

2.2.24.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
22	-	24	23	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	1,5	1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-1,5	-1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-1,5	-1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	1,5	1,5	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	2,8	2,8	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.25 Wind - Geval 23

2.2.25.1 Staven

staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
12	-	14	13	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
13	-	15	14	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
14	-	16	15	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
15	-	17	16	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
16	-	18	17	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
17	-	19	18	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
18	-	20	19	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
19	-	21	20	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
20	-	22	21	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
21	-	23	22	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
22	-	24	23	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
46	-	25	31	Verdeelde last	4,3	4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
47	-	12	32	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
48	-	26	33	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-4,3	-4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-4,3	-4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	4,3	4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
53	-	32	26	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
54	-	33	27	Verdeelde last	-2,2	-2,2	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.2.26 Wind - Geval 24

2.2.26.1 Staven

staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
46	-	25	31	Verdeelde last	4,3	4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
49	-	28	27	Verdeelde last	-4,3	-4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
50	-	29	28	Verdeelde last	-4,3	-4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'
52	-	31	24	Verdeelde last	4,3	4,3	kN/m	0,00	0,00	lokaal z'

2.3 Lastengroepen

Belastingscoëfficiënten voor EN 1990(NL)
Klimaatklasse: 1
Gevolgklasse: 2
Ontwerplevensduur: 50 jaren

Naam	Type	Naam	γuls-	γuls+	γsls-	γsls+	ψ0	ψ1	ψ2	ξ	t0	kmod
Eigengewicht			1,35	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,89	0	permanent
permanente lasten			1,35	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,89	0	permanent
Wind		Geval 1 Geval 2 Geval 3 Geval 4 Geval 5 Geval 6 Geval 7 Geval 8 Geval 9 Geval 10 Geval 11 Geval 12 Geval 13 Geval 14 Geval 15 Geval 16 Geval 17 Geval 18 Geval 19 Geval 20 Geval 21 Geval 22 Geval 23 Geval 24	1,50	0,00	1,00	0,00	0,00	0,20	0,00	1,00	0	korte termijn

2.4 Combinaties

2.4.1 uiterste grenstoestand - fundamentele combinatie

	Naam	**Eigengewicht**	**permanente lasten**	**Wind**
1	UGT FC 1	1,00 x 1,20	1,00 x 1,20	1,00 x 1,50
2	UGT FC 2	1,00 x 1,35	1,00 x 1,35	0,00
3	UGT FC 3	1,00 x 0,90	1,00 x 1,20	1,00 x 1,50
4	UGT FC 4	1,00 x 0,90	1,00 x 1,35	0,00
5	UGT FC 5	1,00 x 1,20	1,00 x 0,90	1,00 x 1,50
6	UGT FC 6	1,00 x 1,35	1,00 x 0,90	0,00
7	UGT FC 7	1,00 x 0,90	1,00 x 0,90	1,00 x 1,50
8	UGT FC 8	1,00 x 0,90	1,00 x 0,90	0,00

2.4.2 bruikbaarheidsgrenstoestand - zeldzame combinatie

	Naam	**Eigengewicht**	**permanente lasten**	**Wind**
1	BGT ZC 1	1,00 x 1,00	1,00 x 1,00	1,00 x 1,00
2	BGT ZC 2	1,00 x 1,00	1,00 x 1,00	0,00

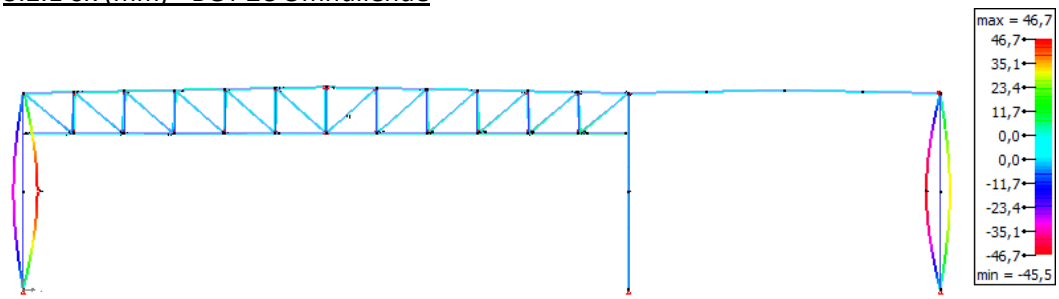
3 Resultaten

3.1 Software informatie

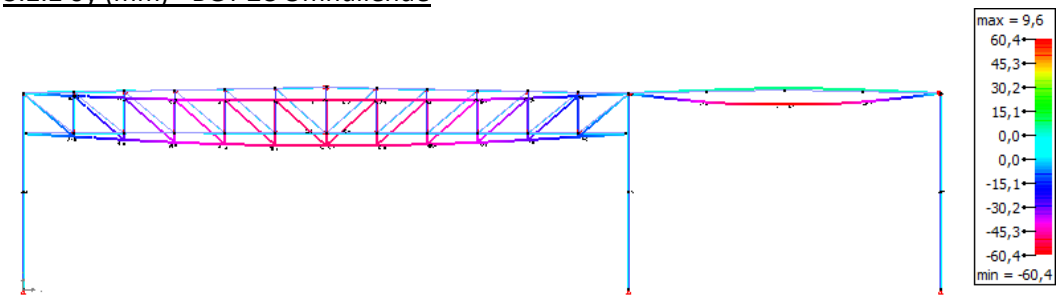
Structuur gemodelleerd met Diamonds Versie 2021.3.0.0
Structuur berekend met Buildsoft Server Versie 2021.3.0.0
Berekeningsnota afgeprint met Diamonds Versie 2021.3.0.0

3.2 Voorstelling algemene resultaten

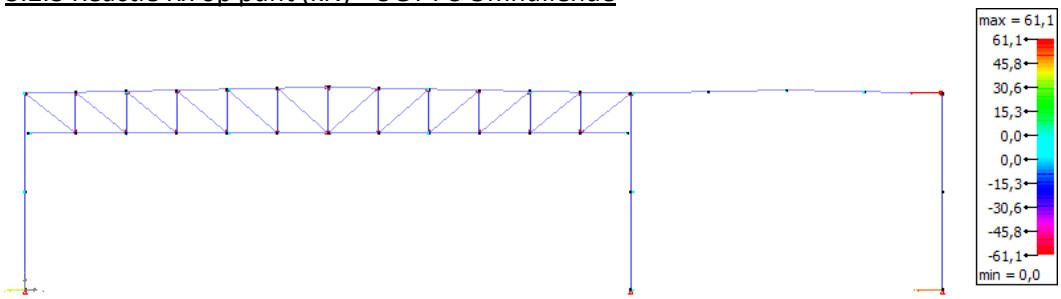
3.2.1 δx (mm) - BGT ZC Omhullende



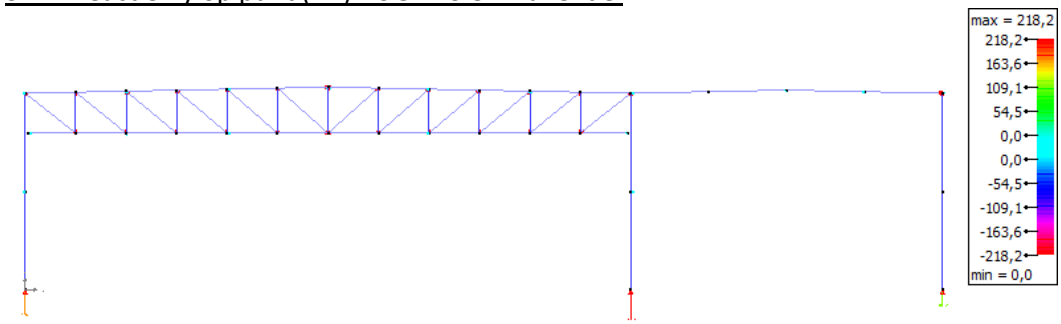
3.2.2 δy (mm) - BGT ZC Omhullende



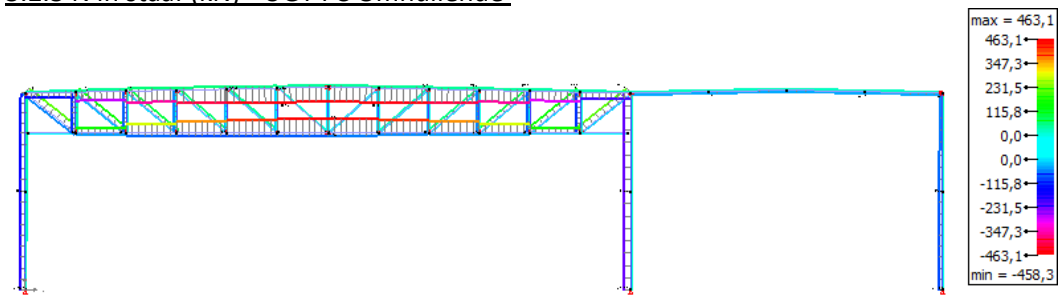
3.2.3 Reactie Rx op punt (kN) - UGT FC Omhullende



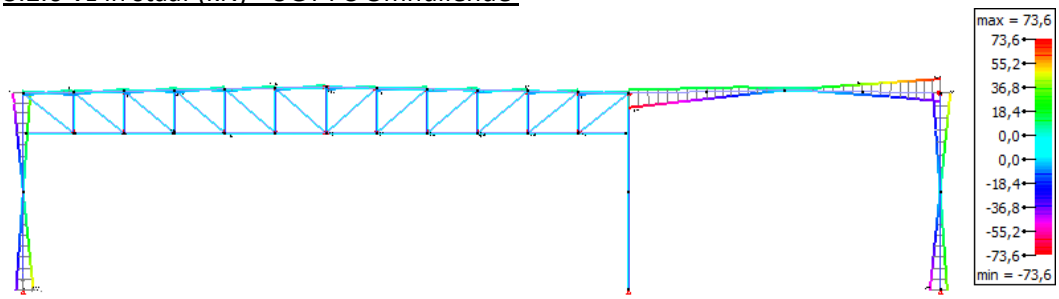
3.2.4 Reactie Ry op punt (kN) - UGT FC Omhullende



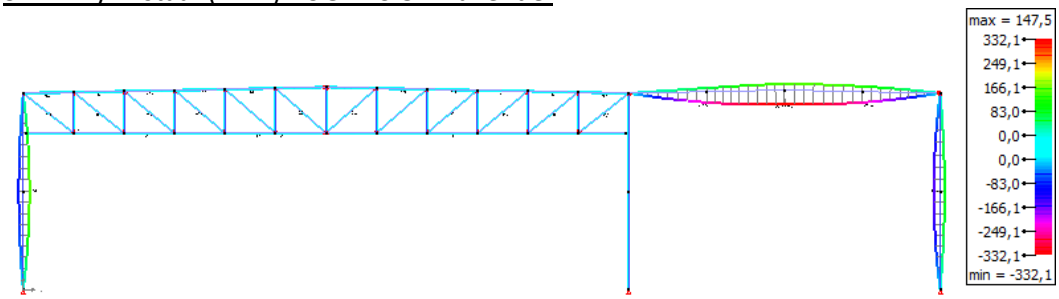
3.2.5 N in staaf (kN) - UGT FC Omhullende



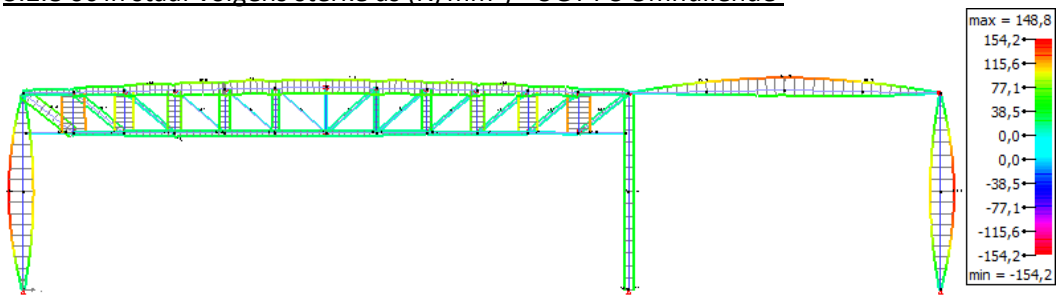
3.2.6 Vz in staaf (kN) - UGT FC Omhullende



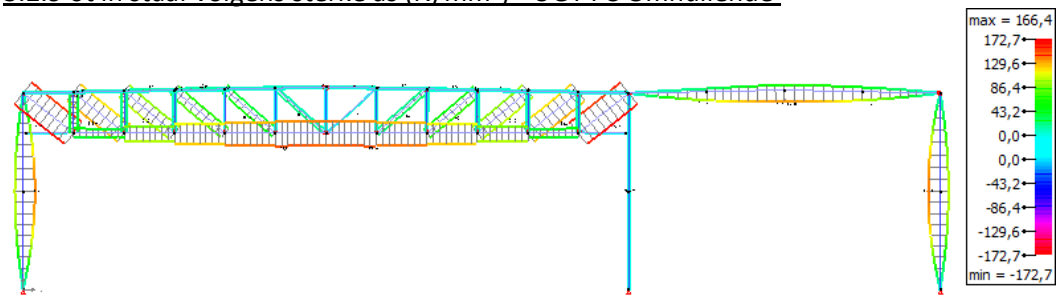
3.2.7 My in staaf (kNm) - UGT FC Omhullende



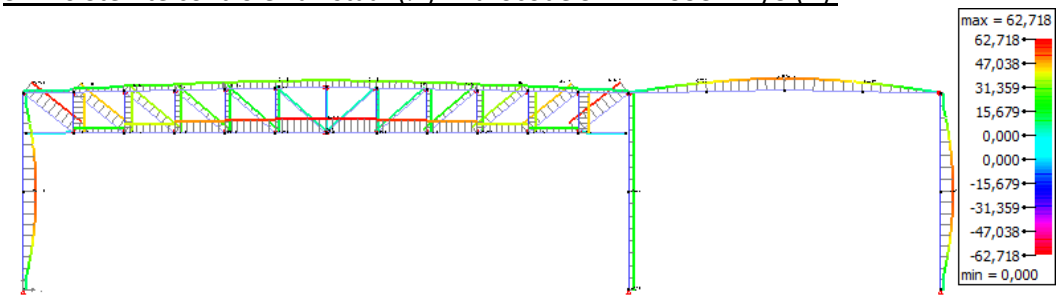
3.2.8 σc in staaf volgens sterke as (N/mm^2) - UGT FC Omhullende



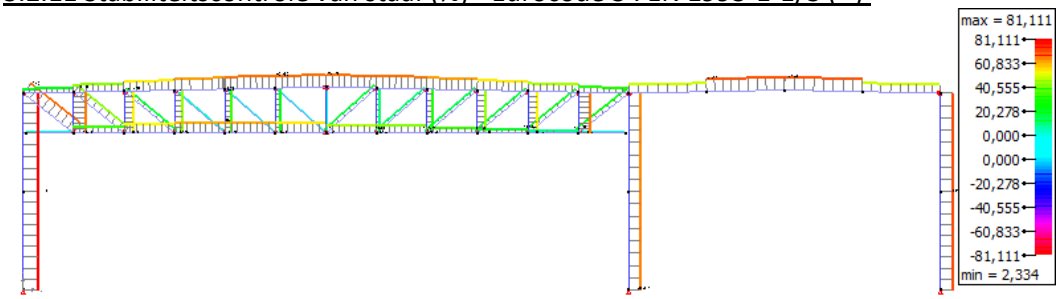
3.2.9 σt in staaf volgens sterke as (N/mm^2) - UGT FC Omhullende



3.2.10 Sterkte controle van staaf (%) - Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (--)



3.2.11 Stabiliteitscontrole van staaf (%) - Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (--)



3.3 Algemene resultaten

3.3.1 Doorbuiging staaf - BGT ZC Omhullende

Staaf	Dx (mm) (min)	Dx (mm) (max)	Dy (mm) (min)	Dy (mm) (max)	Dz (mm) (min)	Dz (mm) (max)	ϕx (°) (min)	ϕx (°) (max)	ϕy (°) (min)	ϕy (°) (max)	ϕz (°) (min)	ϕz (°) (max)
1	-5,8	0,1	-27,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0
2	-5,2	0,0	-38,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0

Staaf	Dx (mm) (min)	Dx (mm) (max)	Dy (mm) (min)	Dy (mm) (max)	Dz (mm) (min)	Dz (mm) (max)	ϕx (°) (min)	ϕx (°) (max)	ϕy (°) (min)	ϕy (°) (max)	ϕz (°) (min)	ϕz (°) (max)
3	-4,3	0,0	-46,3	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0
4	-3,1	0,2	-50,8	-1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
5	-1,6	1,4	-52,1	-2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
6	-0,5	2,9	-52,1	-2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	-0,2	4,3	-51,0	-3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
8	0,0	5,6	-46,7	-2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
9	0,2	6,5	-39,1	-2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
10	0,3	7,0	-28,6	-1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
11	-2,5	0,2	-16,6	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
12	-2,5	0,2	-29,4	-1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
13	-2,3	0,2	-39,8	-2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
14	-1,9	0,4	-47,1	-2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
15	-1,4	0,7	-51,3	-3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
16	-0,7	1,5	-52,2	-2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	-0,5	2,2	-52,2	-2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
18	-0,4	2,8	-51,1	-1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
19	-0,4	3,4	-46,7	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0
20	-0,3	3,7	-39,2	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0
21	-0,3	3,9	-28,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0
22	-0,4	3,9	-15,6	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0
23	-5,8	3,9	-15,6	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0
24	-5,2	3,7	-28,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0
25	-4,3	3,4	-39,2	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
26	-3,1	2,8	-46,7	-1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
27	-1,6	2,2	-51,1	-2,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
28	-0,5	1,5	-52,1	-2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	-0,7	2,9	-51,3	-3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	-1,4	4,3	-47,1	-3,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
31	-1,9	5,6	-39,8	-2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
32	-2,3	6,5	-29,4	-2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
33	-2,5	7,0	-16,6	-1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
34	-5,8	3,9	-14,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,1
35	-5,2	3,9	-27,8	0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0
36	-4,3	3,7	-38,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0
37	-3,1	3,4	-46,3	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0
38	-1,6	2,8	-50,8	-1,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
39	-1,2	2,2	-52,5	-2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,1
40	-2,4	7,0	-15,6	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
41	-2,5	6,5	-28,6	-1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
42	-2,3	5,6	-39,1	-2,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
43	-1,9	4,3	-46,7	-2,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
44	-1,4	2,9	-51,0	-3,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,1
45	-0,7	1,9	-52,6	-2,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,1
46	-31,9	46,7	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,8	0,5
47	-2,4	0,2	-43,8	5,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,6	0,1
48	-1,2	0,1	-60,4	9,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,4
49	-45,5	31,7	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,7	0,5

Staaf	Dx (mm) (min)	Dx (mm) (max)	Dy (mm) (min)	Dy (mm) (max)	Dz (mm) (min)	Dz (mm) (max)	ϕx (°) (min)	ϕx (°) (max)	ϕy (°) (min)	ϕy (°) (max)	ϕz (°) (min)	ϕz (°) (max)
50	-45,5	31,7	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	0,7
51	-1,2	0,1	-1,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
52	-31,9	46,7	-0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	0,7
53	-1,6	0,2	-60,4	9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,4	0,1
54	-0,9	0,1	-43,0	7,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,6
55	-2,4	0,2	-1,9	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
56	-5,8	0,1	-14,6	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0
57	0,3	7,0	-15,6	-1,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2

3.3.2 Reactie in punt - UGT FC Omhullende

punt nummer	reactie F_x (kN) (min)	reactie F_x (kN) (max)	reactie F_y (kN) (min)	reactie F_y (kN) (max)	reactie F_z (kN) (min)	reactie F_z (kN) (max)	reactie M_x (kNm) (min)	reactie M_x (kNm) (max)	reactie M_y (kNm) (min)	reactie M_y (kNm) (max)	reactie M_z (kNm) (min)	reactie M_z (kNm) (max)
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	-52,3	36,5	-28,2	176,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	-60,7	61,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	-36,5	52,3	-15,0	109,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	0,0	0,0	-25,6	218,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
33	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
34	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

3.3.3 NMV in staaf - UGT FC Omhullende

Staaf	N (kN) (min)	N (kN) (max)	Vz (kN) (min)	Vz (kN) (max)	Vy (kN) (min)	Vy (kN) (max)	My (kNm) (min)	My (kNm) (max)	Mz (kNm) (min)	Mz (kNm) (max)	Tx (kNm) (min)	Tx (kNm) (max)
1	-57,9	161,6	-1,2	0,2	0,0	0,0	-1,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
2	-91,5	283,9	-0,4	0,6	0,0	0,0	-1,2	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
3	-108,2	374,1	-0,5	0,4	0,0	0,0	-1,1	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0
4	-107,4	433,1	-0,6	0,5	0,0	0,0	-1,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
5	-98,3	463,1	-0,6	0,8	0,0	0,0	-1,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
6	-79,4	463,1	-0,8	0,6	0,0	0,0	-1,2	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
7	-68,7	433,1	-0,5	0,5	0,0	0,0	-1,4	0,4	0,0	0,0	0,0	0,0
8	-55,4	374,1	-0,4	0,5	0,0	0,0	-1,1	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
9	-39,7	283,9	-0,6	0,4	0,0	0,0	-1,2	0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
10	-21,2	161,6	-0,1	1,2	0,0	0,0	-1,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
11	-192,2	45,8	-11,9	10,0	0,0	0,0	-6,6	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0
12	-295,8	53,3	-10,3	11,6	0,0	0,0	-6,3	2,7	0,0	0,0	0,0	0,0
13	-368,3	58,3	-10,7	11,2	0,0	0,0	-7,7	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
14	-424,4	61,5	-10,8	11,1	0,0	0,0	-8,3	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
15	-454,5	62,8	-11,1	11,0	0,0	0,0	-8,6	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
16	-458,3	62,5	-11,2	11,1	0,0	0,0	-8,4	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
17	-458,3	62,5	-11,1	11,2	0,0	0,0	-8,4	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
18	-454,5	71,8	-11,0	11,5	0,0	0,0	-8,6	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
19	-424,4	80,7	-11,1	10,8	0,0	0,0	-8,2	4,1	0,0	0,0	0,0	0,0
20	-365,2	81,0	-11,2	10,7	0,0	0,0	-7,7	3,7	0,0	0,0	0,0	0,0
21	-274,7	63,9	-11,6	10,2	0,0	0,0	-6,3	2,9	0,0	0,0	0,0	0,0
22	-152,3	45,8	-11,2	11,9	0,0	0,0	-6,7	6,1	0,0	0,0	0,0	0,0
23	-124,8	46,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	-98,2	27,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	-73,3	14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	-55,1	3,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	-42,0	2,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28	-5,4	0,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	-25,3	10,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	-48,7	12,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31	-73,3	14,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
32	-98,2	15,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
33	-124,8	18,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
34	-73,7	205,6	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
35	-43,3	157,0	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36	-21,6	117,2	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
37	-4,1	87,3	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
38	-1,7	65,2	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
39	0,5	28,0	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
40	-27,0	205,6	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
41	-23,9	157,0	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
42	-20,4	117,2	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
43	-17,5	77,4	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
44	-14,4	39,7	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
45	-19,4	5,1	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Staaf	N (kN) (min)	N (kN) (max)	Vz (kN) (min)	Vz (kN) (max)	Vy (kN) (min)	Vy (kN) (max)	My (kNm) (min)	My (kNm) (max)	Mz (kNm) (min)	Mz (kNm) (max)	Tx (kNm) (min)	Tx (kNm) (max)
46	-176,6	39,1	-36,5	52,3	0,0	0,0	-102,9	147,5	0,0	0,0	0,0	0,0
47	-52,0	36,8	-73,6	19,3	0,0	0,0	-248,6	82,7	0,0	0,0	0,0	0,0
48	-51,7	37,1	-15,0	36,9	0,0	0,0	-332,1	145,8	0,0	0,0	0,0	0,0
49	-95,3	42,3	-36,5	52,3	0,0	0,0	-147,5	102,9	0,0	0,0	0,0	0,0
50	-109,8	25,8	-52,3	36,5	0,0	0,0	-147,5	102,9	0,0	0,0	0,0	0,0
51	-218,2	27,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
52	-162,1	55,6	-52,3	36,5	0,0	0,0	-102,9	147,5	0,0	0,0	0,0	0,0
53	-51,7	37,1	-36,9	20,4	0,0	0,0	-332,1	142,2	0,0	0,0	0,0	0,0
54	-52,0	36,8	-41,6	73,6	0,0	0,0	-248,6	121,3	0,0	0,0	0,0	0,0
55	-215,8	29,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
56	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
57	0,0	0,0	-0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0

3.3.4 Spanning in staaf - UGT FC Omhullende

Staaf	σc sterke as (N/mm²) (min)	σc sterke as (N/mm²) (max)	σt sterke as (N/mm²) (min)	σt sterke as (N/mm²) (max)	σc zwakke as (N/mm²) (min)	σc zwakke as (N/mm²) (max)	σt zwakke as (N/mm²) (min)	σt zwakke as (N/mm²) (max)
1	-23,6	16,3	-58,2	58,4	-18,4	18,4	-51,5	51,5
2	-32,8	27,6	-98,2	85,6	-29,1	29,1	-90,3	90,3
3	-38,1	32,7	-126,3	114,4	-34,4	34,4	-119,1	119,1
4	-37,0	32,9	-146,6	132,2	-34,2	34,2	-137,9	137,9
5	-34,0	31,7	-154,9	147,4	-31,3	31,3	-147,4	147,4
6	-27,8	25,8	-154,9	147,4	-25,3	25,3	-147,4	147,4
7	-24,3	21,3	-146,6	132,2	-21,9	21,9	-137,9	137,9
8	-19,6	17,3	-126,3	114,4	-17,6	17,6	-119,1	119,1
9	-14,6	13,0	-98,2	85,6	-12,7	12,7	-90,3	90,3
10	-11,9	6,3	-58,2	58,4	-6,7	6,7	-51,5	51,5
11	-35,0	42,8	-8,0	8,6	-29,9	29,9	-7,1	7,1
12	-51,1	58,0	-9,1	9,5	-46,0	46,0	-8,3	8,3
13	-59,0	71,6	-9,5	10,5	-57,2	57,2	-9,1	9,1
14	-65,8	82,0	-10,0	11,0	-66,0	66,0	-9,6	9,6
15	-69,6	87,4	-10,2	11,3	-70,6	70,6	-9,8	9,8
16	-71,2	87,4	-10,1	11,9	-71,2	71,2	-9,7	9,7
17	-71,2	87,4	-10,1	11,9	-71,2	71,2	-9,7	9,7
18	-69,6	87,4	-12,3	12,9	-70,6	70,6	-11,2	11,2
19	-65,8	81,8	-16,5	20,5	-66,0	66,0	-12,5	12,5
20	-58,1	71,6	-16,5	19,7	-56,8	56,8	-12,6	12,6
21	-47,9	54,9	-17,1	15,5	-42,7	42,7	-9,9	9,9
22	-28,8	36,6	-11,8	16,5	-23,7	23,7	-7,1	7,1
23	-123,0	123,0	-46,2	46,2	-123,0	123,0	-46,2	46,2
24	-96,7	96,7	-27,4	27,4	-96,7	96,7	-27,4	27,4
25	-72,2	72,2	-14,6	14,6	-72,2	72,2	-14,6	14,6
26	-54,3	54,3	-3,4	3,4	-54,3	54,3	-3,4	3,4
27	-41,4	41,4	-2,1	2,1	-41,4	41,4	-2,1	2,1
28	-5,3	5,3	-0,5	0,5	-5,3	5,3	-0,5	0,5

Staaf	σc sterke as (N/mm²) (min)	σc sterke as (N/mm²) (max)	σt sterke as (N/mm²) (min)	σt sterke as (N/mm²) (max)	σc zwakke as (N/mm²) (min)	σc zwakke as (N/mm²) (max)	σt zwakke as (N/mm²) (min)	σt zwakke as (N/mm²) (max)
29	-25,0	25,0	-10,3	10,3	-25,0	25,0	-10,3	10,3
30	-48,0	48,0	-12,0	12,0	-48,0	48,0	-12,0	12,0
31	-72,2	72,2	-13,8	13,8	-72,2	72,2	-13,8	13,8
32	-96,7	96,7	-15,3	15,3	-96,7	96,7	-15,3	15,3
33	-123,0	123,0	-17,9	17,9	-123,0	123,0	-17,9	17,9
34	-59,7	64,4	-172,7	166,4	-59,7	59,7	-166,4	166,4
35	-35,0	39,8	-133,5	127,1	-35,0	35,0	-127,1	127,1
36	-17,5	22,3	-101,2	94,8	-17,5	17,5	-94,8	94,8
37	-3,3	8,1	-77,1	70,7	-3,3	3,3	-70,7	70,7
38	-1,3	6,8	-59,3	52,8	-1,3	1,3	-52,8	52,8
39	0,0	6,0	-29,3	22,7	0,0	0,0	-22,7	22,7
40	-21,9	26,6	-172,7	166,4	-21,9	21,9	-166,4	166,4
41	-19,4	24,1	-133,5	127,1	-19,4	19,4	-127,1	127,1
42	-16,5	21,3	-101,2	94,8	-16,5	16,5	-94,8	94,8
43	-14,2	19,0	-69,1	62,6	-14,2	14,2	-62,6	62,6
44	-11,6	17,1	-38,7	32,1	-11,6	11,6	-32,1	32,1
45	-15,7	22,1	-10,7	4,1	-15,7	15,7	-4,1	4,1
46	-154,2	110,7	-100,9	142,1	-18,2	18,2	-4,0	4,0
47	-31,3	103,3	-102,7	36,4	-3,9	3,9	-2,7	2,7
48	-57,2	135,2	-137,0	62,2	-3,8	3,8	-2,8	2,8
49	-107,5	148,8	-144,4	100,3	-9,8	9,8	-4,3	4,3
50	-107,5	148,8	-144,4	100,3	-11,3	11,3	-2,7	2,7
51	-48,2	48,2	-6,0	6,0	-48,2	48,2	-6,0	6,0
52	-154,2	110,7	-100,9	142,1	-16,7	16,7	-5,7	5,7
53	-55,7	135,2	-137,0	60,8	-3,8	3,8	-2,8	2,8
54	-47,2	103,3	-102,7	52,2	-3,9	3,9	-2,7	2,7
55	-47,7	47,7	-6,4	6,4	-47,7	47,7	-6,4	6,4
56	-7,8	0,0	0,0	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0
57	-7,8	0,0	0,0	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0

3.3.5 Controle van staven

Staaf	Weerstand (%)	Stabiliteit (%)
1	21,894 ~ 21,894	33,226
2	38,447 ~ 38,447	53,263
3	50,673 ~ 50,673	62,547
4	58,664 ~ 58,664	62,566
5	62,718 ~ 62,718	56,083
6	62,718 ~ 62,718	45,610
7	58,664 ~ 58,664	40,537
8	50,674 ~ 50,674	32,643
9	38,447 ~ 38,447	23,936
10	21,894 ~ 21,894	12,822
11	12,701 ~ 12,713	30,175
12	19,550 ~ 19,563	44,834

Staaf	Weerstand (%)	Stabiliteit (%)
13	24,343 ~ 24,355	55,985
14	28,052 ~ 28,065	64,422
15	30,043 ~ 30,056	68,988
16	30,299 ~ 30,311	69,388
17	30,299 ~ 30,311	69,389
18	30,043 ~ 30,056	68,990
19	28,052 ~ 28,065	64,365
20	24,138 ~ 24,151	55,539
21	18,156 ~ 18,168	41,814
22	10,058 ~ 10,071	24,473
23	44,631 ~ 44,710	68,237
24	35,099 ~ 35,180	55,178
25	26,174 ~ 26,257	42,350
26	19,667 ~ 19,752	32,780
27	14,966 ~ 15,053	25,717
28	1,862 ~ 1,928	3,392
29	8,989 ~ 9,076	15,506
30	17,382 ~ 17,467	28,988
31	26,174 ~ 26,257	42,350
32	35,099 ~ 35,180	55,178
33	44,632 ~ 44,711	68,237
34	60,449 ~ 60,526	70,014
35	46,141 ~ 46,220	41,558
36	34,406 ~ 34,487	21,776
37	25,609 ~ 25,691	5,281
38	19,114 ~ 19,199	3,013
39	8,167 ~ 8,254	2,334
40	60,450 ~ 60,527	26,666
41	46,141 ~ 46,220	24,229
42	34,406 ~ 34,487	21,108
43	22,693 ~ 22,776	18,552
44	11,605 ~ 11,690	15,679
45	5,632 ~ 5,697	21,253
46	11,807 ~ 56,444	81,103
47	7,493 ~ 39,730	48,632
48	39,730 ~ 52,476	72,492
49	12,134 ~ 56,444	73,538
50	11,807 ~ 56,444	73,510
51	20,291 ~ 20,514	67,618
52	10,903 ~ 56,444	81,111
53	39,730 ~ 52,476	72,477
54	7,107 ~ 39,730	48,625
55	20,069 ~ 20,291	66,885
56	0,000 ~ 2,956	3,081
57	0,000 ~ 2,956	3,081

Bijlage R: Rapport DB – Definitief middenportaal met sneeuw en zonnepanelen

Inhoudsopgave

1 Geometrie
  1.1 Software informatie
  1.2 Geometrie voorstelling (m)
  1.3 Geometrie gegevens
    1.3.1 Punten
    1.3.2 Staven
  1.4 Materiaalgegevens
    1.4.1 Staal S275
      1.4.1.1 Elastische materiaaleigenschappen
      1.4.1.2 Sterkte-eigenschappen volgens Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (NL)
    1.4.2 Staal S235
      1.4.2.1 Elastische materiaaleigenschappen
      1.4.2.2 Sterkte-eigenschappen volgens Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (NL)
2 Lasten
  2.1 Software informatie
  2.2 Gegevens lasten
    2.2.1 Eigengewicht
      2.2.1.1 Staven
    2.2.2 permanente lasten
      2.2.2.1 Staven
    2.2.3 nuttige last H : daken
      2.2.3.1 Staven
    2.2.4 sneeuw (H <= 1000 m) - Geval 1
      2.2.4.1 Staven
    2.2.5 sneeuw (H <= 1000 m) - Geval 2
      2.2.5.1 Staven
  2.3 Lastengroepen
  2.4 Combinaties
    2.4.1 uiterste grenstoestand - fundamentele combinatie
    2.4.2 bruikbaarheidsgrenstoestand - zeldzame combinatie
3 Resultaten
  3.1 Software informatie
  3.2 Voorstelling algemene resultaten
    3.2.1 δx (mm) - BGT ZC Omhullende
    3.2.2 δy (mm) - BGT ZC Omhullende
    3.2.3 Reactie Rx op punt (kN) - UGT FC Omhullende
    3.2.4 Reactie Ry op punt (kN) - UGT FC Omhullende
    3.2.5 N in staaf (kN) - UGT FC Omhullende
    3.2.6 Vz in staaf (kN) - UGT FC Omhullende
    3.2.7 My in staaf (kNm) - UGT FC Omhullende
    3.2.8 σc in staaf volgens sterke as (N/mm^2) - UGT FC Omhullende
    3.2.9 σt in staaf volgens sterke as (N/mm^2) - UGT FC Omhullende
    3.2.10 Sterkte controle van staaf (%) - Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (NL)
    3.2.11 Stabiliteitscontrole van staaf (%) - Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (NL)
  3.3 Algemene resultaten
    3.3.1 Doorbuiging staaf - BGT ZC Omhullende
    3.3.2 Reactie in punt - UGT FC Omhullende
    3.3.3 NMV in staaf - UGT FC Omhullende
    3.3.4 Spanning in staaf - UGT FC Omhullende

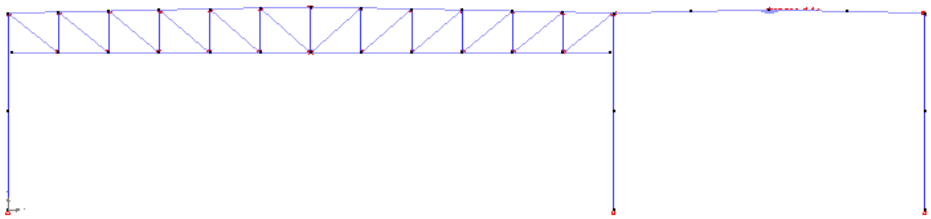
3.3.5 Controle van staven

1 Geometrie

1.1 Software informatie

Structuur gemodelleerd met Diamonds Versie 2021.3.0.0
Structuur berekend met Buildsoft Server Versie 2021.3.0.0
Berekeningsnota afgeprint met Diamonds Versie 2021.3.0.0

1.2 Geometrie voorstelling (m)



1.3 Geometrie gegevens

1.3.1 Punten

Punt	Label	X (m)	Y (m)	Z (m)	Ondersteuning (kN/m,kNm/Rad)	Commentaar
1	-	2,92	9,00	0,00	vrij	-
2	-	5,83	9,00	0,00	kz	-
3	-	8,75	9,00	0,00	vrij	-
4	-	11,67	9,00	0,00	kz	-
5	-	14,58	9,00	0,00	vrij	-
6	-	17,50	9,00	0,00	kz	-
7	-	20,42	9,00	0,00	vrij	-
8	-	23,33	9,00	0,00	kz	-
9	-	26,25	9,00	0,00	vrij	-
10	-	29,17	9,00	0,00	kz	-
11	-	32,08	9,00	0,00	vrij	-
12	-	35,00	11,29	0,00	kz	-
13	-	32,08	11,35	0,00	vrij	-
14	-	29,17	11,41	0,00	kz	-
15	-	26,25	11,47	0,00	vrij	-
16	-	23,33	11,52	0,00	kz	-
17	-	20,42	11,58	0,00	vrij	-
18	-	17,50	11,64	0,00	kz	-
19	-	14,58	11,58	0,00	vrij	-
20	-	11,67	11,52	0,00	kz	-

Punt	Label	X (m)	Y (m)	Z (m)	Ondersteuning (kN/m,kNm/Rad)	Commentaar
21	-	8,75	11,47	0,00	vrij	-
22	-	5,83	11,41	0,00	kz	-
23	-	2,92	11,35	0,00	vrij	-
24	-	0,00	11,29	0,00	kz	-
25	-	0,00	0,00	0,00	kx;ky;kz	-
26	-	44,00	11,47	0,00	kz	-
27	-	53,00	11,29	0,00	kx;kz	-
28	-	53,00	5,65	0,00	kz	-
29	-	53,00	0,00	0,00	kx;ky;kz	-
30	-	35,00	0,00	0,00	kx;ky;kz	-
31	-	0,00	5,65	0,00	kz	-
32	-	39,50	11,38	0,00	kz	-
33	-	48,50	11,38	0,00	kz	-
34	-	35,00	5,65	0,00	kz	-
35	-	0,20	9,00	0,00	kz	-
36	-	34,80	9,00	0,00	kz	-

1.3.2 Staven

Staaf	Label	begin knoop	einde knoop	doorsnede	lengte (m)	Brandcurve	Vereiste brandweerstand (min)
1	-	1	2	HEA 140	2,92	-	-
2	-	2	3	HEA 140	2,92	-	-
3	-	3	4	HEA 140	2,92	-	-
4	-	4	5	HEA 140	2,92	-	-
5	-	5	6	HEA 140	2,92	-	-
6	-	6	7	HEA 140	2,92	-	-
7	-	7	8	HEA 140	2,92	-	-
8	-	8	9	HEA 140	2,92	-	-
9	-	9	10	HEA 140	2,92	-	-
10	-	10	11	HEA 140	2,92	-	-
11	-	13	12	HEA 220	2,92	-	-
12	-	14	13	HEA 220	2,92	-	-
13	-	15	14	HEA 220	2,92	-	-
14	-	16	15	HEA 220	2,92	-	-
15	-	17	16	HEA 220	2,92	-	-
16	-	18	17	HEA 220	2,92	-	-
17	-	19	18	HEA 220	2,92	-	-
18	-	20	19	HEA 220	2,92	-	-
19	-	21	20	HEA 220	2,92	-	-
20	-	22	21	HEA 220	2,92	-	-
21	-	23	22	HEA 220	2,92	-	-
22	-	24	23	HEA 220	2,92	-	-
23	-	1	23	SHS 70x70x4	2,35	-	-
24	-	2	22	SHS 70x70x4	2,41	-	-
25	-	3	21	SHS 70x70x4	2,47	-	-
26	-	4	20	SHS 70x70x4	2,52	-	-

Staaf	Label	begin knoop	einde knoop	doorsnede	lengte (m)	Brandcurve	Vereiste brandweerstand (min)
27	-	5	19	SHS 70x70x4	2,58	-	-
28	-	6	18	SHS 70x70x4	2,64	-	-
29	-	7	17	SHS 70x70x4	2,58	-	-

Staaf	Beschermmateriaal	Dikte bescherming (mm)	Profielfactor (m-1)	Toevallige excentriciteit (mm)
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
4	-	-	-	-
5	-	-	-	-
6	-	-	-	-
7	-	-	-	-
8	-	-	-	-
9	-	-	-	-
10	-	-	-	-
11	-	-	-	-
12	-	-	-	-
13	-	-	-	-
14	-	-	-	-
15	-	-	-	-
16	-	-	-	-
17	-	-	-	-
18	-	-	-	-
19	-	-	-	-
20	-	-	-	-
21	-	-	-	-
22	-	-	-	-
23	-	-	-	-
24	-	-	-	-
25	-	-	-	-
26	-	-	-	-
27	-	-	-	-
28	-	-	-	-
29	-	-	-	-

Staaf	Excentriciteit Y'	Excentriciteit Z'	Commentaar
1	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
2	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
3	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-

Staaf	Excentriciteit Y'	Excentriciteit Z'	Commentaar
4	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
5	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
6	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
7	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
8	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
9	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
10	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
11	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
12	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
13	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
14	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
15	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
16	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
17	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
18	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
19	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
20	geen uitlijning begin: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit	-

Staaf	Excentriciteit Y'	Excentriciteit Z'	Commentaar
	einde: geen excentriciteit	einde: geen excentriciteit	
21	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
22	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
23	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
24	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
25	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
26	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
27	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
28	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
29	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-

Staaf	Label	begin knoop	einde knoop	doorsnede	lengte (m)	Brandcurve	Vereiste brandweerstand (min)
30	-	8	16	SHS 70x70x4	2,52	-	-
31	-	9	15	SHS 70x70x4	2,47	-	-
32	-	10	14	SHS 70x70x4	2,41	-	-
33	-	11	13	SHS 70x70x4	2,35	-	-
34	-	24	1	SHS 70x70x5	3,71	-	-
35	-	23	2	SHS 70x70x5	3,74	-	-
36	-	22	3	SHS 70x70x5	3,78	-	-
37	-	21	4	SHS 70x70x5	3,82	-	-
38	-	20	5	SHS 70x70x5	3,86	-	-
39	-	19	6	SHS 70x70x5	3,90	-	-
40	-	11	12	SHS 70x70x5	3,71	-	-
41	-	10	13	SHS 70x70x5	3,74	-	-
42	-	9	14	SHS 70x70x5	3,78	-	-
43	-	8	15	SHS 70x70x5	3,82	-	-
44	-	7	16	SHS 70x70x5	3,86	-	-
45	-	6	17	SHS 70x70x5	3,90	-	-
46	-	25	31	HEA 280	5,65	-	-

Staaf	Label	begin knoop	einde knoop	doorsnede	lengte (m)	Brandcurve	Vereiste brandweerstand (min)
47	-	12	32	IPE 550	4,50	-	-
48	-	26	33	IPE 550	4,50	-	-
49	-	28	27	HEA 280	5,65	-	-
50	-	29	28	HEA 280	5,65	-	-
51	-	30	34	HEA 280	5,65	-	-
52	-	31	24	HEA 280	5,65	-	-
53	-	32	26	IPE 550	4,50	-	-
54	-	33	27	IPE 550	4,50	-	-
55	-	34	12	HEA 280	5,65	-	-
56	-	35	1	HEA 140	2,72	-	-
57	-	11	36	HEA 140	2,72	-	-
totaal					194,38		

Staaf	Beschermmateriaal	Dikte bescherming (mm)	Profielfactor (m-1)	Toevallige excentriciteit (mm)
30	-	-	-	-
31	-	-	-	-
32	-	-	-	-
33	-	-	-	-
34	-	-	-	-
35	-	-	-	-
36	-	-	-	-
37	-	-	-	-
38	-	-	-	-
39	-	-	-	-
40	-	-	-	-
41	-	-	-	-
42	-	-	-	-
43	-	-	-	-
44	-	-	-	-
45	-	-	-	-
46	-	-	-	-
47	-	-	-	-
48	-	-	-	-
49	-	-	-	-
50	-	-	-	-
51	-	-	-	-
52	-	-	-	-
53	-	-	-	-
54	-	-	-	-
55	-	-	-	-
56	-	-	-	-
57	-	-	-	-
totaal				

Staaf	Excentriciteit Y'	Excentriciteit Z'	Commentaar
30	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
31	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
32	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
33	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
34	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
35	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
36	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
37	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
38	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
39	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
40	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
41	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
42	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
43	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
44	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
45	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
46	geen uitlijning begin: geen excentriciteit	geen uitlijning begin: geen excentriciteit	-

Staaf	Excentriciteit Y'	Excentriciteit Z'	Commentaar
	einde: geen excentriciteit	einde: geen excentriciteit	
47	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
48	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
49	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
50	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
51	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
52	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
53	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
54	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	bovenzijde balk = bovenzijde plaat begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
55	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
56	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
57	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	geen uitlijning begin: geen excentriciteit einde: geen excentriciteit	-
totaal			

1.4 Materiaalgegevens

1.4.1 Staal S275

1.4.1.1 Elastische materiaaleigenschappen

Dichtheid = 7850,0 kg/m^3
Elasticiteitsmodulus E = 210000 N/mm^2
Coëfficiënt van Poisson v = 0,300
Glijdingsmodulus G = 80769 N/mm^2
Thermische uitzettingscoëfficiënt = 0,000012 /°C

1.4.1.2 Sterkte-eigenschappen volgens Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (--)

Sterkte:

dikte (mm)	**0,0 - 40,0**	**40,0 - 150,0**
vloeigrens fy (N/mm²)	275,0	255,0
breukgrens fu (N/mm²)	430,0	410,0

Veiligheidscoëfficiënt:

γ_{M0} = 1,00
γ_{M1} = 1,00
γ_{M2} = 1,25
γ_{M3} = 1,25
γ_{M4} = 1,00
γ_{M5} = 1,00
γ_{M6} = 1,00
γ_{M7} = 1,10

1.4.1.3 Sterkte-eigenschappen volgens Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (NL)

Sterkte:

dikte (mm)	**0,0 - 40,0**	**40,0 - 150,0**
vloeigrens fy (N/mm²)	275,0	255,0
breukgrens fu (N/mm²)	430,0	410,0

Veiligheidscoëfficiënt:

γ_{M0} = 1,00
γ_{M1} = 1,00
γ_{M2} = 1,25
γ_{M3} = 1,25
γ_{M4} = 1,00
γ_{M5} = 1,00
γ_{M6} = 1,00
γ_{M7} = 1,10

1.4.2 Staal S235

1.4.2.1 Elastische materiaaleigenschappen

Dichtheid = 7850,0 kg/m^3
Elasticiteitsmodulus E = 210000 N/mm^2
Coëfficiënt van Poisson v = 0,300
Glijdingsmodulus G = 80769 N/mm^2
Thermische uitzettingscoëfficiënt = 0,000012 /°C

1.4.2.2 Sterkte-eigenschappen volgens Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (--)

Sterkte:

dikte (mm)	**0,0 - 40,0**	**40,0 - 150,0**
vloeigrens fy (N/mm²)	235,0	215,0
breukgrens fu (N/mm²)	360,0	360,0

Veiligheidscoëfficiënt:

γ_{M0} = 1,00
γ_{M1} = 1,00
γ_{M2} = 1,25
γ_{M3} = 1,25
γ_{M4} = 1,00
γ_{M5} = 1,00
γ_{M6} = 1,00
γ_{M7} = 1,10

1.4.2.3 Sterkte-eigenschappen volgens Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (NL)

Sterkte:

dikte (mm)	**0,0 - 40,0**	**40,0 - 150,0**
vloeigrens fy (N/mm²)	235,0	215,0
breukgrens fu (N/mm²)	360,0	360,0

Veiligheidscoëfficiënt:

γ_{M0} = 1,00
γ_{M1} = 1,00
γ_{M2} = 1,25
γ_{M3} = 1,25
γ_{M4} = 1,00
γ_{M5} = 1,00
γ_{M6} = 1,00
γ_{M7} = 1,10

2 Lasten

2.1 Software informatie

Structuur gemodelleerd met Diamonds Versie 2021.3.0.0
Structuur berekend met Buildsoft Server Versie 2021.3.0.0
Berekeningsnota afgeprint met Diamonds Versie 2021.3.0.0

2.2 Gegevens lasten

2.2.1 Eigengewicht

2.2.1.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
1	-	1	2	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
2	-	2	3	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
3	-	3	4	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
4	-	4	5	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
5	-	5	6	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
6	-	6	7	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
7	-	7	8	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
8	-	8	9	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
9	-	9	10	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
10	-	10	11	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
11	-	13	12	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
12	-	14	13	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
13	-	15	14	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
14	-	16	15	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
15	-	17	16	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
16	-	18	17	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
17	-	19	18	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
18	-	20	19	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
19	-	21	20	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
20	-	22	21	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
21	-	23	22	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
22	-	24	23	Verdeelde last	0,5	0,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
23	-	1	23	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
24	-	2	22	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
25	-	3	21	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
26	-	4	20	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
27	-	5	19	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
28	-	6	18	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
29	-	7	17	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
30	-	8	16	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
31	-	9	15	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
32	-	10	14	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
33	-	11	13	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
34	-	24	1	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
35	-	23	2	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
36	-	22	3	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
37	-	21	4	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
38	-	20	5	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
39	-	19	6	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
40	-	11	12	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
41	-	10	13	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
42	-	9	14	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
43	-	8	15	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
44	-	7	16	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
45	-	6	17	Verdeelde last	0,1	0,1	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
46	-	25	31	Verdeelde last	0,7	0,7	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
47	-	12	32	Verdeelde last	1,0	1,0	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
48	-	26	33	Verdeelde last	1,0	1,0	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
49	-	28	27	Verdeelde last	0,7	0,7	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
50	-	29	28	Verdeelde last	0,7	0,7	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
51	-	30	34	Verdeelde last	0,7	0,7	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
52	-	31	24	Verdeelde last	0,7	0,7	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
53	-	32	26	Verdeelde last	1,0	1,0	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
54	-	33	27	Verdeelde last	1,0	1,0	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
55	-	34	12	Verdeelde last	0,7	0,7	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
56	-	35	1	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
57	-	11	36	Verdeelde last	0,2	0,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y

2.2.2 permanente lasten

2.2.2.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
12	-	14	13	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
13	-	15	14	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
14	-	16	15	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
15	-	17	16	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
16	-	18	17	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
17	-	19	18	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
18	-	20	19	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
19	-	21	20	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
20	-	22	21	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
21	-	23	22	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
22	-	24	23	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
46	-	25	31	Verdeelde last	2,5	2,5	kN/m	2,50	0,00	globaal Y
47	-	12	32	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
48	-	26	33	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
49	-	28	27	Verdeelde last	2,5	2,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
50	-	29	28	Verdeelde last	2,5	2,5	kN/m	2,50	0,00	globaal Y
52	-	31	24	Verdeelde last	2,5	2,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
53	-	32	26	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
54	-	33	27	Verdeelde last	2,2	2,2	kN/m	0,00	0,00	globaal Y

2.2.3 nuttige last H : daken

2.2.3.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
12	-	14	13	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
13	-	15	14	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
14	-	16	15	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
15	-	17	16	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
16	-	18	17	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
17	-	19	18	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
18	-	20	19	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
19	-	21	20	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
20	-	22	21	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
21	-	23	22	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
22	-	24	23	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
47	-	12	32	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
48	-	26	33	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
53	-	32	26	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y
54	-	33	27	Verdeelde last	1,6	1,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y

2.2.4 sneeuw (H <= 1000 m) - Geval 1

2.2.4.1 Staven

Staaf	Label	begin knooplast	einde knooplast	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	3,6	3,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
12	-	14	13	Verdeelde last	3,6	3,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
13	-	15	14	Verdeelde last	3,6	3,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
14	-	16	15	Verdeelde last	3,5	3,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
15	-	17	16	Verdeelde last	3,5	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
16	-	18	17	Verdeelde last	3,5	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
17	-	19	18	Verdeelde last	3,5	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
18	-	20	19	Verdeelde last	3,5	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
19	-	21	20	Verdeelde last	3,5	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
20	-	22	21	Verdeelde last	3,5	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
21	-	23	22	Verdeelde last	3,5	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
22	-	24	23	Verdeelde last	3,5	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
47	-	12	32	Verdeelde last	3,6	3,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
48	-	26	33	Verdeelde last	3,5	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
53	-	32	26	Verdeelde last	3,6	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
54	-	33	27	Verdeelde last	3,5	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie

2.2.5 sneeuw (H <= 1000 m) - Geval 2

2.2.5.1 Staven

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
11	-	13	12	Verdeelde last	3,6	3,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
12	-	14	13	Verdeelde last	3,6	3,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
13	-	15	14	Verdeelde last	3,6	3,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
14	-	16	15	Verdeelde last	3,5	3,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
15	-	17	16	Verdeelde last	3,5	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
16	-	18	17	Verdeelde last	3,5	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
17	-	19	18	Verdeelde last	3,5	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
18	-	20	19	Verdeelde last	3,5	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
19	-	21	20	Verdeelde last	3,5	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
20	-	22	21	Verdeelde last	3,5	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie

Staaf	Label	begin knoop last	einde knoop last	belastingstype	begin	einde	eenheid	afstand van het begin (m)	afstand van het einde (m)	oriëntatie
21	-	23	22	Verdeelde last	3,5	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
21	-	23	22	Verdeelde last	0,9	0,0	kN/m	0,00	0,83	globaal Y
22	-	24	23	Verdeelde last	5,6	4,4	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
47	-	12	32	Verdeelde last	3,6	3,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
48	-	26	33	Verdeelde last	3,5	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
48	-	26	33	Verdeelde last	0,0	0,2	kN/m	4,00	0,00	globaal Y
53	-	32	26	Verdeelde last	3,6	3,5	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie
54	-	33	27	Verdeelde last	3,7	5,6	kN/m	0,00	0,00	globaal Y met projectie

2.3 Lastengroepen

Belastingcoëfficiënten voor EN 1990(NL)
Klimaatklasse: 1
Gevolgklasse: 2
Ontwerplevensduur: 50 jaren

Naam	Type	Naam	γuls-	γuls+	γsls-	γsls+	ψ0	ψ1	ψ2	ξ	t0	kmod
Eigengewicht			1,35	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,89	0	permanent
permanente lasten			1,35	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	0,89	0	permanent
nuttige last H : daken			1,50	0,00	1,00	0,00	0,00	0,00	0,00	1,00	0	middellange termijn
sneeuw (H <= 1000 m)	⁑	Geval 1 Geval 2	1,50	0,00	1,00	0,00	0,00	0,20	0,00	1,00	0	korte termijn

2.4 Combinaties

2.4.1 uiterste grenstoestand - fundamentele combinatie

	Naam	Eigengewicht	permanente lasten	nuttige last H : daken	sneeuw (H <= 1000 m)
1	UGT FC 1	1,00 x 1,20	1,00 x 1,20	1,00 x 1,50	0,00
2	UGT FC 2	1,00 x 1,20	1,00 x 1,20	0,00	1,00 x 1,50
3	UGT FC 3	1,00 x 1,35	1,00 x 1,35	0,00	0,00
4	UGT FC 4	1,00 x 0,90	1,00 x 1,20	1,00 x 1,50	0,00
5	UGT FC 5	1,00 x 0,90	1,00 x 1,20	0,00	1,00 x 1,50
6	UGT FC 6	1,00 x 0,90	1,00 x 1,35	0,00	0,00
7	UGT FC 7	1,00 x 1,20	1,00 x 0,90	1,00 x 1,50	0,00
8	UGT FC 8	1,00 x 1,20	1,00 x 0,90	0,00	1,00 x 1,50
9	UGT FC 9	1,00 x 1,35	1,00 x 0,90	0,00	0,00
10	UGT FC 10	1,00 x 0,90	1,00 x 0,90	1,00 x 1,50	0,00
11	UGT FC 11	1,00 x 0,90	1,00 x 0,90	0,00	1,00 x 1,50
12	UGT FC 12	1,00 x 0,90	1,00 x 0,90	0,00	0,00

2.4.2 bruikbaarheidsgrenstoestand - zeldzame combinatie

	Naam	Eigengewicht	permanente lasten	nuttige last H : daken	sneeuw (H <= 1000 m)
1	BGT ZC 1	1,00 x 1,00	1,00 x 1,00	1,00 x 1,00	0,00
2	BGT ZC 2	1,00 x 1,00	1,00 x 1,00	0,00	1,00 x 1,00
3	BGT ZC 3	1,00 x 1,00	1,00 x 1,00	0,00	0,00

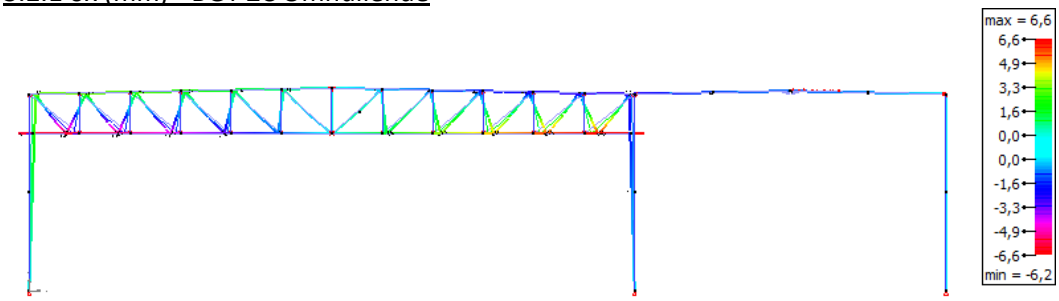
3 Resultaten

3.1 Software informatie

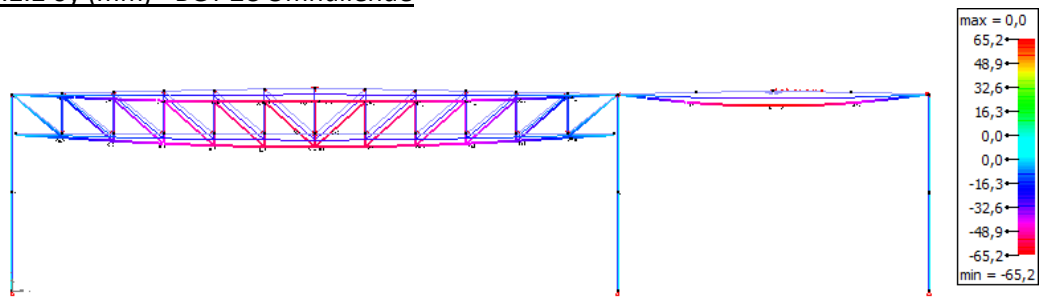
Structuur gemodelleerd met Diamonds Versie 2021.3.0.0
Structuur berekend met Buildsoft Server Versie 2021.3.0.0
Berekeningsnota afgeprint met Diamonds Versie 2021.3.0.0

3.2 Voorstelling algemene resultaten

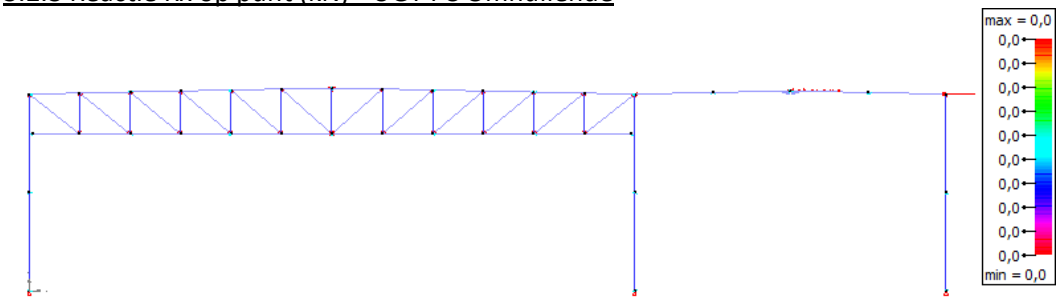
3.2.1 δx (mm) - BGT ZC Omhullende



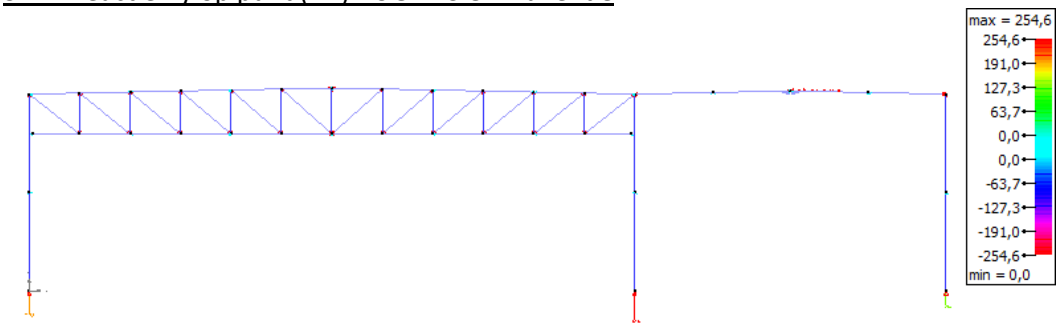
3.2.2 δy (mm) - BGT ZC Omhullende



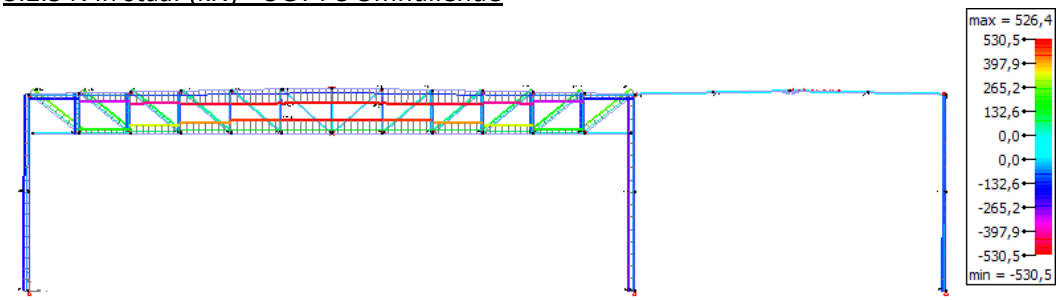
3.2.3 Reactie Rx op punt (kN) - UGT FC Omhullende



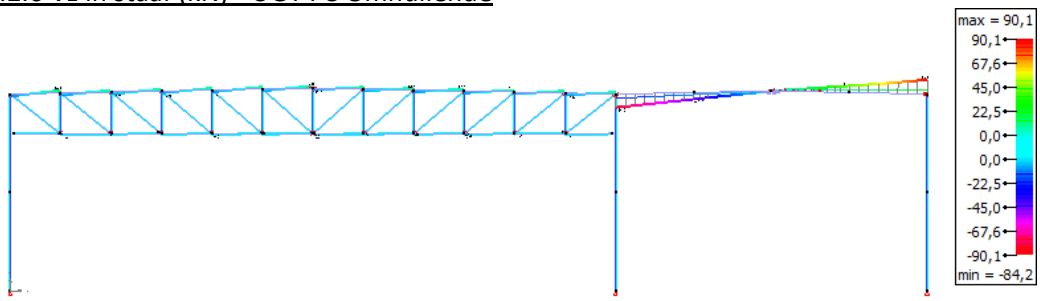
3.2.4 Reactie Ry op punt (kN) - UGT FC Omhullende



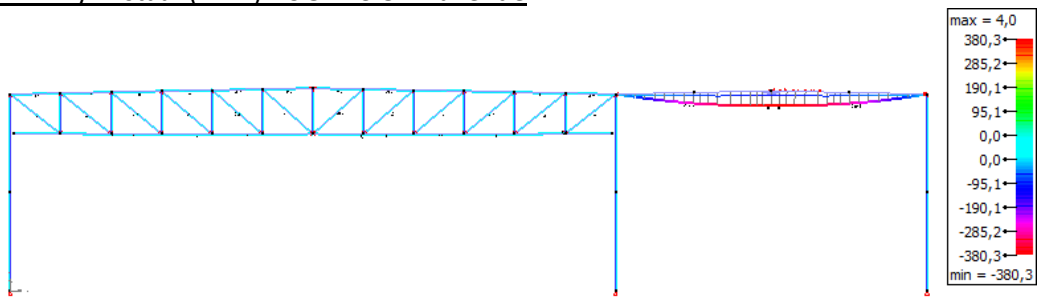
3.2.5 N in staaf (kN) - UGT FC Omhullende



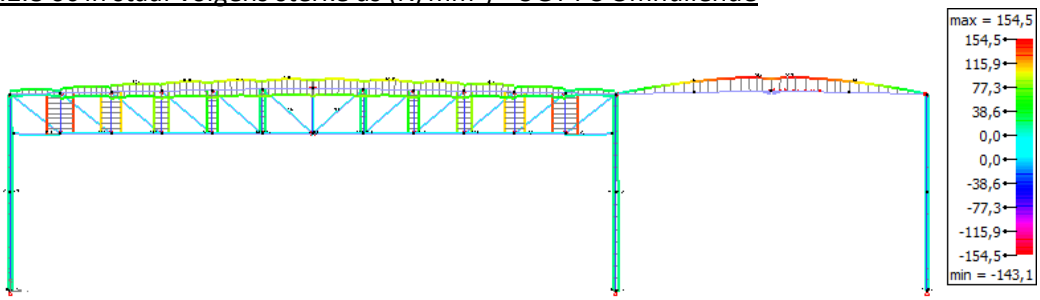
3.2.6 Vz in staaf (kN) - UGT FC Omhullende



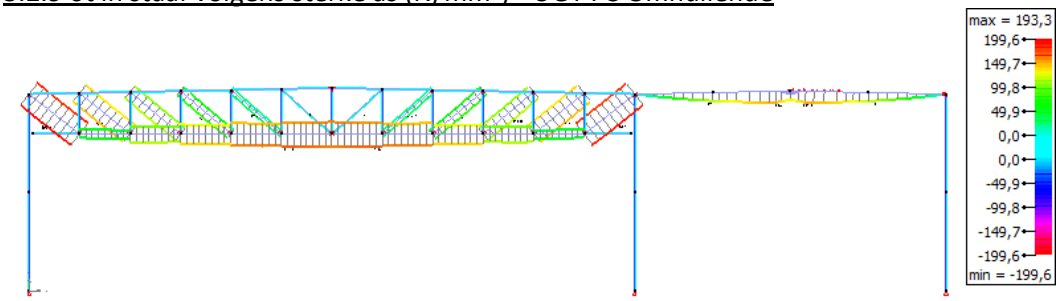
3.2.7 My in staaf (kNm) - UGT FC Omhullende



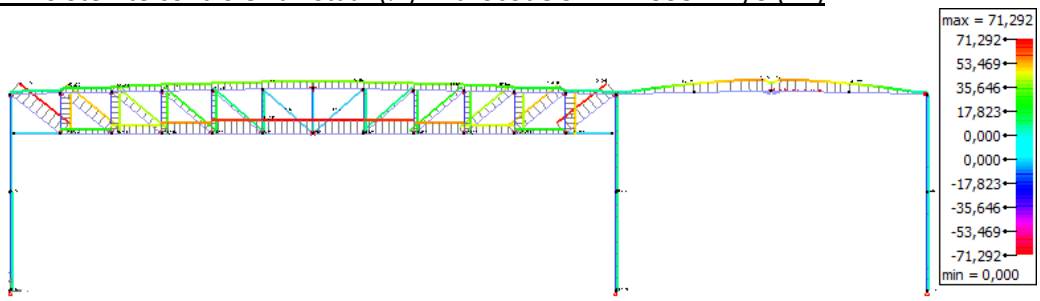
3.2.8 σc in staaf volgens sterke as (N/mm^2) - UGT FC Omhullende



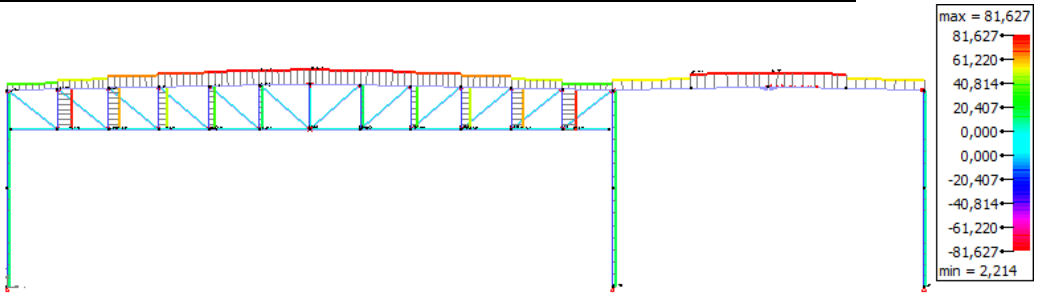
3.2.9 σt in staaf volgens sterke as (N/mm^2) - UGT FC Omhullende



3.2.10 Sterkte controle van staaf (%) - Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (NL)



3.2.11 Stabiliteitscontrole van staaf (%) - Eurocode 3 : EN 1993-1-1/3 (NL)



3.3 Algemene resultaten

3.3.1 Doorbuiging staaf - BGT ZC Omhullende

Staaf	Dx (mm) (min)	Dx (mm) (max)	Dy (mm) (min)	Dy (mm) (max)	Dz (mm) (min)	Dz (mm) (max)	ϕx (°) (min)	ϕx (°) (max)	ϕy (°) (min)	ϕy (°) (max)	ϕz (°) (min)	ϕz (°) (max)
1	-6,2	-2,6	-31,4	-7,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1
2	-5,6	-2,1	-43,4	-14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1

Staaf	Dx (mm) (min)	Dx (mm) (max)	Dy (mm) (min)	Dy (mm) (max)	Dz (mm) (min)	Dz (mm) (max)	ϕx (°) (min)	ϕx (°) (max)	ϕy (°) (min)	ϕy (°) (max)	ϕz (°) (min)	ϕz (°) (max)
3	-4,5	-1,5	-52,1	-20,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1
4	-3,1	-0,7	-57,1	-24,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
5	-1,5	0,2	-58,4	-26,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
6	0,1	1,9	-58,4	-26,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
7	0,9	3,5	-57,1	-24,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
8	1,7	4,9	-52,1	-20,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
9	2,3	6,0	-43,5	-14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3
10	2,8	6,6	-31,5	-7,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3
11	-2,6	-1,2	-17,8	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,4
12	-2,6	-1,1	-32,4	-8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3
13	-2,4	-0,9	-44,2	-15,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3
14	-2,0	-0,6	-52,6	-20,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
15	-1,3	-0,3	-57,4	-24,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
16	-0,6	0,3	-58,5	-27,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
17	0,1	1,1	-58,5	-27,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
18	0,5	1,8	-57,3	-24,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
19	0,8	2,4	-52,6	-20,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1
20	1,1	2,9	-44,1	-15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1
21	1,3	3,1	-32,3	-8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1
22	1,4	3,1	-17,7	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,4	-0,1
23	-6,2	3,1	-17,7	-7,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1
24	-5,6	2,9	-32,3	-14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1
25	-4,5	2,4	-44,1	-20,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	-0,1
26	-3,1	1,8	-52,6	-24,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	-0,1
27	-1,5	1,1	-57,3	-26,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
28	0,1	0,3	-58,4	-27,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	-0,6	1,9	-57,4	-26,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
30	-1,3	3,5	-52,6	-24,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,1
31	-2,0	4,9	-44,2	-20,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
32	-2,4	6,0	-32,4	-14,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
33	-2,6	6,6	-17,8	-7,9	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,2
34	-6,2	3,0	-16,5	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1
35	-5,6	3,1	-31,4	-8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1
36	-4,5	2,9	-43,4	-15,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	0,0
37	-3,1	2,4	-52,1	-20,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,2	0,0
38	-1,5	1,8	-57,1	-24,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
39	-0,5	1,1	-58,8	-27,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,1	0,0
40	-2,6	6,6	-16,6	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3
41	-2,6	6,0	-31,5	-8,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3
42	-2,4	4,9	-43,5	-15,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,3
43	-2,0	3,5	-52,1	-20,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2
44	-1,3	1,9	-57,1	-24,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
45	-0,6	0,7	-58,8	-27,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1
46	0,0	1,5	-0,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
47	-2,6	-0,8	-47,3	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,7	-0,2
48	-1,3	-0,4	-65,2	-22,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5
49	0,0	0,0	-0,5	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Staaf	Dx (mm) (min)	Dx (mm) (max)	Dy (mm) (min)	Dy (mm) (max)	Dz (mm) (min)	Dz (mm) (max)	ϕx (°) (min)	ϕx (°) (max)	ϕy (°) (min)	ϕy (°) (max)	ϕz (°) (min)	ϕz (°) (max)
50	0,0	0,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
51	-1,3	0,0	-0,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
52	0,7	3,0	-0,8	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
53	-1,7	-0,6	-65,2	-22,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,5	0,0
54	-0,9	0,0	-47,2	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,2	0,7
55	-2,6	-0,6	-1,0	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
56	-6,2	-2,9	-16,5	-2,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	-0,3	-0,1
57	3,1	6,6	-16,6	-2,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,1	0,3

3.3.2 Reactie in punt - UGT FC Omhullende

Punt	reactie F_x (kN) (min)	reactie F_x (kN) (max)	reactie F_y (kN) (min)	reactie F_y (kN) (max)	reactie F_z (kN) (min)	reactie F_z (kN) (max)	reactie M_x (kNm) (min)	reactie M_x (kNm) (max)	reactie M_y (kNm) (min)	reactie M_y (kNm) (max)	reactie M_z (kNm) (min)	reactie M_z (kNm) (max)
2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
10	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
12	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
14	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
16	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	0,0	0,0	77,1	202,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	0,0	0,0	53,8	126,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	0,0	0,0	83,9	254,6	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
32	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
33	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
34	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
35	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

3.3.3 NMV in staaf - UGT FC Omhullende

Staaf	N (kN) (min)	N (kN) (max)	Vz (kN) (min)	Vz (kN) (max)	Vy (kN) (min)	Vy (kN) (max)	My (kNm) (min)	My (kNm) (max)	Mz (kNm) (min)	Mz (kNm) (max)	Tx (kNm) (min)	Tx (kNm) (max)
1	57,5	187,8	-1,2	-0,1	0,0	0,0	-1,2	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
2	100,7	325,3	-0,4	0,6	0,0	0,0	-1,4	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
3	132,8	426,8	-0,5	0,4	0,0	0,0	-1,3	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
4	153,7	493,0	-0,5	0,5	0,0	0,0	-1,5	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
5	164,3	526,4	-0,4	0,9	0,0	0,0	-1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
6	164,3	526,2	-0,9	0,4	0,0	0,0	-1,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
7	153,7	492,5	-0,5	0,5	0,0	0,0	-1,5	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0
8	132,8	425,8	-0,4	0,5	0,0	0,0	-1,3	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
9	100,7	323,4	-0,6	0,4	0,0	0,0	-1,4	-0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
10	57,5	184,3	0,1	1,2	0,0	0,0	-1,2	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
11	-184,6	-57,4	-13,8	11,7	0,0	0,0	-7,7	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0
12	-323,7	-100,7	-11,9	13,5	0,0	0,0	-7,3	3,2	0,0	0,0	0,0	0,0
13	-426,2	-132,8	-12,3	12,9	0,0	0,0	-8,8	0,9	0,0	0,0	0,0	0,0
14	-492,9	-153,7	-12,4	12,8	0,0	0,0	-9,5	0,1	0,0	0,0	0,0	0,0
15	-526,6	-164,2	-12,4	12,6	0,0	0,0	-9,9	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
16	-530,5	-165,5	-12,8	12,2	0,0	0,0	-9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
17	-530,5	-165,5	-12,2	12,8	0,0	0,0	-9,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
18	-526,7	-164,2	-12,6	12,4	0,0	0,0	-9,8	-0,3	0,0	0,0	0,0	0,0
19	-493,4	-153,7	-12,6	12,3	0,0	0,0	-9,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
20	-427,2	-132,8	-12,7	12,2	0,0	0,0	-8,8	0,8	0,0	0,0	0,0	0,0
21	-325,7	-100,7	-14,6	11,7	0,0	0,0	-7,1	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0
22	-188,1	-57,4	-14,8	16,7	0,0	0,0	-9,5	4,0	0,0	0,0	0,0	0,0
23	-145,2	-43,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
24	-111,1	-34,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
25	-83,0	-25,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
26	-55,3	-16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
27	-28,8	-8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
28	-4,7	-0,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
29	-28,6	-8,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
30	-55,3	-16,7	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
31	-83,3	-25,4	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
32	-111,8	-34,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
33	-142,5	-43,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
34	73,0	238,9	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
35	55,4	177,6	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
36	41,5	132,5	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
37	27,3	87,5	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
38	13,9	44,9	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
39	1,6	5,8	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
40	73,0	234,4	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
41	55,4	178,7	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
42	41,5	132,9	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
43	27,3	87,5	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
44	13,9	44,6	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
45	1,6	5,4	-0,2	0,2	0,0	0,0	-0,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Staaf	N (kN) (min)	N (kN) (max)	Vz (kN) (min)	Vz (kN) (max)	Vy (kN) (min)	Vy (kN) (max)	My (kNm) (min)	My (kNm) (max)	Mz (kNm) (min)	Mz (kNm) (max)	Tx (kNm) (min)	Tx (kNm) (max)
46	-202,7	-66,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
47	-1,7	-0,3	-84,2	-13,3	0,0	0,0	-284,2	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
48	-0,8	0,0	-0,6	41,5	0,0	0,0	-380,3	-89,6	0,0	0,0	0,0	0,0
49	-112,1	-26,5	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
50	-126,5	-43,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
51	-254,6	-80,1	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
52	-188,2	-49,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
53	-0,8	0,0	-42,2	0,2	0,0	0,0	-380,3	-89,6	0,0	0,0	0,0	0,0
54	-1,8	-0,3	13,3	90,1	0,0	0,0	-289,8	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
55	-249,5	-76,3	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
56	0,0	0,0	0,0	0,9	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0
57	0,0	0,0	-0,9	0,0	0,0	0,0	0,0	1,2	0,0	0,0	0,0	0,0

3.3.4 Spanning in staaf - UGT FC Omhullende

Staaf	σc sterke as (N/mm²) (min)	σc sterke as (N/mm²) (max)	σt sterke as (N/mm²) (min)	σt sterke as (N/mm²) (max)	σc zwakke as (N/mm²) (min)	σc zwakke as (N/mm²) (max)	σt zwakke as (N/mm²) (min)	σt zwakke as (N/mm²) (max)
1	0,0	0,0	-67,6	66,7	0,0	0,0	-59,8	59,8
2	0,0	0,0	-112,4	97,9	0,0	0,0	-103,6	103,6
3	0,0	0,0	-144,0	130,2	0,0	0,0	-135,9	135,9
4	0,0	0,0	-166,8	150,3	0,0	0,0	-156,9	156,9
5	0,0	0,0	-176,4	167,5	0,0	0,0	-167,5	167,5
6	0,0	0,0	-176,3	167,5	0,0	0,0	-167,5	167,5
7	0,0	0,0	-166,7	150,1	0,0	0,0	-156,8	156,8
8	0,0	0,0	-143,7	129,9	0,0	0,0	-135,5	135,5
9	0,0	0,0	-111,8	97,3	0,0	0,0	-102,9	102,9
10	0,0	0,0	-66,4	65,6	0,0	0,0	-58,7	58,7
11	-34,7	43,6	0,0	0,0	-28,7	28,7	0,0	0,0
12	-56,4	64,4	0,0	0,0	-50,3	50,3	0,0	0,0
13	-67,8	83,3	0,0	0,0	-66,2	66,2	0,0	0,0
14	-76,5	95,0	0,0	0,0	-76,6	76,6	0,0	0,0
15	-80,7	100,9	0,0	0,0	-81,8	81,8	0,0	0,0
16	-82,4	100,9	0,0	0,0	-82,4	82,4	0,0	0,0
17	-82,4	100,9	0,0	0,0	-82,4	82,4	0,0	0,0
18	-80,6	100,9	0,0	0,0	-81,9	81,9	0,0	0,0
19	-76,5	95,0	0,0	0,0	-76,7	76,7	0,0	0,0
20	-67,7	83,4	0,0	0,0	-66,4	66,4	0,0	0,0
21	-58,3	64,4	0,0	0,0	-50,6	50,6	0,0	0,0
22	-36,9	47,6	0,0	0,0	-29,2	29,2	0,0	0,0
23	-143,1	143,1	0,0	0,0	-143,1	143,1	0,0	0,0
24	-109,5	109,5	0,0	0,0	-109,5	109,5	0,0	0,0
25	-81,8	81,8	0,0	0,0	-81,8	81,8	0,0	0,0
26	-54,5	54,5	0,0	0,0	-54,5	54,5	0,0	0,0
27	-28,4	28,4	0,0	0,0	-28,4	28,4	0,0	0,0
28	-4,7	4,7	0,0	0,0	-4,7	4,7	0,0	0,0

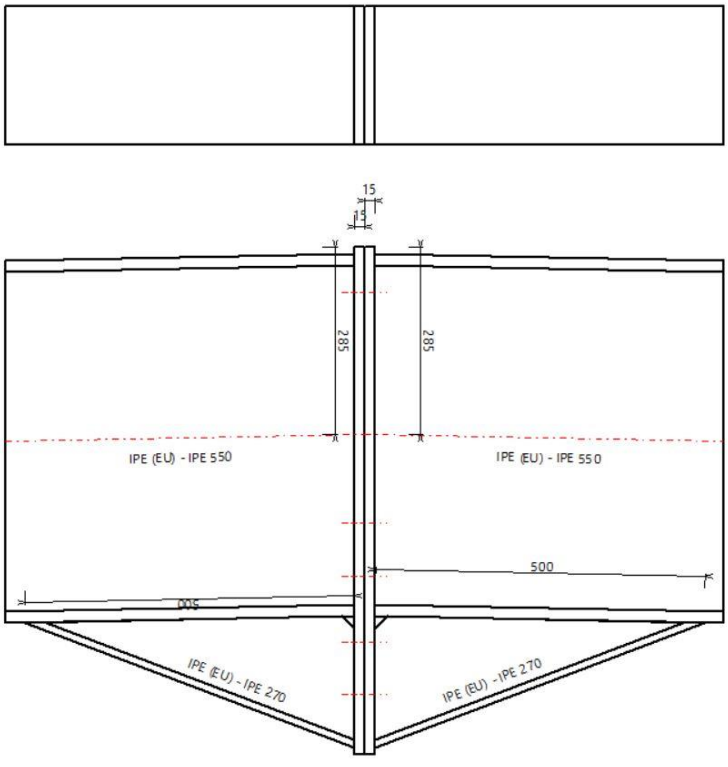
Staaf	σc sterke as (N/mm²) (min)	σc sterke as (N/mm²) (max)	σt sterke as (N/mm²) (min)	σt sterke as (N/mm²) (max)	σc zwakke as (N/mm²) (min)	σc zwakke as (N/mm²) (max)	σt zwakke as (N/mm²) (min)	σt zwakke as (N/mm²) (max)
29	-28,2	28,2	0,0	0,0	-28,2	28,2	0,0	0,0
30	-54,5	54,5	0,0	0,0	-54,5	54,5	0,0	0,0
31	-82,1	82,1	0,0	0,0	-82,1	82,1	0,0	0,0
32	-110,2	110,2	0,0	0,0	-110,2	110,2	0,0	0,0
33	-140,4	140,4	0,0	0,0	-140,4	140,4	0,0	0,0
34	0,0	0,0	-199,6	193,3	0,0	0,0	-193,3	193,3
35	0,0	0,0	-150,1	143,7	0,0	0,0	-143,7	143,7
36	0,0	0,0	-113,6	107,2	0,0	0,0	-107,2	107,2
37	0,0	0,0	-77,3	70,8	0,0	0,0	-70,8	70,8
38	0,0	0,0	-42,9	36,3	0,0	0,0	-36,3	36,3
39	0,0	5,9	-11,3	4,7	0,0	0,0	-4,7	4,7
40	0,0	0,0	-196,0	189,7	0,0	0,0	-189,7	189,7
41	0,0	0,0	-151,0	144,6	0,0	0,0	-144,6	144,6
42	0,0	0,0	-114,0	107,6	0,0	0,0	-107,6	107,6
43	0,0	0,0	-77,3	70,8	0,0	0,0	-70,8	70,8
44	0,0	0,0	-42,7	36,1	0,0	0,0	-36,1	36,1
45	0,0	5,9	-11,0	4,4	0,0	0,0	-4,4	4,4
46	-20,8	20,8	0,0	0,0	-20,8	20,8	0,0	0,0
47	-0,1	116,5	-116,4	0,0	-0,1	0,1	0,0	0,0
48	118,8	154,5	-154,5	-118,7	-0,1	0,1	0,0	0,0
49	-11,5	11,5	0,0	0,0	-11,5	11,5	0,0	0,0
50	-13,0	13,0	0,0	0,0	-13,0	13,0	0,0	0,0
51	-26,2	26,2	0,0	0,0	-26,2	26,2	0,0	0,0
52	-19,3	19,3	0,0	0,0	-19,3	19,3	0,0	0,0
53	116,5	154,2	-154,2	-116,4	-0,1	0,1	0,0	0,0
54	-0,1	118,8	-118,7	0,0	-0,1	0,1	0,0	0,0
55	-25,7	25,7	0,0	0,0	-25,7	25,7	0,0	0,0
56	-7,8	0,0	0,0	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0
57	-7,8	0,0	0,0	7,8	0,0	0,0	0,0	0,0

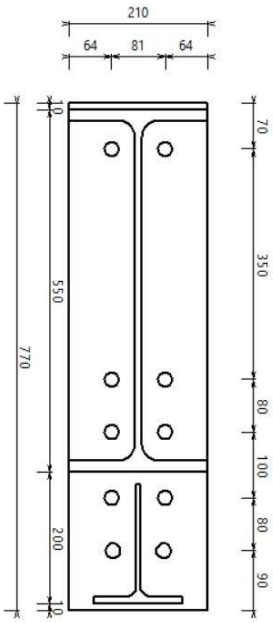
3.3.5 Controle van staven

Staaf	Weerstand (%)	Stabiliteit (%)
1	25,434 ~ 25,434	3,207
2	44,064 ~ 44,064	3,867
3	57,812 ~ 57,812	3,544
4	66,774 ~ 66,774	4,298
5	71,292 ~ 71,292	3,755
6	71,269 ~ 71,269	3,760
7	66,712 ~ 66,712	4,302
8	57,672 ~ 57,672	3,554
9	43,798 ~ 43,798	3,844
10	24,959 ~ 24,959	3,169
11	12,171 ~ 12,205	32,066
12	21,374 ~ 21,407	51,145

Staaf	Weerstand (%)	Stabiliteit (%)
13	28,149 ~ 28,182	66,582
14	32,563 ~ 32,597	76,356
15	34,789 ~ 34,822	81,318
16	35,049 ~ 35,082	81,627
17	35,049 ~ 35,082	81,617
18	34,800 ~ 34,833	81,320
19	32,594 ~ 32,627	76,388
20	28,217 ~ 28,250	66,698
21	21,504 ~ 21,539	51,310
22	12,399 ~ 12,441	33,966
23	51,965 ~ 52,044	79,429
24	39,738 ~ 39,819	62,453
25	29,657 ~ 29,740	47,968
26	19,717 ~ 19,801	32,862
27	10,237 ~ 10,324	17,637
28	1,626 ~ 1,693	2,978
29	10,175 ~ 10,262	17,533
30	19,723 ~ 19,808	32,873
31	29,768 ~ 29,851	48,148
32	39,988 ~ 40,069	62,846
33	50,981 ~ 51,060	77,927
34	70,231 ~ 70,308	2,214
35	52,191 ~ 52,270	2,237
36	38,903 ~ 38,984	2,261
37	25,670 ~ 25,753	2,286
38	13,132 ~ 13,217	2,311
39	1,615 ~ 2,244	2,336
40	68,920 ~ 68,997	2,214
41	52,516 ~ 52,595	2,237
42	39,048 ~ 39,129	2,261
43	25,678 ~ 25,761	2,286
44	13,054 ~ 13,139	2,311
45	1,502 ~ 2,244	2,336
46	8,233 ~ 8,867	15,077
47	8,040 ~ 43,420	54,833
48	38,141 ~ 57,927	80,791
49	3,941 ~ 4,902	8,335
50	4,902 ~ 5,536	9,413
51	10,917 ~ 11,139	18,940
52	7,272 ~ 8,233	14,000
53	38,141 ~ 57,838	80,534
54	8,477 ~ 44,274	56,234
55	10,694 ~ 10,917	18,562
56	0,000 ~ 2,956	3,130
57	0,000 ~ 2,956	3,130

Bijlage S: Momentvaste verbinding IPE 550





Boutenklasse = M 20, klasse 8.8
Boutdiameter = 20 mm - Gatdiameter = 22 mm
Boutenklasse = M 20, klasse 8.8
Boutdiameter = 20 mm - Gatdiameter = 22 mm
Staalkwaliteit : fy = 235N/mm2, fu = 360N/mm2
Lassen (mm)
Balk : op flens = 5, op lijf = 5
Kniestuk : op flens = 5, op lijf = 5
Balk : op flens = 5, op lijf = 5
Kniestuk : op flens = 5, op lijf = 5

Resultaten met componenten voor -UGT FC 2 (N+ M- V+) | Knoop Nr. 26 staaf Nr. 53, 48-

Linkerverbinding

Moment

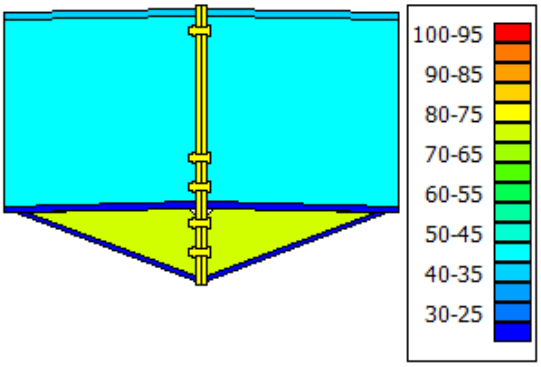
Totaal weerstandbiedend moment (MRd) = -476,5 kNm ≥ aangrijpend moment (MEd) = -380,3 kNm

Boutenrij nr1, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 159,3 kNm
Boutenrij nr2, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 111,8 kNm
Boutenrij nr3, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 117,1 kNm
Boutenrij nr4, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 75,8 kNm
Boutenrij nr5, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 12,5 kNm

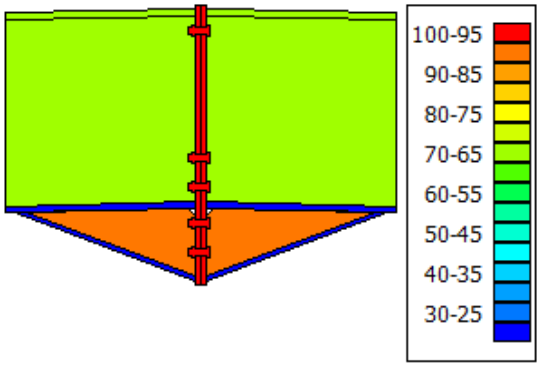
Weerstandbiedend moment van de lassen = -461,8 kNm ≥ aangrijpend moment (MEd) = -380,3 kNm

Grafiek met benuttingsgraad voor - UGT FC 2 (N+ M- V+) | Knoop Nr. 26 staaf Nr. 53, 48 -

Grafiek i.f.v. aangrijpend moment



Grafiek i.f.v. weerstandbiedend moment



Componenten

Boutenrij

hefboomsarm en trekkracht voor de boutenrijen

Nr van de boutenrij	1	2	3	4	5
Hefboomsarm(mm)	661	581	481	401	51
BtRd(kN)	141,1	141,1	141,1	141,1	141,1

Druk in flens en lijf van balk

Uiterste druk in flens = 1229,1 kN

Eindplaat onder buiging

tabel met alle Ft(x)Rd waarden (kN)

(1): 240,8	(2): 433,1	(3): -	(4): -	(5): -
	(2+1): 244,8	(3+2): -	(4+3): -	(5+4): -
		(3+...+1): 243,3	(4+...+2): 432,2	(5+...+3): 736,4
			(4+...+1): 236,1	(5+...+2): 540,3
				(5+...+1): 243,4

Trek in de lassen op de eindplaat

Uiterste trek voor boutenrij n°1 = 575,7 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°2 = 419,7 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°3 = 342 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°4 = 547,3 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°5 = 952,7 kN

Kniestuklijf op trek

tabel met lastenwaarden voor elke boutengroep Ft(x)Rd (kN)

(1): 300,3	(2): 462,9	(3): -	(4): -	(5): -
	(2+1): 340,7	(3+2): -	(4+3): -	(5+4): -
		(3+...+1): -	(4+...+2): -	(5+...+3): -
			(4+...+1): -	(5+...+2): -
				(5+...+1): -

Normaalkracht

Druk (CEd = 0 kN) (NInit = 0 kN) ≤ 2862,7 kN (CRd)

Beperkend element voor max. druk: Druk in de balk

Trek (TEd = 0 kN) <= 1169,6 kN (TRd)

Beperkend element voor max. trek: Trek in de eindplaat

Componenten

Moment in eindplaat

Uiterste trek t.g.v. moment in eindplaat = 1169,6 kN

Trek in balk

Uiterste trek in balk = 3776,9 kN

Druk in balk

Uiterste druk in balk = 2862,7 kN

Trek in bouten

Uiterste trek in bouten = 1411,2 kN

Trek in de lassen

Uiterste trek in de lassen = 2795,9 kN

Normaalkracht met moment

Aangrijpend moment (MEd) = 380,3 kNm

Weerstandbiedend moment (MRd) = 461,8 kNm

Aangrijpende normaalkracht (NEd) = 0 kN

Weerstandbiedende normaalkracht (NRd) = 2862,7 kN

MEd/MRd + NEd/NRd = 0,823 < 1

Dwarskracht

Dwarskracht (VRd) weerstand van de verbinding = 412,9 kN

aangrijpende dwarskracht (VEd) = 0,2 kN (VInit = 0,2 kN ≤ Dwarskrachtweerstand (VRd) = 412,9 kN

Beperkende component = Boutenrijen aan dwarskracht onderworpen

Componenten

Lassen op afschuiving

Uiterste waarde voor Lassen op afschuiving = 1290,2 kN

Boutenrijen aan dwarskracht onderworpen

Uiterste waarde voor de aan dwarskracht onderworpen boutenrijen = 412,9 kN

Stijfheid

Sjini = 1486345 kNm/Rad

Sj = 495448 kNm/Rad

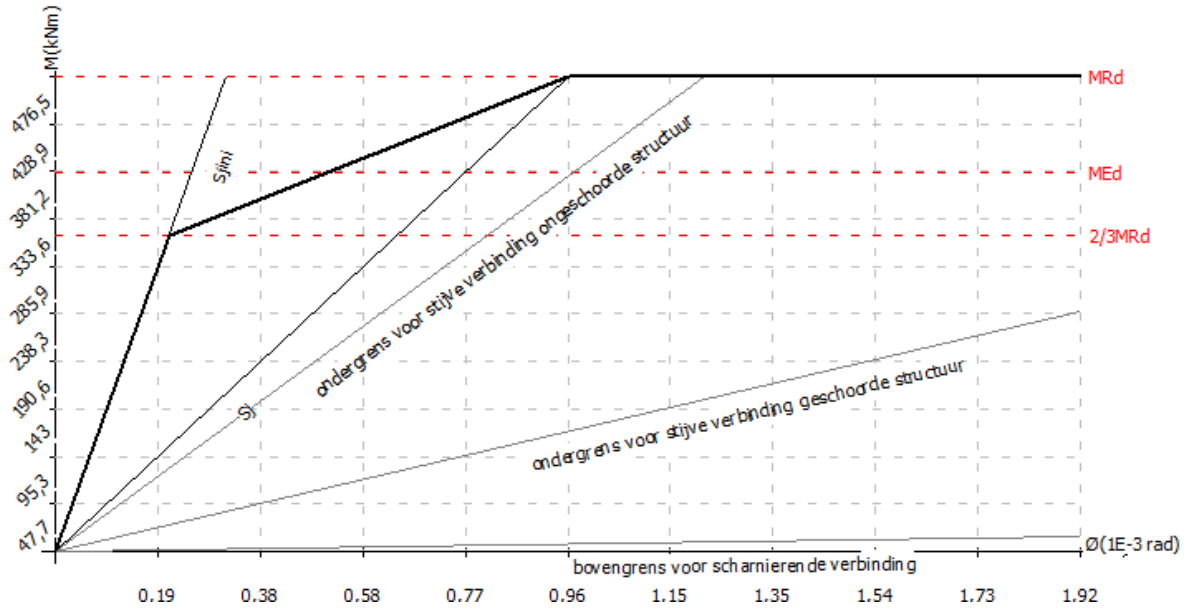
Classificatie

De verbinding is Stijf. (Zie diagram in het diagramvenster)

Bovenlimiet voor een scharnierende verbinding = 7829 kNm/Rad

Onderlimiet voor een stijve verbinding = 391465 kNm/Rad

Stijfheidsdiagram voor - UGT FC 2 (N+ M- V+) | Knoop Nr. 26 staaf Nr. 53, 48 - linkerverbinding -



Componenten

Bouten in trek

k = 8,8 mm

Eindplaat onder buiging

Boutenrijen in trek :

k voor boutenrij nr 1 = 21 mm

k voor boutenrij nr 2 = 19,3 mm

k voor boutenrij nr 3 = 18,9 mm

k voor boutenrij nr 4 = 16,7 mm

k voor boutenrij nr 5 = 22,2 mm

Rechterverbinding

Moment

Totaal weerstandbiedend moment (MRd) = -476,5 kNm ≥ aangrijpend moment (MEd) = -380,3 kNm

Boutenrij nr1, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 159,3 kNm
Boutenrij nr2, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 111,8 kNm
Boutenrij nr3, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 117,1 kNm
Boutenrij nr4, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 75,8 kNm
Boutenrij nr5, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 12,5 kNm

Weerstandbiedend moment van de lassen = -461,8 kNm ≥ aangrijpend moment (MEd) = -380,3 kNm

Componenten

Boutenrij

hefboomsarm en trekkracht voor de boutenrijen

Nr van de boutenrij	1	2	3	4	5
Hefboomsarm(mm)	661	581	481	401	51
BtRd(kN)	141,1	141,1	141,1	141,1	141,1

Druk in flens en lijf van balk

Uiterste druk in flens = 1229,1 kN

Eindplaat onder buiging

tabel met alle Ft(x)Rd waarden (kN)

(1): 240,8	(2): 433,1	(3): -	(4): -	(5): -
	(2+1): 244,8	(3+2): -	(4+3): -	(5+4): -
		(3+...+1): 243,3	(4+...+2): 432,2	(5+...+3): 736,4
			(4+...+1): 236,1	(5+...+2): 540,3
				(5+...+1): 243,4

Trek in de lassen op de eindplaat

Uiterste trek voor boutenrij n°1 = 575,7 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°2 = 419,7 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°3 = 342 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°4 = 547,3 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°5 = 952,7 kN

Kniestuklijf op trek

tabel met lastenwaarden voor elke boutengroep Ft(x)Rd (kN)

(1): 300,3	(2): 462,9	(3): -	(4): -	(5): -
	(2+1): 340,7	(3+2): -	(4+3): -	(5+4): -
		(3+...+1): -	(4+...+2): -	(5+...+3): -
			(4+...+1): -	(5+...+2): -
				(5+...+1): -

Normaalkracht

Druk (CEd = 0 kN) (NInit = 0 kN) ≤ 2862,7 kN (CRd)

Beperkend element voor max. druk :Druk in de balk

Trek (TEd = 0 kN) <= 1169,6 kN (TRd)

Beperkend element voor max. trek :Trek in de eindplaat

Componenten

Moment in eindplaat

Uiterste trek t.g.v. moment in eindplaat = 1169,6 kN

Trek in balk

Uiterste trek in balk = 3776,9 kN

Druk in balk

Uiterste druk in balk = 2862,7 kN

Trek in bouten

Uiterste trek in bouten = 1411,2 kN

Trek in de lassen

Uiterste trek in de lassen = 2795,9 kN

Normaalkracht met moment

Aangrijpend moment (MEd) = 380,3 kNm

Weerstandbiedend moment (MRd) = 461,8 kNm

Aangrijpende normaalkracht (NEd) = 0 kN

Weerstandbiedende normaalkracht (NRd) = 2862,7 kN

MEd/MRd + NEd/NRd = 0,823 < 1

Dwarskracht

Dwarskracht (VRd) weerstand van de verbinding = 412,9 kN

aangrijpende dwarskracht (VEd) = 0,6 kN (VInit = 0,6 kN ≤ Dwarskrachtweerstand (VRd) = 412,9 kN

Beperkende component = Boutenrijen aan dwarskracht onderworpen

Componenten

Lassen op afschuiving

Uiterste waarde voor Lassen op afschuiving = 1290,2 kN

Boutenrijen aan dwarskracht onderworpen

Uiterste waarde voor de aan dwarskracht onderworpen boutenrijen = 412,9 kN

Stijfheid

Sjini = 1486345 kNm/Rad

Sj = 495448 kNm/Rad

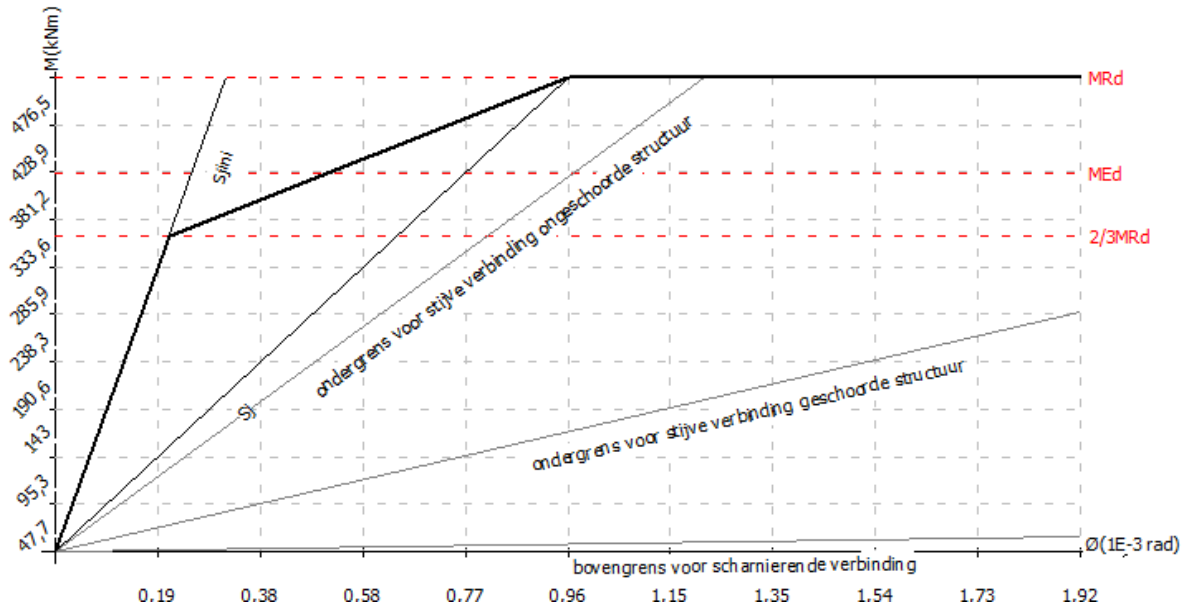
Classificatie

De verbinding is Stijf. (Zie diagram in het diagramvenster)

Bovenlimiet voor een scharnierende verbinding = 7829 kNm/Rad

Onderlimiet voor een stijve verbinding = 391465 kNm/Rad

Stijfheidsdiagram voor - UGT FC 2 (N+ M- V+) | Knoop Nr. 26 staaf Nr. 53, 48 - rechterverbinding -



Componenten

Bouten in trek

k = 8,8 mm

Eindplaat onder buiging

Boutenrijen in trek :

k voor boutenrij nr 1 = 21 mm

k voor boutenrij nr 2 = 19,3 mm

k voor boutenrij nr 3 = 18,9 mm

k voor boutenrij nr 4 = 16,7 mm

k voor boutenrij nr 5 = 22,2 mm

Resultaten met componenten voor -UGT FC 2 (N+ M- V-) | Knoop Nr. 26 staaf Nr. 53, 48-

Linkerverbinding

Moment

Totaal weerstandbiedend moment (MRd) = -476,5 kNm ≥ aangrijpend moment (MEd) = -380,3 kNm

Boutenrij nr1, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 159,3 kNm

Boutenrij nr2, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 111,8 kNm

Boutenrij nr3, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 117,1 kNm

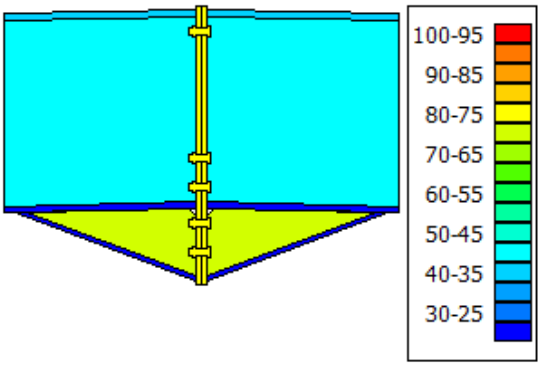
Boutenrij nr4, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 75,8 kNm

Boutenrij nr5, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 12,5 kNm

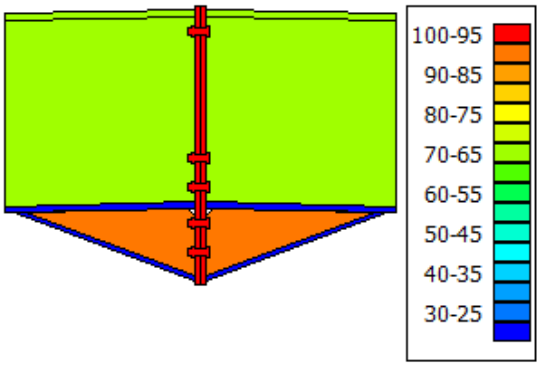
Weerstandbiedend moment van de lassen = -461,8 kNm ≥ aangrijpend moment (MEd) = -380,3 kNm

Grafiek met benuttingsgraad voor - UGT FC 2 (N+ M- V-) | Knoop Nr. 26 staaf Nr. 53, 48 -

Grafiek i.f.v. aangrijpend moment



Grafiek i.f.v. weerstandbiedend moment



Componenten

Boutenrij

hefboomsarm en trekkracht voor de boutenrijen

Nr van de boutenrij	1	2	3	4	5
Hefboomsarm(mm)	661	581	481	401	51
BtRd(kN)	141,1	141,1	141,1	141,1	141,1

Druk in flens en lijf van balk

Uiterste druk in flens = 1229,1 kN

Eindplaat onder buiging

tabel met alle Ft(x)Rd waarden (kN)

(1): 240,8	(2): 433,1	(3): -	(4): -	(5): -
	(2+1): 244,8	(3+2): -	(4+3): -	(5+4): -
		(3+...+1): 243,3	(4+...+2): 432,2	(5+...+3): 736,4
			(4+...+1): 236,1	(5+...+2): 540,3
				(5+...+1): 243,4

Trek in de lassen op de eindplaat

Uiterste trek voor boutenrij n°1 = 575,7 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°2 = 419,7 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°3 = 342 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°4 = 547,3 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°5 = 952,7 kN

Kniestuklijf op trek

tabel met lastenwaarden voor elke boutengroep Ft(x)Rd (kN)

(1): 300,3	(2): 462,9	(3): -	(4): -	(5): -
	(2+1): 340,7	(3+2): -	(4+3): -	(5+4): -
		(3+...+1): -	(4+...+2): -	(5+...+3): -
			(4+...+1): -	(5+...+2): -
				(5+...+1): -

Normaalkracht

Druk (CEd = 0 kN) (NInit = 0 kN) ≤ 2862,7 kN (CRd)

Beperkend element voor max. druk :Druk in de balk

Trek (TEd = 0 kN) <= 1169,6 kN (TRd)

Beperkend element voor max. trek :Trek in de eindplaat

Componenten

Moment in eindplaat

Uiterste trek t.g.v. moment in eindplaat = 1169,6 kN

Trek in balk

Uiterste trek in balk = 3776,9 kN

Druk in balk

Uiterste druk in balk = 2862,7 kN

Trek in bouten

Uiterste trek in bouten = 1411,2 kN

Trek in de lassen

Uiterste trek in de lassen = 2795,9 kN

Normaalkracht met moment

Aangrijpend moment (MEd) = 380,3 kNm

Weerstandbiedend moment (MRd) = 461,8 kNm

Aangrijpende normaalkracht (NEd) = 0 kN
Weerstandbiedende normaalkracht (NRd) = 2862,7 kN

MEd/MRd + NEd/NRd = 0,823 < 1

Dwarskracht

Dwarskracht (VRd) weerstand van de verbinding = 412,9 kN
aangrijpende dwarskracht (VEd) = 0,6 kN (VInit = 0,6 kN ≤ Dwarskrachtweerstand (VRd) = 412,9 kN
Beperkende component = Boutenrijen aan dwarskracht onderworpen

Componenten

Lassen op afschuiving

Uiterste waarde voor Lassen op afschuiving = 1290,2 kN

Boutenrijen aan dwarskracht onderworpen

Uiterste waarde voor de aan dwarskracht onderworpen boutenrijen = 412,9 kN

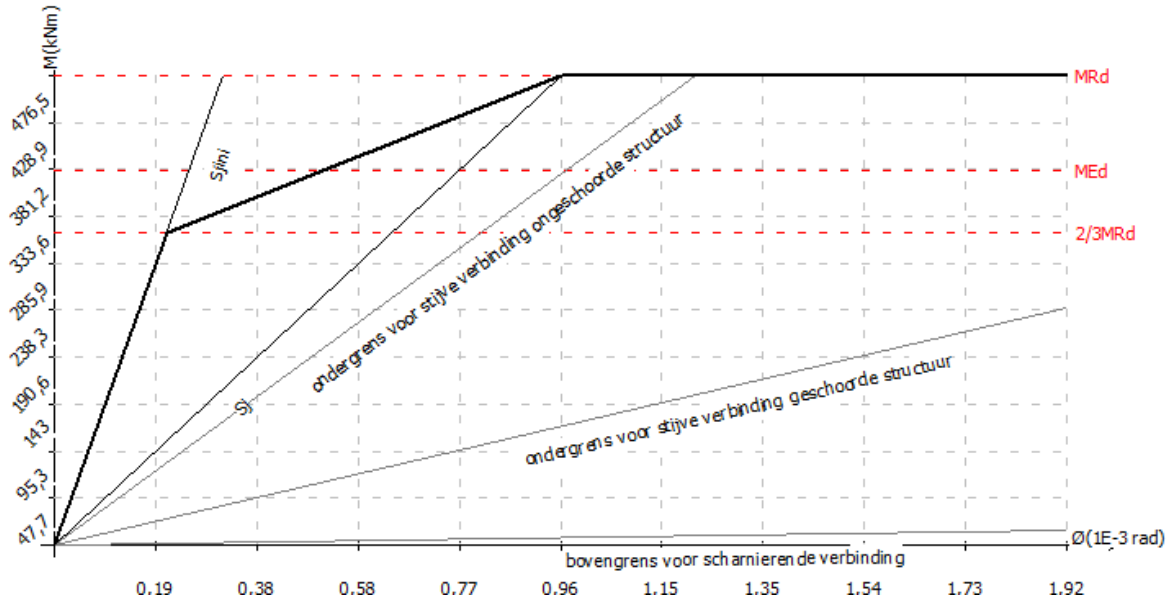
Stijfheid

Sjini = 1486345 kNm/Rad
Sj = 495448 kNm/Rad

Classificatie

De verbinding is Stijf. (Zie diagram in het diagramvenster)
Bovenlimiet voor een scharnierende verbinding = 7829 kNm/Rad
Onderlimiet voor een stijve verbinding = 391465 kNm/Rad

Stijfheidsdiagram voor - UGT FC 2 (N+ M- V-) | Knoop Nr. 26 staaf Nr. 53, 48 - linkerverbinding -



Componenten

Bouten in trek

k = 8,8 mm

Eindplaat onder buiging

Boutenrijen in trek :

k voor boutenrij nr 1 = 21 mm

k voor boutenrij nr 2 = 19,3 mm

k voor boutenrij nr 3 = 18,9 mm

k voor boutenrij nr 4 = 16,7 mm

k voor boutenrij nr 5 = 22,2 mm

Rechterverbinding

Moment

Totaal weerstandbiedend moment (MRd) = -476,5 kNm ≥ aangrijpend moment (MEd) = -380,3 kNm

Boutenrij nr1, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 159,3 kNm
Boutenrij nr2, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 111,8 kNm
Boutenrij nr3, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 117,1 kNm
Boutenrij nr4, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 75,8 kNm
Boutenrij nr5, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 12,5 kNm

Weerstandbiedend moment van de lassen = -461,8 kNm ≥ aangrijpend moment (MEd) = -380,3 kNm

Componenten

Boutenrij

hefboomsarm en trekkracht voor de boutenrijen

Nr van de boutenrij	1	2	3	4	5
Hefboomsarm(mm)	661	581	481	401	51
BtRd(kN)	141,1	141,1	141,1	141,1	141,1

Druk in flens en lijf van balk

Uiterste druk in flens = 1229,1 kN

Eindplaat onder buiging

tabel met alle Ft(x)Rd waarden (kN)

(1): 240,8	(2): 433,1	(3): -	(4): -	(5): -
	(2+1): 244,8	(3+2): -	(4+3): -	(5+4): -
		(3+...+1): 243,3	(4+...+2): 432,2	(5+...+3): 736,4
			(4+...+1): 236,1	(5+...+2): 540,3
				(5+...+1): 243,4

Trek in de lassen op de eindplaat

Uiterste trek voor boutenrij n°1 = 575,7 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°2 = 419,7 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°3 = 342 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°4 = 547,3 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°5 = 952,7 kN

Kniestuklijf op trek

tabel met lastenwaarden voor elke boutengroep Ft(x)Rd (kN)

(1): 300,3	(2): 462,9	(3): -	(4): -	(5): -
	(2+1): 340,7	(3+2): -	(4+3): -	(5+4): -
		(3+...+1): -	(4+...+2): -	(5+...+3): -
			(4+...+1): -	(5+...+2): -
				(5+...+1): -

Normaalkracht

Druk (CEd = 0 kN) (NInit = 0 kN) ≤ 2862,7 kN (CRd)

Beperkend element voor max. druk :Druk in de balk

Trek (TEd = 0 kN) <= 1169,6 kN (TRd)

Beperkend element voor max. trek :Trek in de eindplaat

Componenten

Moment in eindplaat

Uiterste trek t.g.v. moment in eindplaat = 1169,6 kN

Trek in balk

Uiterste trek in balk = 3776,9 kN

Druk in balk

Uiterste druk in balk = 2862,7 kN

Trek in bouten

Uiterste trek in bouten = 1411,2 kN

Trek in de lassen

Uiterste trek in de lassen = 2795,9 kN

Normaalkracht met moment

Aangrijpend moment (MEd) = 380,3 kNm

Weerstandbiedend moment (MRd) = 461,8 kNm

Aangrijpende normaalkracht (NEd) = 0 kN

Weerstandbiedende normaalkracht (NRd) = 2862,7 kN

MEd/MRd + NEd/NRd = 0,823 < 1

Dwarskracht

Dwarskracht (VRd) weerstand van de verbinding = 412,9 kN

aangrijpende dwarskracht (VEd) = 0,2 kN (VInit = 0,2 kN ≤ Dwarskrachtweerstand (VRd) = 412,9 kN

Beperkende component = Boutenrijen aan dwarskracht onderworpen

Componenten

Lassen op afschuiving

Uiterste waarde voor Lassen op afschuiving = 1290,2 kN

Boutenrijen aan dwarskracht onderworpen

Uiterste waarde voor de aan dwarskracht onderworpen boutenrijen = 412,9 kN

Stijfheid

Sjini = 1486345 kNm/Rad

Sj = 495448 kNm/Rad

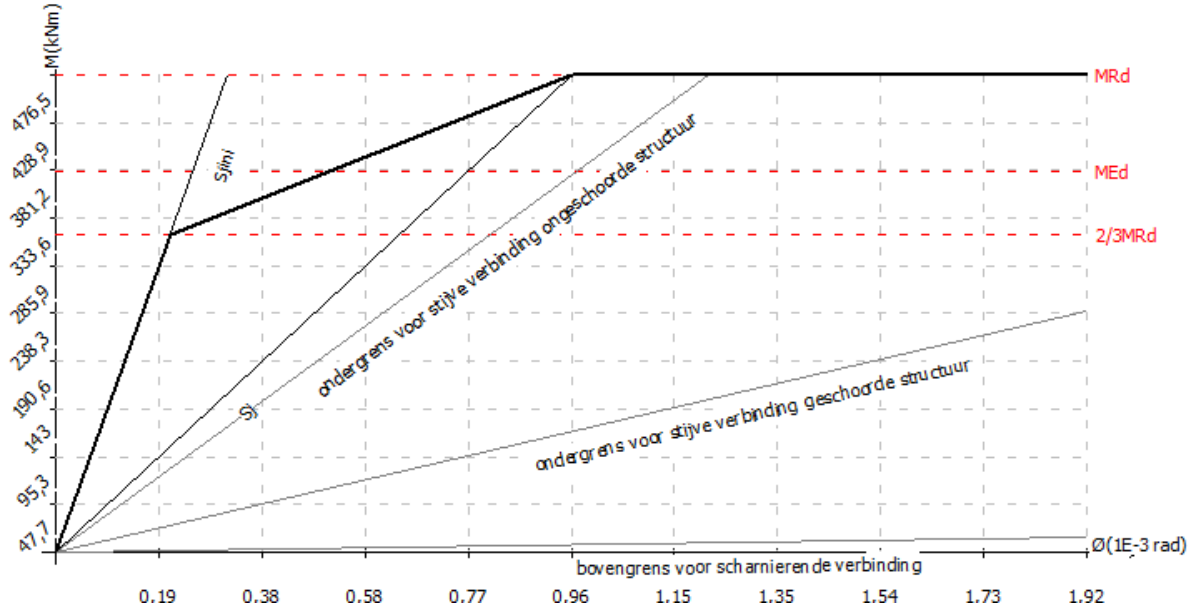
Classificatie

De verbinding is Stijf. (Zie diagram in het diagramvenster)

Bovenlimiet voor een scharnierende verbinding = 7829 kNm/Rad

Onderlimiet voor een stijve verbinding = 391465 kNm/Rad

Stijfheidsdiagram voor - UGT FC 2 (N+ M- V-) | Knoop Nr. 26 staaf Nr. 53, 48 - rechterverbinding -



Componenten

Bouten in trek

k = 8,8 mm

Eindplaat onder buiging

Boutenrijen in trek :

k voor boutenrij nr 1 = 21 mm

k voor boutenrij nr 2 = 19,3 mm

k voor boutenrij nr 3 = 18,9 mm

k voor boutenrij nr 4 = 16,7 mm

k voor boutenrij nr 5 = 22,2 mm

Resultaten met componenten voor -UGT FC 2 (N- M- V+) | Knoop Nr. 26 staaf Nr. 53, 48-

Linkerverbinding

Moment

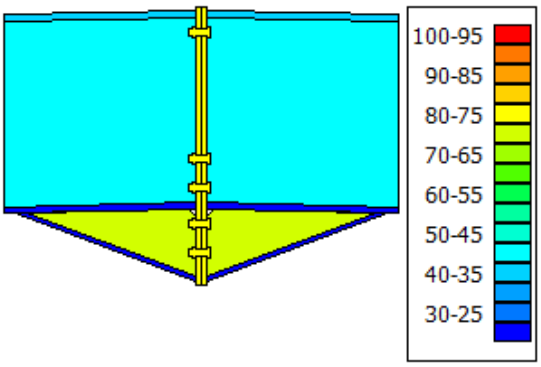
Totaal weerstandbiedend moment (MRd) = -476,5 kNm ≥ aangrijpend moment (MEd) = -380,3 kNm

Boutenrij nr1, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 159,3 kNm
Boutenrij nr2, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 111,8 kNm
Boutenrij nr3, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 117,1 kNm
Boutenrij nr4, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 75,8 kNm
Boutenrij nr5, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 12,5 kNm

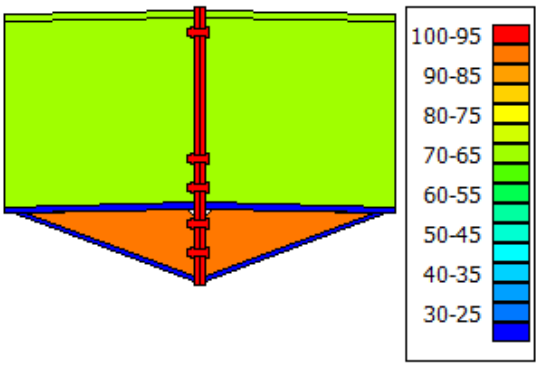
Weerstandbiedend moment van de lassen = -461,8 kNm ≥ aangrijpend moment (MEd) = -380,3 kNm

Grafiek met benuttingsgraad voor - UGT FC 2 (N- M- V+) | Knoop Nr. 26 staaf Nr. 53, 48 -

Grafiek i.f.v. aangrijpend moment



Grafiek i.f.v. weerstandbiedend moment



Componenten

Boutenrij

hefboomsarm en trekkracht voor de boutenrijen

Nr van de boutenrij	1	2	3	4	5
Hefboomsarm(mm)	661	581	481	401	51
BtRd(kN)	141,1	141,1	141,1	141,1	141,1

Druk in flens en lijf van balk

Uiterste druk in flens = 1229,1 kN

Eindplaat onder buiging

tabel met alle Ft(x)Rd waarden (kN)

(1): 240,8	(2): 433,1	(3): -	(4): -	(5): -
	(2+1): 244,8	(3+2): -	(4+3): -	(5+4): -
		(3+...+1): 243,3	(4+...+2): 432,2	(5+...+3): 736,4
			(4+...+1): 236,1	(5+...+2): 540,3
				(5+...+1): 243,4

Trek in de lassen op de eindplaat

Uiterste trek voor boutenrij n°1 = 575,7 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°2 = 419,7 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°3 = 342 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°4 = 547,3 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°5 = 952,7 kN

Kniestuklijf op trek

tabel met lastenwaarden voor elke boutengroep Ft(x)Rd (kN)

(1): 300,3	(2): 462,9	(3): -	(4): -	(5): -
	(2+1): 340,7	(3+2): -	(4+3): -	(5+4): -
		(3+...+1): -	(4+...+2): -	(5+...+3): -
			(4+...+1): -	(5+...+2): -
				(5+...+1): -

Normaalkracht

Druk (CEd = 0 kN) (NInit = 0 kN) ≤ 2862,7 kN (CRd)

Beperkend element voor max. druk :Druk in de balk

Trek (TEd = 0 kN) <= 1169,6 kN (TRd)

Beperkend element voor max. trek :Trek in de eindplaat

Componenten

Moment in eindplaat

Uiterste trek t.g.v. moment in eindplaat = 1169,6 kN

Trek in balk

Uiterste trek in balk = 3776,9 kN

Druk in balk

Uiterste druk in balk = 2862,7 kN

Trek in bouten

Uiterste trek in bouten = 1411,2 kN

Trek in de lassen

Uiterste trek in de lassen = 2795,9 kN

Normaalkracht met moment

Aangrijpend moment (MEd) = 380,3 kNm

Weerstandbiedend moment (MRd) = 461,8 kNm

Aangrijpende normaalkracht (NEd) = 0 kN
Weerstandbiedende normaalkracht (NRd) = 2862,7 kN

MEd/MRd + NEd/NRd = 0,823 < 1

Dwarskracht

Dwarskracht (VRd) weerstand van de verbinding = 412,9 kN
aangrijpende dwarskracht (VEd) = 0,2 kN (VInit = 0,2 kN ≤ Dwarskrachtweerstand (VRd) = 412,9 kN
Beperkende component = Boutenrijen aan dwarskracht onderworpen

Componenten

Lassen op afschuiving

Uiterste waarde voor Lassen op afschuiving = 1290,2 kN

Boutenrijen aan dwarskracht onderworpen

Uiterste waarde voor de aan dwarskracht onderworpen boutenrijen = 412,9 kN

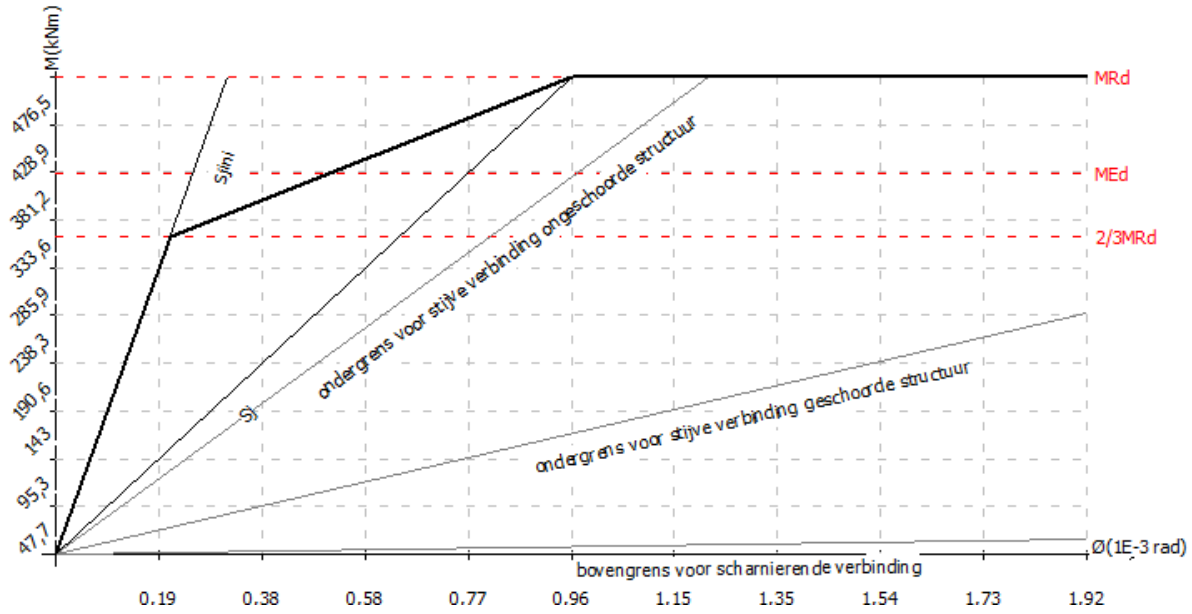
Stijfheid

Sjini = 1486345 kNm/Rad
Sj = 495448 kNm/Rad

Classificatie

De verbinding is Stijf. (Zie diagram in het diagramvenster)
Bovenlimiet voor een scharnierende verbinding = 7829 kNm/Rad
Onderlimiet voor een stijve verbinding = 391465 kNm/Rad

Stijfheidsdiagram voor - UGT FC 2 (N- M- V+) | Knoop Nr. 26 staaf Nr. 53, 48 - linkerverbinding -



Componenten

Bouten in trek

k = 8,8 mm

Eindplaat onder buiging

Boutenrijen in trek :

k voor boutenrij nr 1 = 21 mm

k voor boutenrij nr 2 = 19,3 mm

k voor boutenrij nr 3 = 18,9 mm

k voor boutenrij nr 4 = 16,7 mm

k voor boutenrij nr 5 = 22,2 mm

Rechterverbinding

Moment

Totaal weerstandbiedend moment (MRd) = -476,5 kNm ≥ aangrijpend moment (MEd) = -380,3 kNm

Boutenrij nr1, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 159,3 kNm

Boutenrij nr2, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 111,8 kNm

Boutenrij nr3, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 117,1 kNm

Boutenrij nr4, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 75,8 kNm

Boutenrij nr5, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 12,5 kNm

Weerstandbiedend moment van de lassen = -461,8 kNm ≥ aangrijpend moment (MEd) = -380,3 kNm

Componenten

Boutenrij

hefboomsarm en trekkracht voor de boutenrijen

Nr van de boutenrij	1	2	3	4	5
Hefboomsarm(mm)	661	581	481	401	51
BtRd(kN)	141,1	141,1	141,1	141,1	141,1

Druk in flens en lijf van balk

Uiterste druk in flens = 1229,1 kN

Eindplaat onder buiging

tabel met alle Ft(x)Rd waarden (kN)

(1): 240,8	(2): 433,1	(3): -	(4): -	(5): -
	(2+1): 244,8	(3+2): -	(4+3): -	(5+4): -
		(3+...+1): 243,3	(4+...+2): 432,2	(5+...+3): 736,4
			(4+...+1): 236,1	(5+...+2): 540,3
				(5+...+1): 243,4

Trek in de lassen op de eindplaat

Uiterste trek voor boutenrij n°1 = 575,7 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°2 = 419,7 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°3 = 342 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°4 = 547,3 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°5 = 952,7 kN

Kniestuklijf op trek

tabel met lastenwaarden voor elke boutengroep Ft(x)Rd (kN)

(1): 300,3	(2): 462,9	(3): -	(4): -	(5): -
	(2+1): 340,7	(3+2): -	(4+3): -	(5+4): -
		(3+...+1): -	(4+...+2): -	(5+...+3): -
			(4+...+1): -	(5+...+2): -
				(5+...+1): -

Normaalkracht

Druk (CEd = 0 kN) (NInit = 0 kN) ≤ 2862,7 kN (CRd)

Beperkend element voor max. druk :Druk in de balk

Trek (TEd = 0 kN) <= 1169,6 kN (TRd)

Beperkend element voor max. trek :Trek in de eindplaat

Componenten

Moment in eindplaat

Uiterste trek t.g.v. moment in eindplaat = 1169,6 kN

Trek in balk

Uiterste trek in balk = 3776,9 kN

Druk in balk

Uiterste druk in balk = 2862,7 kN

Trek in bouten

Uiterste trek in bouten = 1411,2 kN

Trek in de lassen

Uiterste trek in de lassen = 2795,9 kN

Normaalkracht met moment

Aangrijpend moment (MEd) = 380,3 kNm

Weerstandbiedend moment (MRd) = 461,8 kNm

Aangrijpende normaalkracht (NEd) = 0 kN

Weerstandbiedende normaalkracht (NRd) = 2862,7 kN

MEd/MRd + NEd/NRd = 0,823 < 1

Dwarskracht

Dwarskracht (VRd) weerstand van de verbinding = 412,9 kN

aangrijpende dwarskracht (VEd) = 0,6 kN (VInit = 0,6 kN ≤ Dwarskrachtweerstand (VRd) = 412,9 kN

Beperkende component = Boutenrijen aan dwarskracht onderworpen

Componenten

Lassen op afschuiving

Uiterste waarde voor Lassen op afschuiving = 1290,2 kN

Boutenrijen aan dwarskracht onderworpen

Uiterste waarde voor de aan dwarskracht onderworpen boutenrijen = 412,9 kN

Stijfheid

Sjini = 1486345 kNm/Rad

Sj = 495448 kNm/Rad

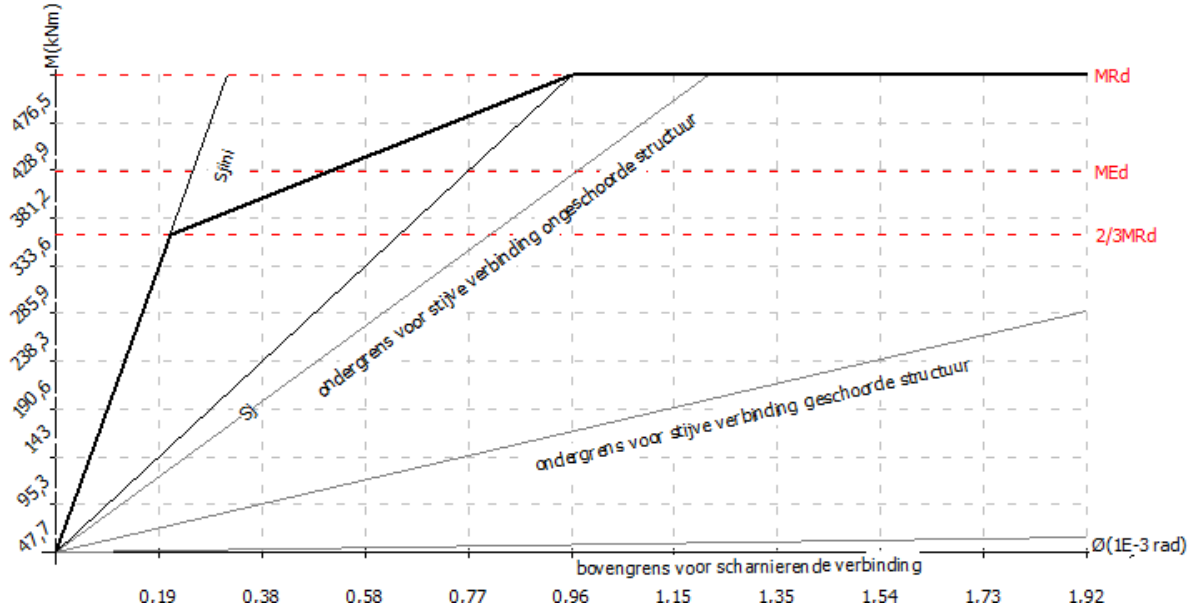
Classificatie

De verbinding is Stijf. (Zie diagram in het diagramvenster)

Bovenlimiet voor een scharnierende verbinding = 7829 kNm/Rad

Onderlimiet voor een stijve verbinding = 391465 kNm/Rad

Stijfheidsdiagram voor - UGT FC 2 (N- M- V+) | Knoop Nr. 26 staaf Nr. 53, 48 - rechterverbinding -



Componenten

Bouten in trek

k = 8,8 mm

Eindplaat onder buiging

Boutenrijen in trek :

k voor boutenrij nr 1 = 21 mm

k voor boutenrij nr 2 = 19,3 mm

k voor boutenrij nr 3 = 18,9 mm

k voor boutenrij nr 4 = 16,7 mm

k voor boutenrij nr 5 = 22,2 mm

Resultaten met componenten voor -UGT FC 2 (N- M- V-) | Knoop Nr. 26 staaf Nr. 53, 48-

Linkerverbinding

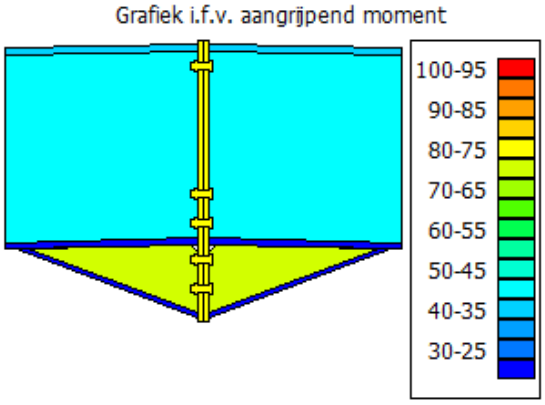
Moment

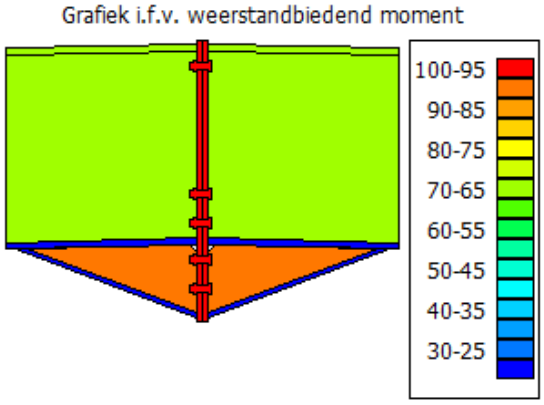
Totaal weerstandbiedend moment (MRd) = -476,5 kNm ≥ aangrijpend moment (MEd) = -380,3 kNm

Boutenrij nr1, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 159,3 kNm
Boutenrij nr2, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 111,8 kNm
Boutenrij nr3, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 117,1 kNm
Boutenrij nr4, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 75,8 kNm
Boutenrij nr5, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 12,5 kNm

Weerstandbiedend moment van de lassen = -461,8 kNm ≥ aangrijpend moment (MEd) = -380,3 kNm

Grafiek met benuttingsgraad voor - UGT FC 2 (N- M- V-) | Knoop Nr. 26 staaf Nr. 53, 48 -





Componenten

Boutenrij

hefboomsarm en trekkracht voor de boutenrijen

Nr van de boutenrij	1	2	3	4	5
Hefboomsarm(mm)	661	581	481	401	51
BtRd(kN)	141,1	141,1	141,1	141,1	141,1

Druk in flens en lijf van balk

Uiterste druk in flens = 1229,1 kN

Eindplaat onder buiging

tabel met alle Ft(x)Rd waarden (kN)

(1): 240,8	(2): 433,1	(3): -	(4): -	(5): -
	(2+1): 244,8	(3+2): -	(4+3): -	(5+4): -
		(3+...+1): 243,3	(4+...+2): 432,2	(5+...+3): 736,4
			(4+...+1): 236,1	(5+...+2): 540,3
				(5+...+1): 243,4

Trek in de lassen op de eindplaat

Uiterste trek voor boutenrij n°1 = 575,7 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°2 = 419,7 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°3 = 342 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°4 = 547,3 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°5 = 952,7 kN

Kniestuklijf op trek

tabel met lastenwaarden voor elke boutengroep Ft(x)Rd (kN)

(1): 300,3	(2): 462,9	(3): -	(4): -	(5): -
	(2+1): 340,7	(3+2): -	(4+3): -	(5+4): -
		(3+...+1): -	(4+...+2): -	(5+...+3): -
			(4+...+1): -	(5+...+2): -
				(5+...+1): -

Normaalkracht

Druk (CEd = 0 kN) <= 2862,7 kN (CRd)

Beperkend element voor max. druk :Druk in de balk

Trek (TEd = 0 kN) (NInit = 0 kN) ≤ 1169,6 kN (TRd)

Beperkend element voor max. trek :Trek in de eindplaat

Componenten

Moment in eindplaat

Uiterste trek t.g.v. moment in eindplaat = 1169,6 kN

Trek in balk

Uiterste trek in balk = 3776,9 kN

Druk in balk

Uiterste druk in balk = 2862,7 kN

Trek in bouten

Uiterste trek in bouten = 1411,2 kN

Trek in de lassen

Uiterste trek in de lassen = 2795,9 kN

Normaalkracht met moment

Aangrijpend moment (MEd) = 380,3 kNm

Weerstandbiedend moment (MRd) = 461,8 kNm

Aangrijpende normaalkracht (NEd) = 0 kN
Weerstandbiedende normaalkracht (NRd) = 1169,6 kN

MEd/MRd + NEd/NRd = 0,823 < 1

Dwarskracht

Dwarskracht (VRd) weerstand van de verbinding = 412,9 kN
aangrijpende dwarskracht (VEd) = 0,6 kN (VInit = 0,6 kN ≤ Dwarskrachtweerstand (VRd) = 412,9 kN
Beperkende component = Boutenrijen aan dwarskracht onderworpen

Componenten

Lassen op afschuiving

Uiterste waarde voor Lassen op afschuiving = 1290,2 kN

Boutenrijen aan dwarskracht onderworpen

Uiterste waarde voor de aan dwarskracht onderworpen boutenrijen = 412,9 kN

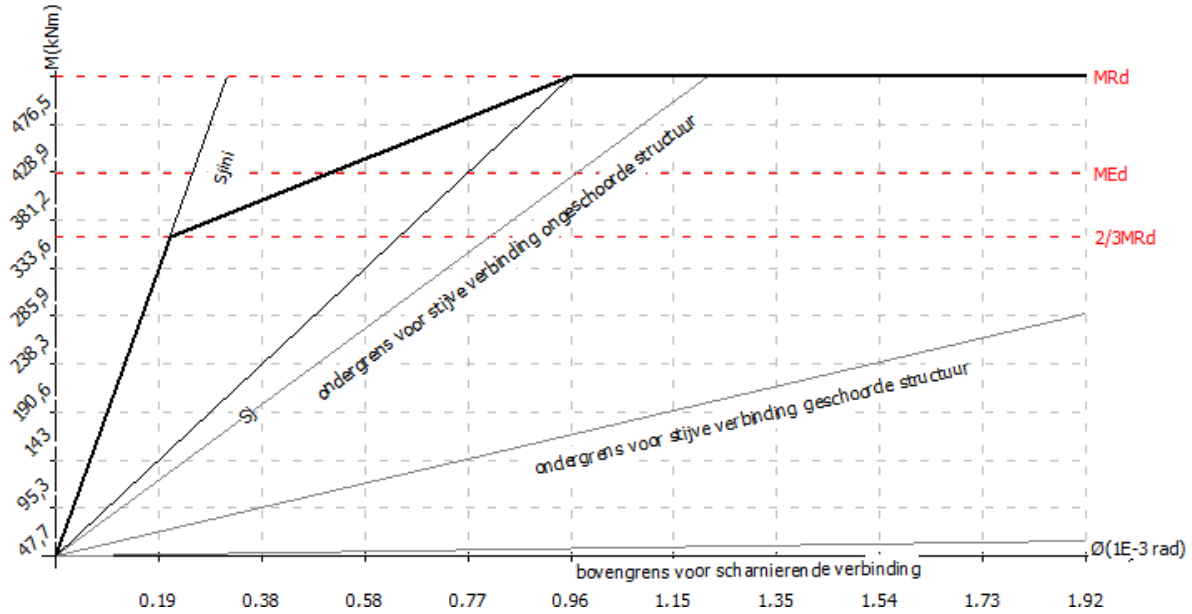
Stijfheid

Sjini = 1486345 kNm/Rad
Sj = 495448 kNm/Rad

Classificatie

De verbinding is Stijf. (Zie diagram in het diagramvenster)
Bovenlimiet voor een scharnierende verbinding = 7829 kNm/Rad
Onderlimiet voor een stijve verbinding = 391465 kNm/Rad

Stijfheidsdiagram voor - UGT FC 2 (N- M- V-) | Knoop Nr. 26 staaf Nr. 53, 48 - linkerverbinding -



Componenten

Bouten in trek

k = 8,8 mm

Eindplaat onder buiging

Boutenrijen in trek :

k voor boutenrij nr 1 = 21 mm

k voor boutenrij nr 2 = 19,3 mm

k voor boutenrij nr 3 = 18,9 mm

k voor boutenrij nr 4 = 16,7 mm

k voor boutenrij nr 5 = 22,2 mm

Rechterverbinding

Moment

Totaal weerstandbiedend moment (MRd) = -476,5 kNm ≥ aangrijpend moment (MEd) = -380,3 kNm

Boutenrij nr1, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 159,3 kNm

Boutenrij nr2, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 111,8 kNm

Boutenrij nr3, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 117,1 kNm

Boutenrij nr4, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 75,8 kNm

Boutenrij nr5, Beperkende component: Eindplaat onder buiging (mod 2), Moment : 12,5 kNm

Weerstandbiedend moment van de lassen = -461,8 kNm ≥ aangrijpend moment (MEd) = -380,3 kNm

Componenten

Boutenrij

hefboomsarm en trekkracht voor de boutenrijen

Nr van de boutenrij	1	2	3	4	5
Hefboomsarm(mm)	661	581	481	401	51
BtRd(kN)	141,1	141,1	141,1	141,1	141,1

Druk in flens en lijf van balk

Uiterste druk in flens = 1229,1 kN

Eindplaat onder buiging

tabel met alle Ft(x)Rd waarden (kN)

(1): 240,8	(2): 433,1	(3): -	(4): -	(5): -
	(2+1): 244,8	(3+2): -	(4+3): -	(5+4): -
		(3+...+1): 243,3	(4+...+2): 432,2	(5+...+3): 736,4
			(4+...+1): 236,1	(5+...+2): 540,3
				(5+...+1): 243,4

Trek in de lassen op de eindplaat

Uiterste trek voor boutenrij n°1 = 575,7 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°2 = 419,7 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°3 = 342 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°4 = 547,3 kN

Uiterste trek voor boutenrij n°5 = 952,7 kN

Kniestuklijf op trek

tabel met lastenwaarden voor elke boutengroep Ft(x)Rd (kN)

(1): 300,3	(2): 462,9	(3): -	(4): -	(5): -
	(2+1): 340,7	(3+2): -	(4+3): -	(5+4): -
		(3+...+1): -	(4+...+2): -	(5+...+3): -
			(4+...+1): -	(5+...+2): -
				(5+...+1): -

Normaalkracht

Druk (CEd = 0 kN) <= 2862,7 kN (CRd)

Beperkend element voor max. druk :Druk in de balk

Trek (TEd = 0 kN) (NInit = 0 kN) ≤ 1169,6 kN (TRd)

Beperkend element voor max. trek :Trek in de eindplaat

Componenten

Moment in eindplaat

Uiterste trek t.g.v. moment in eindplaat = 1169,6 kN

Trek in balk

Uiterste trek in balk = 3776,9 kN

Druk in balk

Uiterste druk in balk = 2862,7 kN

Trek in bouten

Uiterste trek in bouten = 1411,2 kN

Trek in de lassen

Uiterste trek in de lassen = 2795,9 kN

Normaalkracht met moment

Aangrijpend moment (MEd) = 380,3 kNm
Weerstandbiedend moment (MRd) = 461,8 kNm
Aangrijpende normaalkracht (NEd) = 0 kN
Weerstandbiedende normaalkracht (NRd) = 1169,6 kN

MEd/MRd + NEd/NRd = 0,823 < 1

Dwarskracht

Dwarskracht (VRd) weerstand van de verbinding = 412,9 kN
aangrijpende dwarskracht (VEd) = 0,2 kN (VInit = 0,2 kN ≤ Dwarskrachtweerstand (VRd) = 412,9 kN
Beperkende component = Boutenrijen aan dwarskracht onderworpen

Componenten

Lassen op afschuiving

Uiterste waarde voor Lassen op afschuiving = 1290,2 kN

Boutenrijen aan dwarskracht onderworpen

Uiterste waarde voor de aan dwarskracht onderworpen boutenrijen = 412,9 kN

Stijfheid

Sjini = 1486345 kNm/Rad
Sj = 495448 kNm/Rad

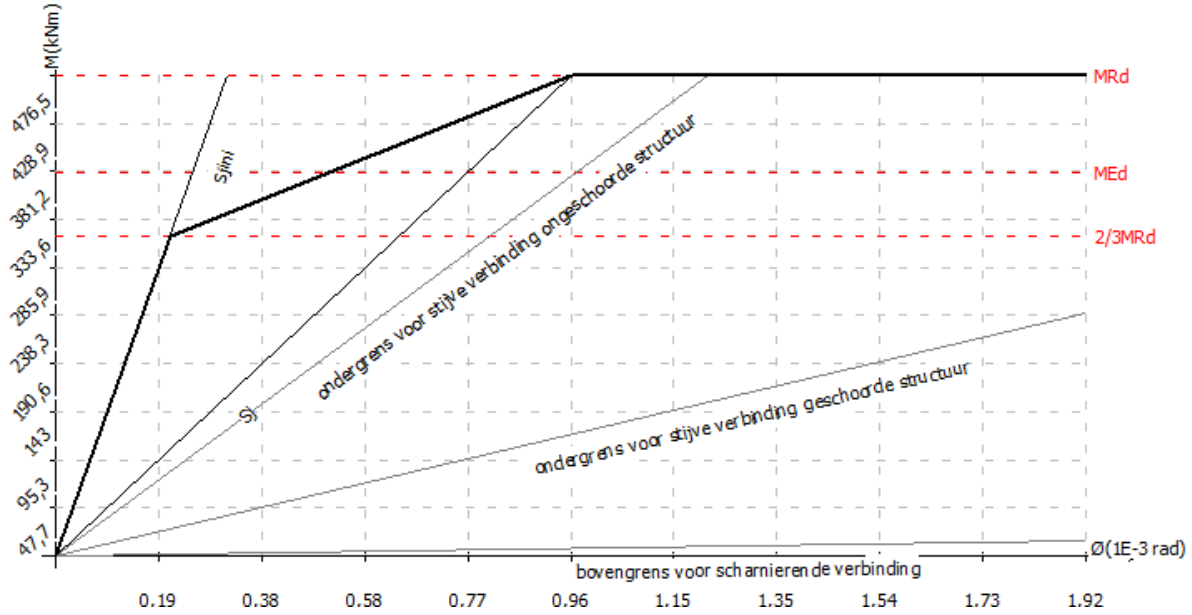
Classificatie

De verbinding is Stijf. (Zie diagram in het diagramvenster)

Bovenlimiet voor een scharnierende verbinding = 7829 kNm/Rad

Onderlimiet voor een stijve verbinding = 391465 kNm/Rad

Stijfheidsdiagram voor - UGT FC 2 (N- M- V-) | Knoop Nr. 26 staaf Nr. 53, 48 - rechterverbinding -



Componenten

Bouten in trek

k = 8,8 mm

Eindplaat onder buiging

Boutenrijen in trek :

k voor boutenrij nr 1 = 21 mm

k voor boutenrij nr 2 = 19,3 mm

k voor boutenrij nr 3 = 18,9 mm

k voor boutenrij nr 4 = 16,7 mm

k voor boutenrij nr 5 = 22,2 mm

Gegevens

Linkerverbinding

Balk : IPE (EU) - IPE 550

Hoek : -1,1 °

Verbindingshoek : 88,9 °

lengte : 9002 mm

breedte : 210 mm

hoogte : 550 mm

lijf : 11 mm

flens : 17 mm

r : 24 mm

Materiaal : Staal S235

voor lijf - fy : 235 N/mm² fu : 360 N/mm²

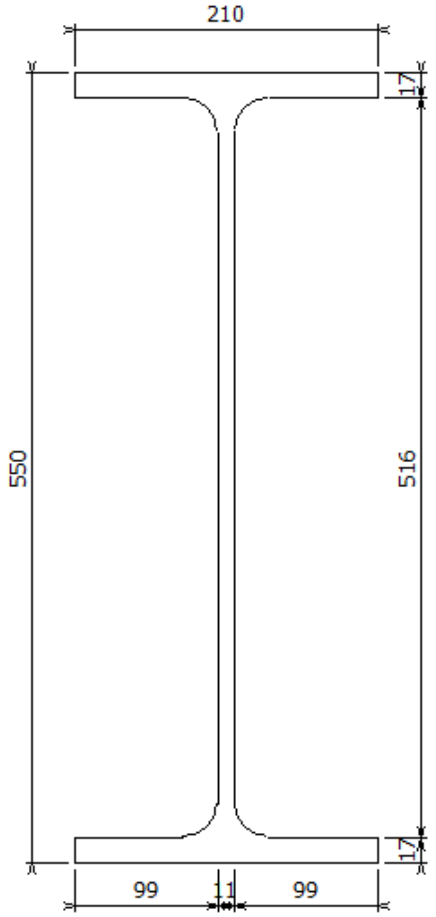
voor flens - fy : 235 N/mm² fu : 360 N/mm²

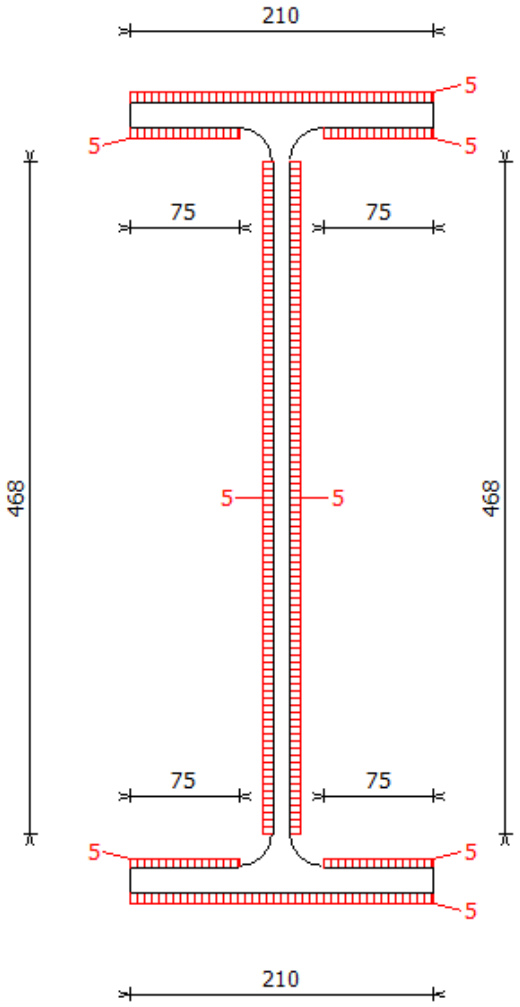
Lijflassen : 5 mm

Flenslassen : 5 mm

Excentriciteit : 0 mm

Opening : 0 mm


210
17
550
516
17
99
11
99


210
5
5
5
75
75
468
5
5
468
75
75
5
5
5
5
210

Eindplaat

Hoogte : 770 mm

Breedte : 210 mm

Dikte : 15 mm

Afstand boven de balk : 10 mm

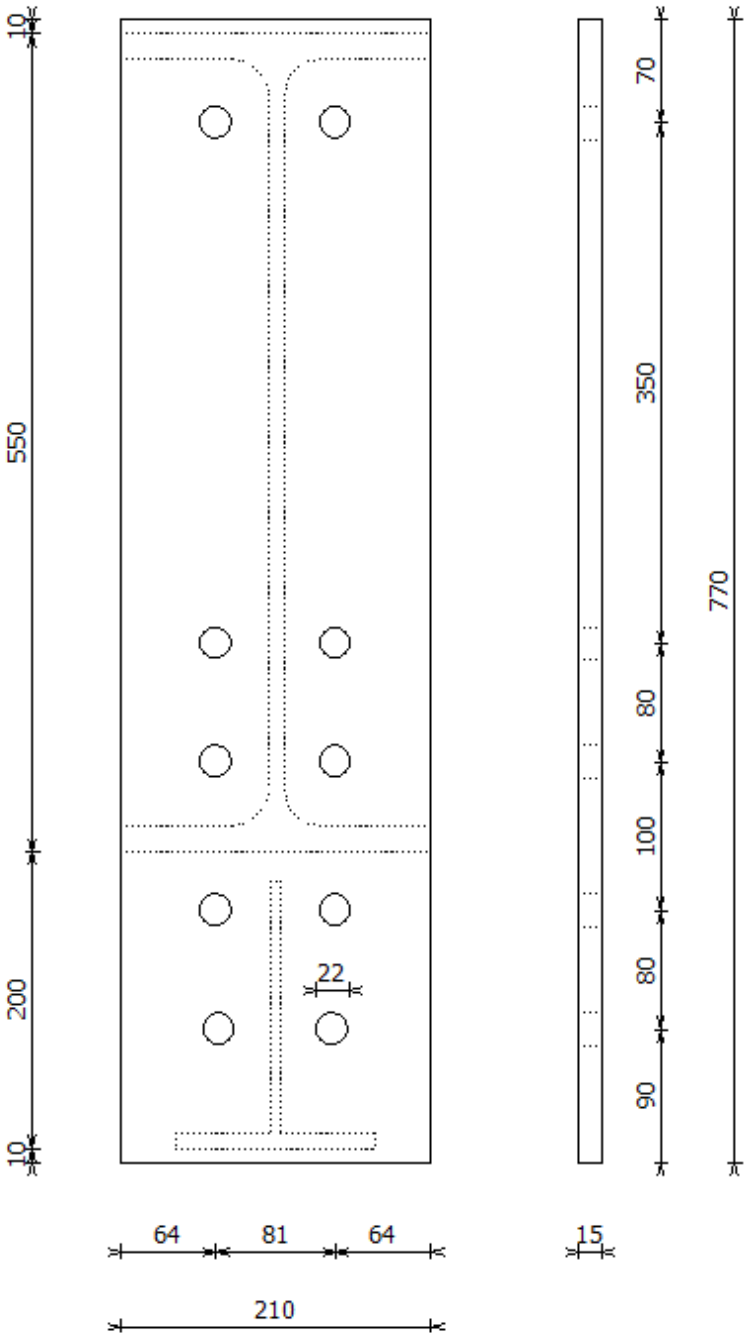
Afstand onder de balk : 10 mm

Materiaal : Staal S235 - fy : 235 N/mm² fu : 360 N/mm²

Bouten

Diameter van de openingen : 22 mm

Boutenklasse : M 20 klasse 8.8


10
550
200
10
22
64
81
64
210
15
70
350
80
100
80
90
770

Onder kniestuk : IPE (EU) - IPE 270

Profieleigenschappen :

Hoogte : 135 mm

Breedte : 270 mm

Lijfdikte : 7 mm

Flensdikte : 10 mm

Straal : 15 mm

Opening in de hoogte : 20 mm

Opening in de lengte : 20 mm

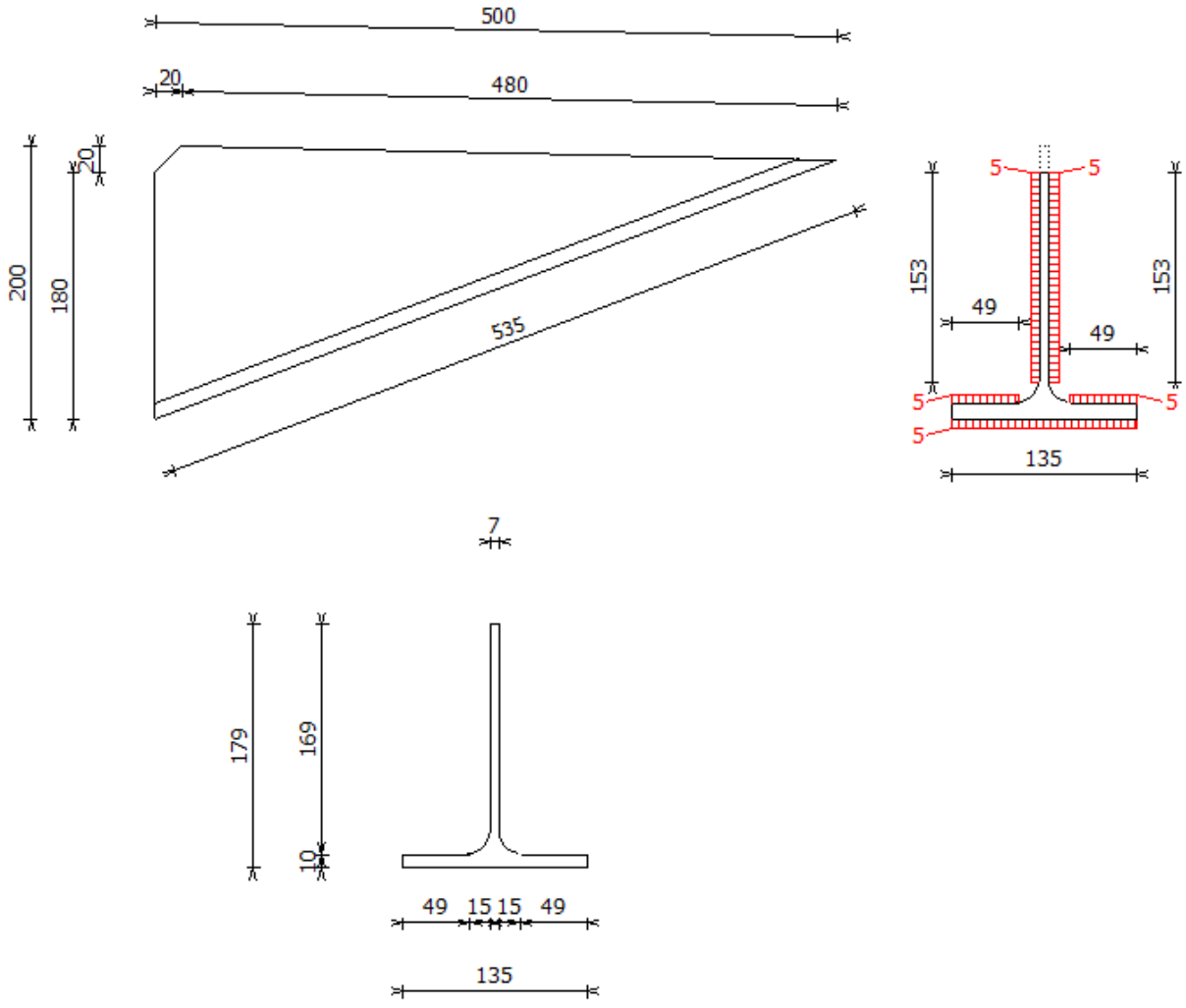
Lassen op flens : 5 mm

Lassen op lijf : 5 mm

Materiaal : Staal S235

voor lijf - fy : 235 N/mm² fu : 360 N/mm²

voor flens - fy : 235 N/mm² fu : 360 N/mm²



Rechterverbinding

Balk : IPE (EU) - IPE 550

Hoek : -1,1 °

Verbindingshoek : 88,9 °

lengte : 9002 mm

breedte : 210 mm

hoogte : 550 mm

lijf : 11 mm

flens : 17 mm

r : 24 mm

Materiaal : Staal S235

voor lijf - fy : 235 N/mm² fu : 360 N/mm²

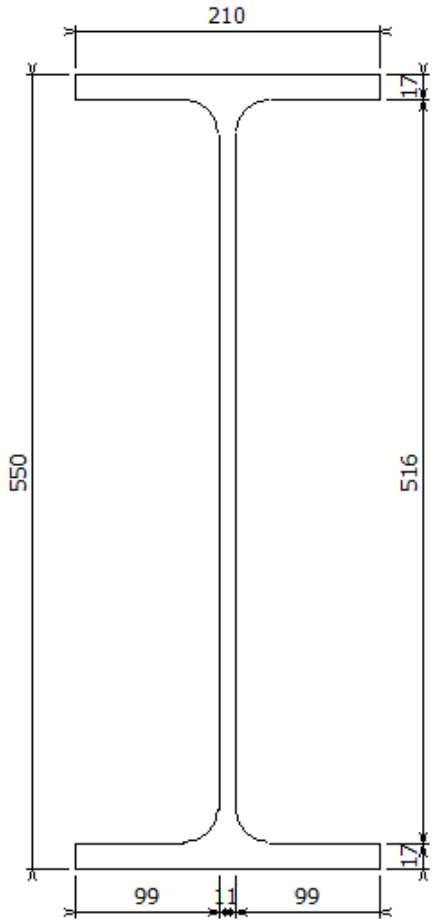
voor flens - fy : 235 N/mm² fu : 360 N/mm²

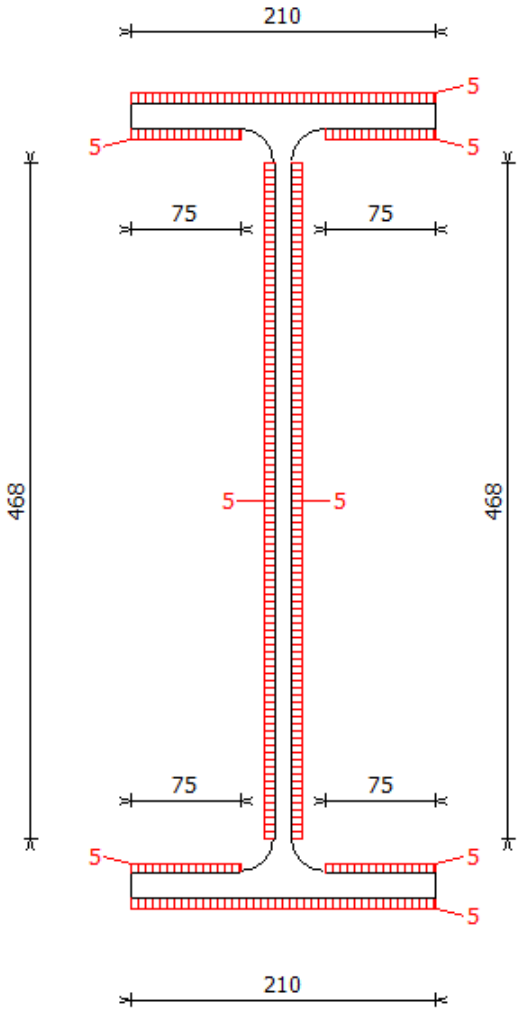
Lijflassen : 5 mm

Flenslassen : 5 mm

Excentriciteit : 0 mm

Opening : 0 mm


210
17
550
516
17
99
11
99


210
5
5
5
75
75
468
5
5
468
75
75
5
5
5
5
210

Eindplaat

Hoogte : 770 mm

Breedte : 210 mm

Dikte : 15 mm

Afstand boven de balk : 10 mm

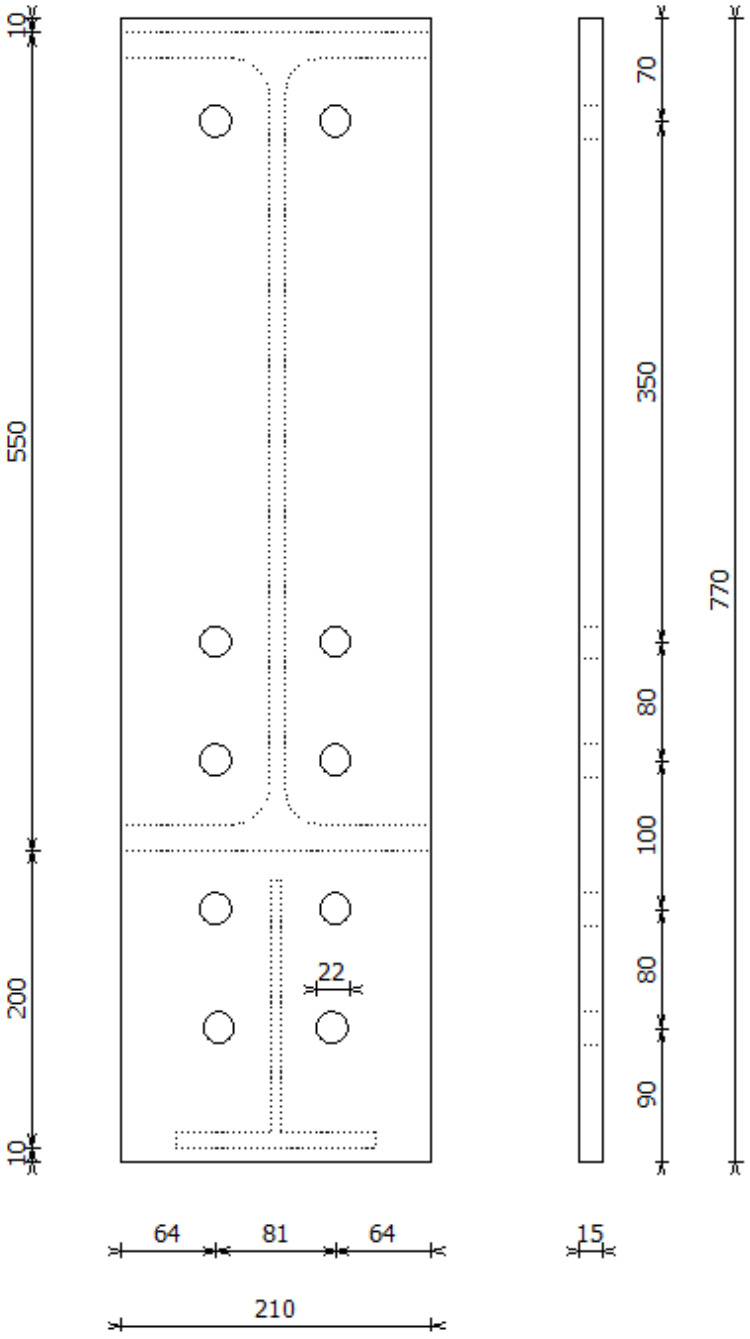
Afstand onder de balk : 10 mm

Materiaal : Staal S235 - fy : 235 N/mm² fu : 360 N/mm²

Bouten

Diameter van de openingen : 22 mm

Boutenklasse : M 20 klasse 8.8


10
550
200
10
22
64
81
64
210
15
70
350
80
100
80
90
770

Onder kniestuk : IPE (EU) - IPE 270

Profieleigenschappen :

Hoogte : 135 mm

Breedte : 270 mm

Lijfdikte : 7 mm

Flensdikte : 10 mm

Straal : 15 mm

Opening in de hoogte : 20 mm

Opening in de lengte : 20 mm

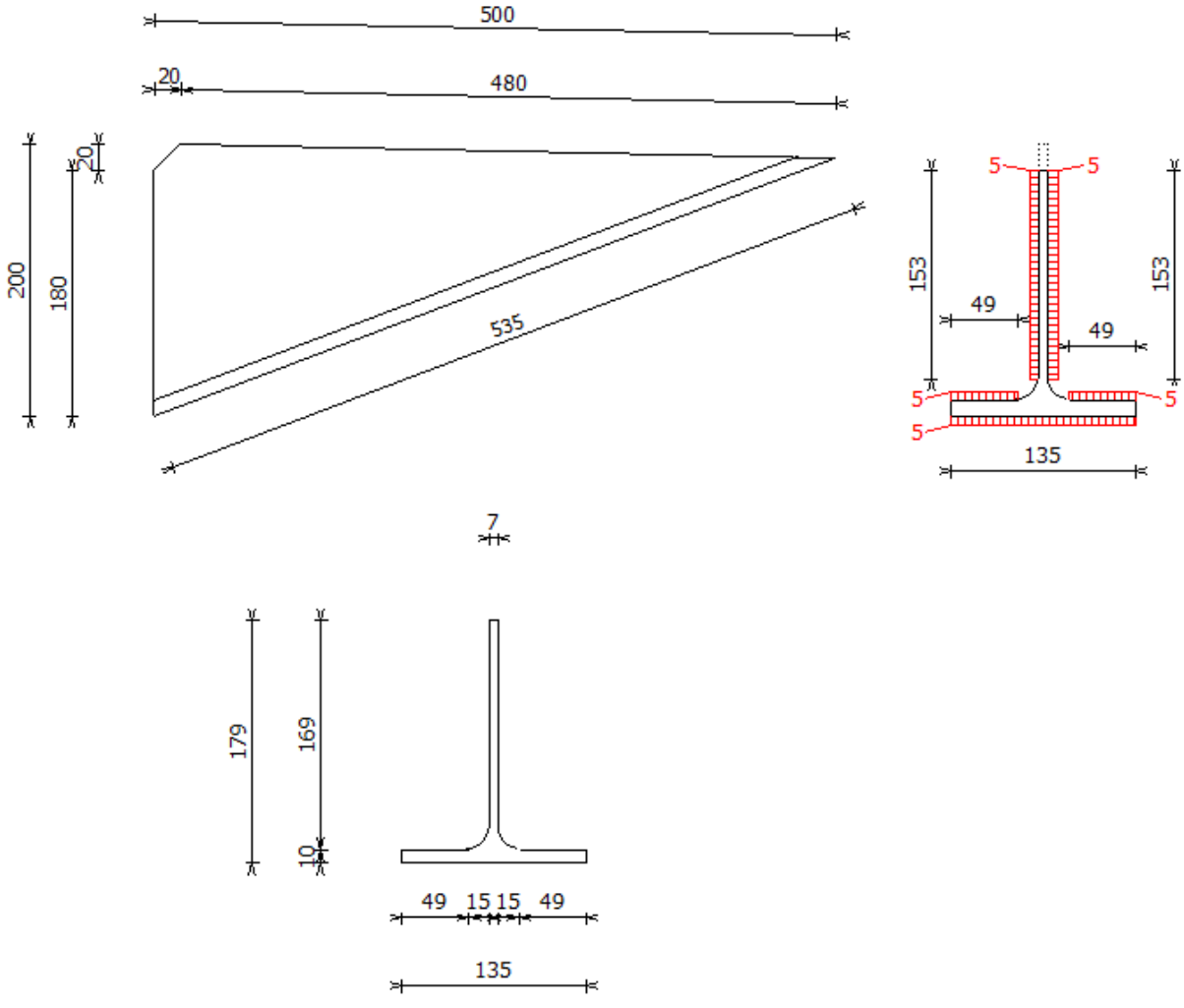
Lassen op flens : 5 mm

Lassen op lijf : 5 mm

Materiaal : Staal S235

voor lijf - fy : 235 N/mm² fu : 360 N/mm²

voor flens - fy : 235 N/mm² fu : 360 N/mm²



Gegevens materiaal

Staal S235

Dichtheid = 7850 kg/m³

Elasticiteitsmodulus E = 210000 N/mm²

Coëfficiënt van Poisson v = 0,3

Glijdingsmodulus G = 80769 N/mm²

Thermische dilatatiecoëfficiënt = 0,000012 /°C

Sterkte

dikte (mm)	0 - 40	40 - 150
vloeigrens fy (N/mm²)	235	215
breukgrens fu (N/mm²)	360	360

Veiligheidscoëfficiënt

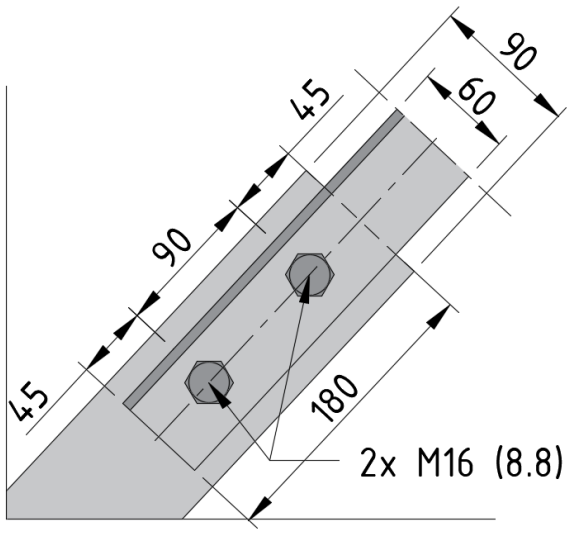
γ_{M0} = 1,00	γ_{M2} = 1,25	γ_{M4} = 1,00	γ_{M6} = 1,00
γ_{M1} = 1,00	γ_{M3} = 1,25	γ_{M5} = 1,00	γ_{M7} = 1,10

Bijlage T: Windliggers en windbokken

T.1 Sterktecontrole staaf 1, 2, 5 en 6 (windligger A)

T.1.1 Afschuiving bouten

Aangenomen wordt dat staven 1, 2, 5 en 6 worden uitgevoerd in een **L 60x60x6** met staalkwaliteit S235. Er zijn in totaal twee M16 bouten met elk één afschuifvlak met per schuifvlak een belasting $F_{v,Ed} = N_{Ed}/(2 \cdot 1) = 76{,}8/2 = 38{,}4\ kN$. Het afschuifvlak gaat door de draad. Voor een bout in klasse 8.8 geldt dan $\alpha_v = 0{,}6$. Bij een schuifvlak door de draag wordt de spanningsdoorsnede A_s gebruikt: $A = A_s = 157\ mm^2$. De boutverbinding zoals hier bedoelt is te zien in onderstaande figuur 80.



Figuur 80: Afmetingen boutverbinding staven 1, 2, 5 en 6 als onderdeel van windligger A.

Voor de afschuifweerstand van een bout per afschuifvlak geldt formule:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_v factor, afhankelijk van de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: α_v = 0,6 voor boutklasse 4.6, 5.6 en 8.8;
- α_v = 0,5 voor boutklasse 6.8 en 10.9;
- door de schacht: α_v = 0,6;

f_{ub} treksterkte van het boutmateriaal; [800 N/mm^2]

A oppervlakte van de boutdoorsnede, afhankelijk de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: $A = A_s$; [157 mm^2]
- door de schacht: $A = \pi d^2/4$;

A_s spanningsdoorsnede van de bout, gegeven in een tabellenboek, gedefinieerd als het (gewogen) gemiddelde tussen de volle schachtdoorsnede en de kerndoorsnede ter plaatse van de schroefdraad;

d nominale boutdiameter; [16 mm]

γ_{M2} partiële veiligheidsfactor voor de weerstand van bouten; [1,25]

Invullen geeft:

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6 \cdot 800 \cdot 157}{1{,}25} = 60{,}29\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed} = 38{,}4\ kN \leq F_{v,Rd} = 60{,}29\ kN$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel.

T.1.2 Stuik plaatmateriaal

Elke bout is een randbout, zodat k_1 de kleinste waarde is van:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1{,}7 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d+2} - 1{,}7$$

Waarin:

k_1 factor, afhankelijk van de randafstand en de steek in de richting loodrecht op de richting van de krachtoverdracht:
randbouten: k_1 = kleinste waarde van $2{,}8 \cdot e_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;
binnenste bouten: k_1 = kleinste waarde van $1{,}4 \cdot p_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;

e_2 randafstand; [30 mm]

d_0 gatdiameter, in het algemeen geldt: $d_0 = d + 2\ mm$; [18 mm]

d nominale boutdiameter; [16 mm]

Invullen geeft:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{30}{16+2} - 1{,}7 = 2{,}97 \text{ of } k_1 = 2{,}5 \text{ (maatgevend)}$$

Voor de eindbouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{45}{3 \cdot 18} = 0{,}83 \text{ (maatgevend)};\ \alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0$$

De stuikweerstand van elke eindbout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_b stuikfactor: kleinste waarde van α_d, f_{ub}/f_u of 1,0; [0,83]

α_d factor, afhankelijk van de eindafstand en de steek in de richting van de krachtoverdracht;

f_u treksterkte van het moedermateriaal; [360 N/mm^2]

d nominale boutdiameter; [16 mm]

t kleinste dikte van de te verbinden plaatdelen; [6 mm]

Invullen geeft:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}83 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 57{,}6\ kN$$

Voor de binnenste bouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{90}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 1{,}42;\ \alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0 \text{ (maatgevend)}$$

De stuikweerstand van elke binnenste bout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,binnenbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 69{,}12\ kN$$

Bij een groep verbindingsmiddelen is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan de som van de rekenwaarden van de stuikweerstanden van de individuele bouten, mits stuik maatgevend is voor elke individuele bout in de groep:

$$F_{v,Rd} \geq F_{b,Rd}$$

Wanneer niet wordt voldaan aan bovenstaande formule is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan het product van het aantal bouten en de kleinste rekenwaarde van de weerstand van de individuele bouten.

De afschuifweerstand per bout (met elk één schuifvlak) bedraagt $F_{v,Rd,bout} = F_{v,Rd} = 60{,}29\ kN$. Voor de eindbouten geldt $F_{v,Rd,bout} = 60{,}29\ kN \geq F_{b,Rd,eindbout} = 57{,}6\ kN$ en voor de binnenste bouten $F_{v,Rd,bout} = 60{,}29\ kN \leq F_{b,Rd,binnenbout} = 69{,}12\ kN$.

Voor de eindbouten geldt dat de stuikweerstand maatgevend is ten opzichte van de afschuifweerstand. Voor de binnenbouten geldt dat de afschuifweerstand maatgevend is ten opzicht van de stuikweerstand. Daarom mogen de stuikweerstand van één eindbout en de afschuifweerstand van één binnenbout worden opgeteld.

Voor de boutgroep geldt:

$$F_{b,Rd,groep} = F_{b,Rd,eindbout} + F_{v,Rd,bout} = 57{,}6 + 60{,}29 = 117{,}89\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed,groep} = 76{,}8\ kN \leq F_{b,Rd,groep} = 117{,}89\ \ kN$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel.

De excentriciteiten in knopen en de effecten van de steekmaten en randafstanden van de bouten behoren in rekening te zijn gebracht bij de bepaling van de rekenwaarde van de weerstand van:

› Niet-symmetrische elementen;
› Symmetrische elementen die niet-symmetrisch zijn aangesloten, zoals hoekprofielen die met één flens zijn aangesloten.

Een uitsluitend op trek belast hoekprofiel dat is aangesloten met één enkele rij bouten in één flens mag zijn beschouwd als centrisch belast over een effectieve nettodoorsnede. De rekenwaarde van de grensweerstand behoort dan met twee bouten als volgt te zijn bepaald:

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

β_2 reductiefactor afhankelijk van de steek p_1; [0,7]
A_{net} oppervlakte van de nettodoorsnede rekening houdend met de gataftrek;
f_u treksterkte; [360 N/mm^2]
γ_{M2} partiële factor voor de weerstand van de doorsnede in trek tot aan breuk; [1,25]

De berekening van de trekweerstand $N_{u,Rd}$ bij een bezwijkende nettodoorsnede ziet er als volgt uit. Voor de gataftrek van M16 bouten (gaten met een gatdiameter van 18 mm) voor het bepalen van de nettodoorsnede moet de grootste waarden worden aangehouden van niet-verspringende boutgaten: $t \cdot d_0 = 6 \cdot 18 = 108\ mm^2$. Op de eerste breuklijn ligt één M16 bout, dus de gataftrek is gelijk aan 1 maal $t \cdot d_0$.

$$A_{net} = A - gataftrek = A - t \cdot d_0 = 691 - 108 = 583\ mm^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}7 \cdot 583 \cdot 360}{1{,}25} = 117{,}53\ kN$$

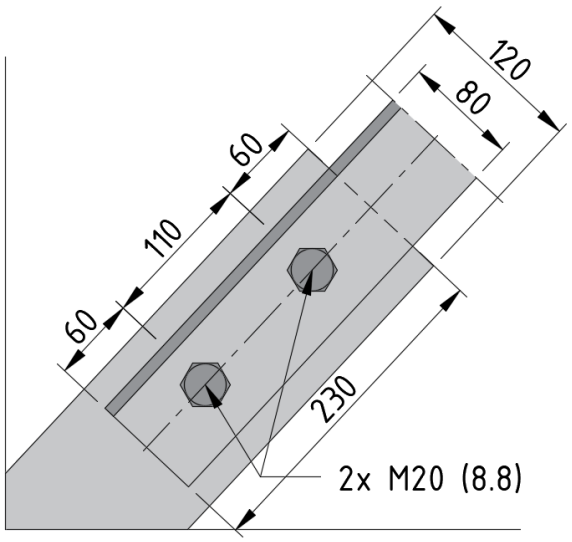
$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{76{,}8}{117{,}53} = 0{,}65 \leq 1{,}0$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel. Er wordt niet gekozen voor een kleiner profiel, omdat een L 60x60x6 hoekstaal het kleinste profiel is dat bewerkbaar is met de zaagbank in de werkplaats van IBS Staalbouw. Voor de eenvoud van de productie wordt gekozen voor dit hoekstaal.

T.2 Sterktecontrole staaf 3, 4, 7 en 8 (windligger A)

T.2.1 Afschuiving bouten

Aangenomen wordt dat staven 3, 4, 7 en 8 worden uitgevoerd in een **L 80x80x8** met staalkwaliteit S235. Er zijn in totaal twee M20 bouten met elk één afschuifvlak met per schuifvlak een belasting $F_{v,Ed} = N_{Ed}/(2 \cdot 1) = 179{,}2/3 = 59{,}73\ kN$. Het afschuifvlak gaat door de draad. Voor een bout in klasse 8.8 geldt dan $\alpha_v = 0{,}6$. Bij een schuifvlak door de draag wordt de spanningsdoorsnede A_s gebruikt: $A = A_s = 245\ mm^2$. De boutverbinding zoals hier bedoelt is te zien in onderstaande figuur 81.



Figuur 81: Afmetingen boutverbinding staven 3, 4, 7 en 8 als onderdeel van windligger A.

Voor de afschuifweerstand van een bout per afschuifvlak geldt formule:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_v factor, afhankelijk van de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: α_v = 0,6 voor boutklasse 4.6, 5.6 en 8.8;
- α_v = 0,5 voor boutklasse 6.8 en 10.9;
- door de schacht: α_v = 0,6;

f_{ub} treksterkte van het boutmateriaal; [800 N/mm^2]

A oppervlakte van de boutdoorsnede, afhankelijk de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: $A = A_s$; [245 mm^2]
- door de schacht: $A = \pi d^2/4$;

A_s spanningsdoorsnede van de bout, gegeven in een tabellenboek, gedefinieerd als het (gewogen) gemiddelde tussen de volle schachtdoorsnede en de kerndoorsnede ter plaatse van de schroefdraad;

d nominale boutdiameter; [20 mm]

γ_{M2} partiële veiligheidsfactor voor de weerstand van bouten; [1,25]

Invullen geeft:

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6 \cdot 800 \cdot 245}{1{,}25} = 94{,}08\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed} = 59{,}73\ kN \leq F_{v,Rd} = 94{,}08\ kN$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel.

T.2.2 Stuik plaatmateriaal

Elke bout is een randbout, zodat k_1 de kleinste waarde is van:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1{,}7 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d+2} - 1{,}7$$

Waarin:

k_1 factor, afhankelijk van de randafstand en de steek in de richting loodrecht op de richting van de krachtoverdracht:
randbouten: k_1 = kleinste waarde van $2{,}8 \cdot e_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;
binnenste bouten: k_1 = kleinste waarde van $1{,}4 \cdot p_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;

e_2 randafstand; [40 mm]

d_0 gatdiameter, in het algemeen geldt: $d_0 = d + 2\ mm$; [22 mm]

d nominale boutdiameter; [20 mm]

Invullen geeft:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{40}{20+2} - 1{,}7 = 3{,}39 \text{ of } k_1 = 2{,}5 \text{ (maatgevend)}$$

Voor de eindbouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{60}{3 \cdot 22} = 0{,}91 \text{ (maatgevend)};\ \alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0$$

De stuikweerstand van elke eindbout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_b stuikfactor: kleinste waarde van α_d, f_{ub}/f_u of 1,0; [0,91]

α_d factor, afhankelijk van de eindafstand en de steek in de richting van de krachtoverdracht;

f_u treksterkte van het moedermateriaal; [360 N/mm^2]

d nominale boutdiameter; [20 mm]

t kleinste dikte van de te verbinden plaatdelen; [8 mm]

Invullen geeft:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}91 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 104{,}73\ kN$$

Voor de binnenste bouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{110}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 1{,}42;\ \alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0 \text{ (maatgevend)}$$

De stuikweerstand van elke binnenste bout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,binnenbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 115{,}2\ kN$$

Bij een groep verbindingsmiddelen is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan de som van de rekenwaarden van de stuikweerstanden van de individuele bouten, mits stuik maatgevend is voor elke individuele bout in de groep:

$$F_{v,Rd} \geq F_{b,Rd}$$

Wanneer niet wordt voldaan aan bovenstaande formule is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan het product van het aantal bouten en de kleinste rekenwaarde van de weerstand van de individuele bouten.

De afschuifweerstand per bout (met elk één schuifvlak) bedraagt $F_{v,Rd,bout} = F_{v,Rd} = 94{,}08\ kN$. Voor de eindbouten geldt $F_{v,Rd,bout} = 94{,}08\ kN \leq F_{b,Rd,eindbout} = 104{,}73\ kN$ en voor de binnenste bouten $F_{v,Rd,bout} = 94{,}08\ kN \leq F_{b,Rd,binnenbout} = 115{,}2\ kN$.

Voor alle bouten geldt dat de afschuifweerstand maatgevend is ten opzichte van de stuikweerstand. Daarom mogen de afschuifweerstanden van één eindbout en van twee binnenbouten worden opgeteld.

Voor de boutgroep geldt:

$$F_{b,Rd,groep} = F_{v,Rd,bout} + F_{v,Rd,bout} + F_{v,Rd,bout} = 94{,}08 + 94{,}08 + 94{,}08 = 282{,}24\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed,groep} = 179{,}2\ kN \leq F_{b,Rd,groep} = 282{,}24\ kN$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel.

De excentriciteiten in knopen en de effecten van de steekmaten en randafstanden van de bouten behoren in rekening te zijn gebracht bij de bepaling van de rekenwaarde van de weerstand van:

- Niet-symmetrische elementen;
- Symmetrische elementen die niet-symmetrisch zijn aangesloten, zoals hoekprofielen die met één flens zijn aangesloten.

Een uitsluitend op trek belast hoekprofiel dat is aangesloten met één enkele rij bouten in één flens mag zijn beschouwd als centrisch belast over een effectieve nettodoorsnede. De rekenwaarde van de grensweerstand behoort dan met twee bouten als volgt te zijn bepaald:

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

β_2 reductiefactor afhankelijk van de steek p_1; [0,7]

A_{net} oppervlakte van de nettodoorsnede rekening houdend met de gataftrek;

f_u treksterkte; [360 N/mm^2]

γ_{M2} partiële factor voor de weerstand van de doorsnede in trek tot aan breuk; [1,25]

De berekening van de trekweerstand $N_{u,Rd}$ bij een bezwijkende nettodoorsnede ziet er als volgt uit. Voor de gataftrek van M20 bouten (gaten met een gatdiameter van 22 mm) voor het bepalen van de nettodoorsnede moet de grootste waarden worden aangehouden van niet-verspringende boutgaten: $t \cdot d_0 = 8 \cdot 22 = 176\ mm^2$. Op de eerste breuklijn ligt één M20 bout, dus de gataftrek is gelijk aan 1 maal $t \cdot d_0$.

$$A_{net} = A - gataftrek = A - t \cdot d_0 = 1230 - 176 = 1054\ mm^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}7 \cdot 1054 \cdot 360}{1{,}25} = 212{,}49\ kN$$

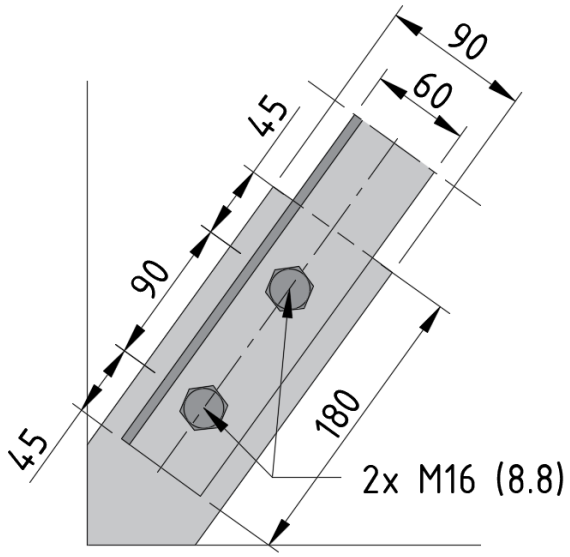
$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{179{,}2}{212{,}49} = 0{,}84 \leq 1{,}0$$

Er wordt voldaan aan de toetsingsregel.

T.3 Sterktecontrole staaf 1, 2, 5 en 6 (windligger B)

T.3.1 Afschuiving bouten

Aangenomen wordt dat staven 1, 2, 5 en 6 worden uitgevoerd in een **L 60x60x6** met staalkwaliteit S235. Er zijn in totaal twee M16 bouten met elk één afschuifvlak met per schuifvlak een belasting $F_{v,Ed} = N_{Ed}/(2 \cdot 1) = 89{,}7/2 = 44{,}85\ kN$. Het afschuifvlak gaat door de draad. Voor een bout in klasse 8.8 geldt dan $\alpha_v = 0{,}6$. Bij een schuifvlak door de draag wordt de spanningsdoorsnede A_s gebruikt: $A = A_s = 157\ mm^2$. De boutverbinding zoals hier bedoelt is te zien in onderstaande figuur 82.



Figuur 82: Afmetingen boutverbinding staven 1, 2, 5 en 6 als onderdeel van windligger B.

Voor de afschuifweerstand van een bout per afschuifvlak geldt formule:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_v factor, afhankelijk van de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: α_v = 0,6 voor boutklasse 4.6, 5.6 en 8.8;
  α_v = 0,5 voor boutklasse 6.8 en 10.9;
- door de schacht: α_v = 0,6;

f_{ub} treksterkte van het boutmateriaal; [800 N/mm^2]

A oppervlakte van de boutdoorsnede, afhankelijk de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: $A = A_s$; [157 mm^2]
- door de schacht: $A = \pi d^2/4$;

A_s spanningsdoorsnede van de bout, gegeven in een tabellenboek, gedefinieerd als het (gewogen) gemiddelde tussen de volle schachtdoorsnede en de kerndoorsnede ter plaatse van de schroefdraad;

d nominale boutdiameter; [16 mm]

γ_{M2} partiële veiligheidsfactor voor de weerstand van bouten; [1,25]

Invullen geeft:

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6 \cdot 800 \cdot 157}{1{,}25} = 60{,}29\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed} = 44{,}85\ kN \leq F_{v,Rd} = 60{,}29\ kN$$

Er wordt voldaan aan de toetsingsregel.

T.3.2 Stuik plaatmateriaal

Elke bout is een randbout, zodat k_1 de kleinste waarde is van:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1{,}7 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d + 2} - 1{,}7$$

Waarin:

k_1 factor, afhankelijk van de randafstand en de steek in de richting loodrecht op de richting van de krachtoverdracht:
randbouten: k_1 = kleinste waarde van $2{,}8 \cdot e_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;
binnenste bouten: k_1 = kleinste waarde van $1{,}4 \cdot p_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;

e_2 randafstand; [30 mm]

d_0 gatdiameter, in het algemeen geldt: $d_0 = d + 2\ mm$; [18 mm]

d nominale boutdiameter; [16 mm]

Invullen geeft:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{30}{16+2} - 1{,}7 = 2{,}97 \text{ of } k_1 = 2{,}5 \text{ (maatgevend)}$$

Voor de eindbouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{45}{3 \cdot 18} = 0{,}83 \text{ (maatgevend)};\ \alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0$$

De stuikweerstand van elke eindbout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_b stuikfactor: kleinste waarde van α_d, f_{ub}/f_u of 1,0; [0,83]

α_d factor, afhankelijk van de eindafstand en de steek in de richting van de krachtoverdracht;

f_u treksterkte van het moedermateriaal; [360 N/mm^2]

d nominale boutdiameter; [16 mm]

t kleinste dikte van de te verbinden plaatdelen; [6 mm]

Invullen geeft:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}83 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 57{,}6\ kN$$

Voor de binnenste bouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{90}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 1{,}42;\ \alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0 \text{ (maatgevend)}$$

De stuikweerstand van elke binnenste bout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,binnenbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 69{,}12\ kN$$

Bij een groep verbindingsmiddelen is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan de som van de rekenwaarden van de stuikweerstanden van de individuele bouten, mits stuik maatgevend is voor elke individuele bout in de groep:

$$F_{v,Rd} \geq F_{b,Rd}$$

Wanneer niet wordt voldaan aan bovenstaande formule is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan het product van het aantal bouten en de kleinste rekenwaarde van de weerstand van de individuele bouten.

De afschuifweerstand per bout (met elk één schuifvlak) bedraagt $F_{v,Rd,bout} = F_{v,Rd} = 60{,}29\ kN$. Voor de eindbouten geldt $F_{v,Rd,bout} = 60{,}29\ kN \geq F_{b,Rd,eindbout} = 57{,}6\ kN$ en voor de binnenste bouten $F_{v,Rd,bout} = 60{,}29\ kN \geq F_{b,Rd,binnenbout} = 59{,}52\ kN$.

Voor de eindbouten geldt dat de stuikweerstand maatgevend is ten opzichte van de afschuifweerstand. Voor de binnenbouten geldt dat de afschuifweerstand maatgevend is ten opzicht van de stuikweerstand. Daarom mogen de stuikweerstand van één eindbout en de afschuifweerstand van één binnenbout worden opgeteld.

Voor de boutgroep geldt:

$$F_{b,Rd,groep} = F_{b,Rd,eindbout} + F_{v,Rd,bout} = 57{,}6 + 60{,}29 = 117{,}89\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed,groep} = 89{,}7\ kN \leq F_{b,Rd,groep} = 117{,}89\ \ kN$$

Er wordt voldaan aan de toetsingsregel.

De excentriciteiten in knopen en de effecten van de steekmaten en randafstanden van de bouten behoren in rekening te zijn gebracht bij de bepaling van de rekenwaarde van de weerstand van:

› Niet-symmetrische elementen;
› Symmetrische elementen die niet-symmetrisch zijn aangesloten, zoals hoekprofielen die met één flens zijn aangesloten.

Een uitsluitend op trek belast hoekprofiel dat is aangesloten met één enkele rij bouten in één flens mag zijn beschouwd als centrisch belast over een effectieve nettodoorsnede. De rekenwaarde van de grensweerstand behoort dan met twee bouten als volgt te zijn bepaald:

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

β_2 reductiefactor afhankelijk van de steek p_1; [0,7]
A_{net} oppervlakte van de nettodoorsnede rekening houdend met de gataftrek;
f_u treksterkte; [360 N/mm^2]
γ_{M2} partiële factor voor de weerstand van de doorsnede in trek tot aan breuk; [1,25]

De berekening van de trekweerstand $N_{u,Rd}$ bij een bezwijkende nettodoorsnede ziet er als volgt uit. Voor de gataftrek van M16 bouten (gaten met een gatdiameter van 18 mm) voor het bepalen van de nettodoorsnede moet de grootste waarden worden aangehouden van niet-verspringende boutgaten: $t \cdot d_0 = 6 \cdot 18 = 108\ mm^2$. Op de eerste breuklijn ligt één M16 bout, dus de gataftrek is gelijk aan 1 maal $t \cdot d_0$.

$$A_{net} = A - gataftrek = A - t \cdot d_0 = 691 - 108 = 583\ mm^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}7 \cdot 583 \cdot 360}{1{,}25} = 117{,}53\ kN$$

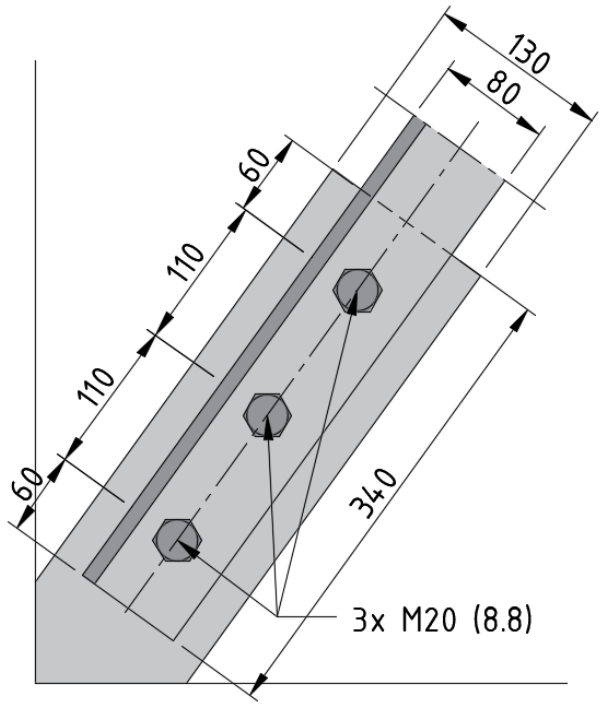
$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{89{,}7}{117{,}53} = 0{,}76 \leq 1{,}0$$

Er wordt voldaan aan de toetsingsregel. Er wordt niet gekozen voor een kleiner profiel, omdat een L 60x60x6 hoekstaal het kleinste profiel is dat bewerkbaar is met de zaagbank in de werkplaats van IBS Staalbouw. Voor de eenvoud van de productie wordt gekozen voor dit hoekstaal.

T.4 Sterktecontrole staaf 3, 4, 7 en 8 (windligger B)

T.4.1 Afschuiving bouten

Aangenomen wordt dat staven 3, 4, 7 en 8 worden uitgevoerd in een **L 80x80x10** met staalkwaliteit S235. Er zijn in totaal drie M20 bouten met elk één afschuifvlak met per schuifvlak een belasting $F_{v,Ed} = N_{Ed}/(3 \cdot 1) = 209{,}2/3 = 69{,}73\ kN$. Het afschuifvlak gaat door de draad. Voor een bout in klasse 8.8 geldt dan $\alpha_v = 0{,}6$. Bij een schuifvlak door de draag wordt de spanningsdoorsnede A_s gebruikt: $A = A_s = 245\ mm^2$. De boutverbinding zoals hier bedoelt is te zien in onderstaande figuur 83.



Figuur 83: Afmetingen boutverbinding staven 3, 4, 7 en 8 als onderdeel van windligger B.

Voor de afschuifweerstand van een bout per afschuifvlak geldt formule:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_v factor, afhankelijk van de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: α_v = 0,6 voor boutklasse 4.6, 5.6 en 8.8;
- α_v = 0,5 voor boutklasse 6.8 en 10.9;
- door de schacht: α_v = 0,6;

f_{ub} treksterkte van het boutmateriaal; [800 N/mm^2]

A oppervlakte van de boutdoorsnede, afhankelijk de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: $A = A_s$; [245 mm^2]
- door de schacht: $A = \pi d^2/4$;

A_s spanningsdoorsnede van de bout, gegeven in een tabellenboek, gedefinieerd als het (gewogen) gemiddelde tussen de volle schachtdoorsnede en de kerndoorsnede ter plaatse van de schroefdraad;

d nominale boutdiameter; [20 mm]

γ_{M2} partiële veiligheidsfactor voor de weerstand van bouten; [1,25]

Invullen geeft:

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6 \cdot 800 \cdot 245}{1{,}25} = 94{,}08\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed} = 69{,}73\ kN \leq F_{v,Rd} = 94{,}08\ kN$$

Er wordt voldaan aan de toetsingsregel.

T.4.2 Stuik plaatmateriaal

Elke bout is een randbout, zodat k_1 de kleinste waarde is van:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1{,}7 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d+2} - 1{,}7$$

Waarin:

k_1 factor, afhankelijk van de randafstand en de steek in de richting loodrecht op de richting van de krachtoverdracht:
randbouten: k_1 = kleinste waarde van $2{,}8 \cdot e_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;
binnenste bouten: k_1 = kleinste waarde van $1{,}4 \cdot p_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;

e_2 randafstand; [40 mm]

d_0 gatdiameter, in het algemeen geldt: $d_0 = d + 2\ mm$; [22 mm]

d nominale boutdiameter; [20 mm]

Invullen geeft:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{40}{20+2} - 1{,}7 = 3{,}39 \text{ of } k_1 = 2{,}5 \text{ (maatgevend)}$$

Voor de eindbouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{60}{3 \cdot 22} = 0{,}91 \text{ (maatgevend)};\ \alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0$$

De stuikweerstand van elke eindbout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_b stuikfactor: kleinste waarde van α_d, f_{ub}/f_u of 1,0; [0,91]

α_d factor, afhankelijk van de eindafstand en de steek in de richting van de krachtoverdracht;

f_u treksterkte van het moedermateriaal; [360 N/mm^2]

d nominale boutdiameter; [20 mm]

t kleinste dikte van de te verbinden plaatdelen; [10 mm]

Invullen geeft:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}91 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 130{,}91\ kN$$

Voor de binnenste bouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{110}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 1{,}42;\ \alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0 \text{ (maatgevend)}$$

De stuikweerstand van elke binnenste bout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,binnenbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 144{,}0\ kN$$

Bij een groep verbindingsmiddelen is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan de som van de rekenwaarden van de stuikweerstanden van de individuele bouten, mits stuik maatgevend is voor elke individuele bout in de groep:

$$F_{v,Rd} \geq F_{b,Rd}$$

Wanneer niet wordt voldaan aan bovenstaande formule is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan het product van het aantal bouten en de kleinste rekenwaarde van de weerstand van de individuele bouten.

De afschuifweerstand per bout (met elk één schuifvlak) bedraagt $F_{v,Rd,bout} = F_{v,Rd} = 94{,}08\ kN$. Voor de eindbout geldt $F_{v,Rd,bout} = 94{,}08\ kN \leq F_{b,Rd,eindbout} = 130{,}91\ kN$ en voor de binnenste bouten $F_{v,Rd,bout} = 94{,}08\ kN \leq F_{b,Rd,binnenbout} = 144{,}0\ kN$.

Voor alle bouten geldt dat de afschuifweerstand maatgevend is ten opzichte van de stuikweerstand. Daarom mogen de schuifweerstanden van één eindbout en van twee binnenbouten worden opgeteld.

Voor de boutgroep geldt:

$$F_{b,Rd,groep} = F_{v,Rd,bout} + F_{v,Rd,bout} + F_{v,Rd,bout} = 94{,}08 + 94{,}08 + 94{,}08 = 282{,}24\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed,groep} = 209{,}2\ kN \leq F_{b,Rd,groep} = 282{,}24\ \ kN$$

Er wordt voldaan aan de toetsingsregel.

De excentriciteiten in knopen en de effecten van de steekmaten en randafstanden van de bouten behoren in rekening te zijn gebracht bij de bepaling van de rekenwaarde van de weerstand van:

› Niet-symmetrische elementen;
› Symmetrische elementen die niet-symmetrisch zijn aangesloten, zoals hoekprofielen die met één flens zijn aangesloten.

Een uitsluitend op trek belast hoekprofiel dat is aangesloten met één enkele rij bouten in één flens mag zijn beschouwd als centrisch belast over een effectieve nettodoorsnede. De rekenwaarde van de grensweerstand behoort dan met twee bouten als volgt te zijn bepaald:

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_3 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

β_3 reductiefactor afhankelijk van de steek p_1; [0,7]
A_{net} oppervlakte van de nettodoorsnede rekening houdend met de gataftrek;
f_u treksterkte; [360 N/mm^2]
γ_{M2} partiële factor voor de weerstand van de doorsnede in trek tot aan breuk; [1,25]

De berekening van de trekweerstand $N_{u,Rd}$ bij een bezwijkende nettodoorsnede ziet er als volgt uit. Voor de gataftrek van M20 bouten (gaten met een gatdiameter van 22 mm) voor het bepalen van de nettodoorsnede moet de grootste waarden worden aangehouden van niet-verspringende boutgaten: $t \cdot d_0 = 10 \cdot 22 = 220\ mm^2$. Op de eerste breuklijn ligt één M20 bout, dus de gataftrek is gelijk aan 1 maal $t \cdot d_0$.

$$A_{net} = A - gataftrek = A - t \cdot d_0 = 1510 - 220 = 1290\ mm^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}7 \cdot 1290 \cdot 360}{1{,}25} = 260{,}06\ kN$$

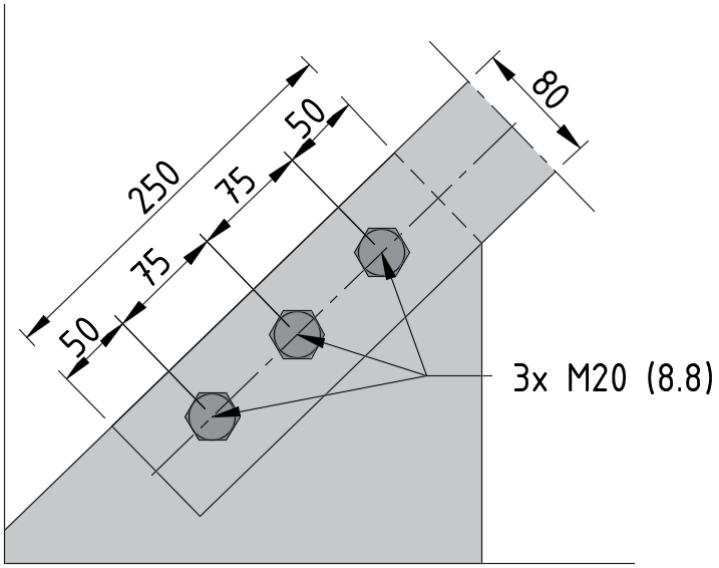
$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{209{,}2}{260{,}06} = 0{,}80 \leq 1{,}0$$

Er wordt voldaan aan de toetsingsregel.

T.5 Sterktecontrole diagonaalstaven (windbokken A)

T.5.1 Afschuiving bouten

Aangenomen wordt dat de diagonalen van windbokken A worden uitgevoerd in een **strip 80x15 mm** met staalkwaliteit S235. Er zijn in totaal drie M20 bouten met elk één afschuifvlak met per schuifvlak een belasting $F_{v,Ed} = N_{Ed}/(3 \cdot 1) = 202{,}1/3 = 67{,}37\ kN$. Het afschuifvlak gaat door de draad. Voor een bout in klasse 8.8 geldt dan $\alpha_v = 0{,}6$. Bij een schuifvlak door de draag wordt de spanningsdoorsnede A_s gebruikt: $A = A_s = 245\ mm^2$. De boutverbinding zoals hier bedoelt is te zien in onderstaande figuur 84.



Figuur 84: Afmetingen boutverbinding diagonaalstaven als onderdeel van windbokken A. De tekening is gemaakt in AutoCAD 2022.

Voor de afschuifweerstand van een bout per afschuifvlak geldt formule:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_v factor, afhankelijk van de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: α_v = 0,6 voor boutklasse 4.6, 5.6 en 8.8;
- α_v = 0,5 voor boutklasse 6.8 en 10.9;
- door de schacht: α_v = 0,6;

f_{ub} treksterkte van het boutmateriaal; [800 N/mm^2]

A oppervlakte van de boutdoorsnede, afhankelijk de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: $A = A_s$; [245 mm^2]
- door de schacht: $A = \pi d^2/4$;

A_s spanningsdoorsnede van de bout, gegeven in een tabellenboek, gedefinieerd als het (gewogen) gemiddelde tussen de volle schachtdoorsnede en de kerndoorsnede ter plaatse van de schroefdraad;

d nominale boutdiameter; [20 mm]

γ_{M2} partiële veiligheidsfactor voor de weerstand van bouten; [1,25]

Invullen geeft:

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6 \cdot 800 \cdot 245}{1{,}25} = 94{,}08\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed} = 67{,}37\ kN \leq F_{v,Rd} = 94{,}08\ kN$$

Er wordt voldaan aan de toetsingsregel.

T.5.2 Stuik plaatmateriaal

Elke bout is een randbout, zodat k_1 de kleinste waarde is van:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1{,}7 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d+2} - 1{,}7$$

Waarin:

k_1 factor, afhankelijk van de randafstand en de steek in de richting loodrecht op de richting van de krachtoverdracht:
randbouten: k_1 = kleinste waarde van $2{,}8 \cdot e_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;
binnenste bouten: k_1 = kleinste waarde van $1{,}4 \cdot p_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;

e_2 randafstand; [40 mm]

d_0 gatdiameter, in het algemeen geldt: $d_0 = d + 2\ mm$; [22 mm]

d nominale boutdiameter; [20 mm]

Invullen geeft:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{40}{20+2} - 1{,}7 = 3{,}39 \text{ of } k_1 = 2{,}5 \text{ (maatgevend)}$$

Voor de eindbouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{40}{3 \cdot 22} = 0{,}61 \text{ (maatgevend)};\ \alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0$$

De stuikweerstand van elke eindbout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_b stuikfactor: kleinste waarde van α_d, f_{ub}/f_u of 1,0; [0,61]

α_d factor, afhankelijk van de eindafstand en de steek in de richting van de krachtoverdracht;

f_u treksterkte van het moedermateriaal; [360 N/mm^2]

d nominale boutdiameter; [20 mm]

t kleinste dikte van de te verbinden plaatdelen; [10 mm]

Invullen geeft:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}61 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 87{,}27\ kN$$

Voor de binnenste bouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{80}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 0{,}96$ (maatgevend); $\alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40$ of $\alpha_b = 1{,}0$

De stuikweerstand van elke binnenste bout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,binnenbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}96 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 138{,}55\ kN$$

Bij een groep verbindingsmiddelen is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan de som van de rekenwaarden van de stuikweerstanden van de individuele bouten, mits stuik maatgevend is voor elke individuele bout in de groep:

$$F_{v,Rd} \geq F_{b,Rd}$$

Wanneer niet wordt voldaan aan bovenstaande formule is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan het product van het aantal bouten en de kleinste rekenwaarde van de weerstand van de individuele bouten.

De afschuifweerstand per bout (met elk één schuifvlak) bedraagt $F_{v,Rd,bout} = F_{v,Rd} = 94{,}08\ kN$. Voor de eindbout geldt $F_{v,Rd,bout} = 94{,}08\ kN \geq F_{b,Rd,eindbout} = 87{,}27\ kN$ en voor de binnenste bouten $F_{v,Rd,bout} = 94{,}08\ kN \leq F_{b,Rd,binnenbout} = 138{,}55\ kN$.

Voor de eindbouten geldt dat de stuikweerstand maatgevend is ten opzichte van de afschuifweerstand. Voor de binnenbouten geldt dat de afschuifweerstand maatgevend is ten opzicht van de stuikweerstand. Daarom mogen de stuikweerstand van één eindbout en de afschuifweerstand van twee binnenbouten worden opgeteld.

Voor de boutgroep geldt:

$$F_{b,Rd,groep} = F_{b,Rd,eindbout} + F_{v,Rd,bout} + F_{v,Rd,bout} = 87{,}27 + 94{,}08 + 94{,}08 = 275{,}43\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed,groep} = 202{,}1\ kN \leq F_{b,Rd,groep} = 275{,}43\ kN$$

Er wordt voldaan aan de toetsingsregel.

De rekenwaarde van de trekweerstand $N_{u,Rd}$ bij vloeien van de nettodoorsnede is:

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

A_{net} oppervlakte van de nettodoorsnede rekening houdend met de gataftrek;

f_u treksterkte; [360 N/mm^2]

γ_{M2} partiële factor voor de weerstand van de doorsnede in trek tot aan breuk; [1,25]

De berekening van de trekweerstand $N_{u,Rd}$ bij een bezwijkende nettodoorsnede ziet er als volgt uit. Voor de gataftrek van M20 bouten (gaten met een gatdiameter van 22 mm) voor het bepalen van de nettodoorsnede moet de grootste waarden worden aangehouden van niet-verspringende boutgaten: $t \cdot d_0 = 15 \cdot 22 = 330\ mm^2$. Op de eerste breuklijn ligt één M20 bout, dus de gataftrek is gelijk aan 1 maal $t \cdot d_0$.

$$A_{net} = A - gataftrek = A - t \cdot d_0 = 1500 - 330 = 1170\ mm^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot 1170 \cdot 360}{1{,}25} = 303{,}26\ kN$$

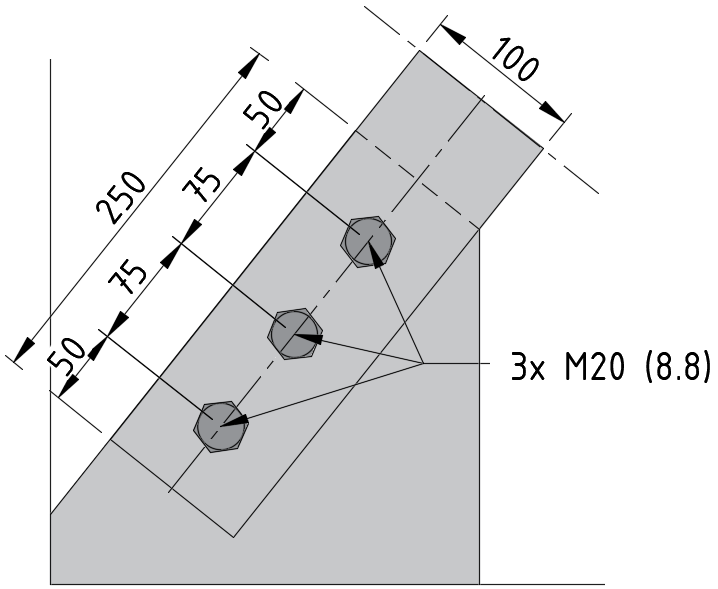
$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{202{,}1}{303{,}26} = 0{,}67 \leq 1{,}0$$

Er wordt voldaan aan de toetsingsregel.

T.6 Sterktecontrole diagonaalstaven (windbokken B)

T.6.1 Afschuiving bouten

Aangenomen wordt dat de diagonalen van windbokken B worden uitgevoerd in een **strip 100x15 mm** met staalkwaliteit S235. Er zijn in totaal drie M20 bouten met elk één afschuifvlak met per schuifvlak een belasting $F_{v,Ed} = N_{Ed}/(3 \cdot 1) = 227{,}4/3 = 75{,}8\ kN$. Het afschuifvlak gaat door de draad. Voor een bout in klasse 8.8 geldt dan $\alpha_v = 0{,}6$. Bij een schuifvlak door de draag wordt de spanningsdoorsnede A_s gebruikt: $A = A_s = 245\ mm^2$. De boutverbinding zoals hier bedoelt is te zien in onderstaande figuur 85.



Figuur 85: Afmetingen boutverbinding diagonaalstaven als onderdeel van windbokken B. De tekening is gemaakt met AutoCAD 2022.

Voor de afschuifweerstand van een bout per afschuifvlak geldt formule:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_v factor, afhankelijk van de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: α_v = 0,6 voor boutklasse 4.6, 5.6 en 8.8;
- α_v = 0,5 voor boutklasse 6.8 en 10.9;
- door de schacht: α_v = 0,6;

f_{ub} treksterkte van het boutmateriaal; [800 N/mm^2]

A oppervlakte van de boutdoorsnede, afhankelijk de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: $A = A_s$; [245 mm^2]
- door de schacht: $A = \pi d^2/4$;

A_s spanningsdoorsnede van de bout, gegeven in een tabellenboek, gedefinieerd als het (gewogen) gemiddelde tussen de volle schachtdoorsnede en de kerndoorsnede ter plaatse van de schroefdraad;

d nominale boutdiameter; [20 mm]

γ_{M2} partiële veiligheidsfactor voor de weerstand van bouten; [1,25]

Invullen geeft:

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6 \cdot 800 \cdot 245}{1{,}25} = 94{,}08\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed} = 75{,}8\ kN \leq F_{v,Rd} = 94{,}08\ kN$$

Er wordt voldaan aan de toetsingsregel.

T.6.2 Stuik plaatmateriaal

Elke bout is een randbout, zodat k_1 de kleinste waarde is van:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1{,}7 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d+2} - 1{,}7$$

Waarin:

k_1 factor, afhankelijk van de randafstand en de steek in de richting loodrecht op de richting van de krachtoverdracht:
randbouten: k_1 = kleinste waarde van $2{,}8 \cdot e_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;
binnenste bouten: k_1 = kleinste waarde van $1{,}4 \cdot p_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;

e_2 randafstand; [50 mm]

d_0 gatdiameter, in het algemeen geldt: $d_0 = d + 2\ mm$; [22 mm]

d nominale boutdiameter; [20 mm]

Invullen geeft:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{50}{20+2} - 1{,}7 = 4{,}66 \text{ of } k_1 = 2{,}5 \text{ (maatgevend)}$$

Voor de eindbouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{50}{3 \cdot 22} = 0{,}76 \text{ (maatgevend)};\ \alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0$$

De stuikweerstand van elke eindbout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_b stuikfactor: kleinste waarde van α_d, f_{ub}/f_u of 1,0; [0,76]

α_d factor, afhankelijk van de eindafstand en de steek in de richting van de krachtoverdracht;
f_u treksterkte van het moedermateriaal; [360 N/mm^2]
d nominale boutdiameter; [20 mm]
t kleinste dikte van de te verbinden plaatdelen; [10 mm]

Invullen geeft:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}76 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 109{,}09\ kN$$

Voor de binnenste bouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{75}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 0{,}89$ (maatgevend); $\alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40$ of $\alpha_b = 1{,}0$

De stuikweerstand van elke binnenste bout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,binnenbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}89 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 127{,}64\ kN$$

Bij een groep verbindingsmiddelen is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan de som van de rekenwaarden van de stuikweerstanden van de individuele bouten, mits stuik maatgevend is voor elke individuele bout in de groep:

$$F_{v,Rd} \geq F_{b,Rd}$$

Wanneer niet wordt voldaan aan bovenstaande formule is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan het product van het aantal bouten en de kleinste rekenwaarde van de weerstand van de individuele bouten.

De afschuifweerstand per bout (met elk één schuifvlak) bedraagt $F_{v,Rd,bout} = F_{v,Rd} = 94{,}08\ kN$. Voor de eindbout geldt $F_{v,Rd,bout} = 94{,}08\ kN \leq F_{b,Rd,eindbout} = 109{,}09\ kN$ en voor de binnenste bouten $F_{v,Rd,bout} = 94{,}08\ kN \leq F_{b,Rd,binnenbout} = 127{,}64\ kN$.

Voor alle bouten geldt dat de afschuifweerstand maatgevend is ten opzichte van de stuikweerstand. Daarom mogen de schuifweerstanden van één eindbout en van twee binnenbouten worden opgeteld.

Voor de boutgroep geldt:

$$F_{b,Rd,groep} = F_{v,Rd,bout} + F_{v,Rd,bout} + F_{v,Rd,bout} = 94{,}08 + 94{,}08 + 94{,}08 = 282{,}24\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed,groep} = 227{,}4\ kN \leq F_{b,Rd,groep} = 282{,}24\ kN$$

Er wordt voldaan aan de toetsingsregel.

De rekenwaarde van de trekweerstand $N_{u,Rd}$ bij vloeien van de nettodoorsnede is:

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

A_{net} oppervlakte van de nettodoorsnede rekening houdend met de gataftrek;

f_u treksterkte; [360 N/mm^2]

γ_{M2} partiële factor voor de weerstand van de doorsnede in trek tot aan breuk; [1,25]

De berekening van de trekweerstand $N_{u,Rd}$ bij een bezwijkende nettodoorsnede ziet er als volgt uit. Voor de gataftrek van M20 bouten (gaten met een gatdiameter van 22 mm) voor het bepalen van de nettodoorsnede moet de grootste waarden worden aangehouden van niet-verspringende boutgaten: $t \cdot d_0 = 15 \cdot 22 = 330\ mm^2$. Op de eerste breuklijn ligt één M20 bout, dus de gataftrek is gelijk aan 1 maal $t \cdot d_0$.

$$A_{net} = A - gataftrek = A - t \cdot d_0 = 1500 - 330 = 1170\ mm^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot 1170 \cdot 360}{1{,}25} = 303{,}26\ kN$$

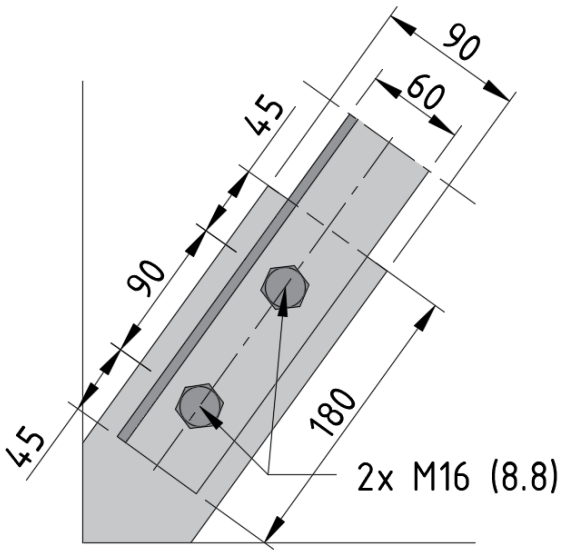
$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{227{,}4}{303{,}26} = 0{,}75 \leq 1{,}0$$

Er wordt voldaan aan de toetsingsregel.

T.7 Sterktecontrole staaf 1, 2, 4 en 5 (windligger C en D)

T.7.1 Afschuiving bouten

Aangenomen wordt dat staven 1, 2, 4 en 5 worden uitgevoerd in een **L 60x60x6** met staalkwaliteit S235. Er zijn in totaal twee M16 bouten met elk één afschuifvlak met per schuifvlak een belasting $F_{v,Ed} = N_{Ed}/(2 \cdot 1) = 70{,}8/2 = 35{,}4\ kN$. Het afschuifvlak gaat door de draad. Voor een bout in klasse 8.8 geldt dan $\alpha_v = 0{,}6$. Bij een schuifvlak door de draag wordt de spanningsdoorsnede A_s gebruikt: $A = A_s = 157\ mm^2$. De boutverbinding zoals hier bedoelt is te zien in onderstaande figuur 86.



Figuur 86: Afmetingen boutverbinding staven 1, 2, 4 en 5 als onderdeel van windligger C/D.

Voor de afschuifweerstand van een bout per afschuifvlak geldt formule:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_v factor, afhankelijk van de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: α_v = 0,6 voor boutklasse 4.6, 5.6 en 8.8;
  α_v = 0,5 voor boutklasse 6.8 en 10.9;
- door de schacht: α_v = 0,6;

f_{ub} treksterkte van het boutmateriaal; [800 N/mm^2]

A oppervlakte van de boutdoorsnede, afhankelijk de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: $A = A_s$; [157 mm^2]
- door de schacht: $A = \pi d^2/4$;

A_s spanningsdoorsnede van de bout, gegeven in een tabellenboek, gedefinieerd als het (gewogen) gemiddelde tussen de volle schachtdoorsnede en de kerndoorsnede ter plaatse van de schroefdraad;

d nominale boutdiameter; [16 mm]

γ_{M2} partiële veiligheidsfactor voor de weerstand van bouten; [1,25]

Invullen geeft:

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6 \cdot 800 \cdot 157}{1{,}25} = 60{,}29\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed} = 35{,}4\ kN \leq F_{v,Rd} = 60{,}29\ kN$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel.

T.7.2 Stuik plaatmateriaal

Elke bout is een randbout, zodat k_1 de kleinste waarde is van:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1{,}7 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d+2} - 1{,}7$$

Waarin:

k_1 factor, afhankelijk van de randafstand en de steek in de richting loodrecht op de richting van de krachtoverdracht:
- randbouten: k_1 = kleinste waarde van $2{,}8 \cdot e_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;
- binnenste bouten: k_1 = kleinste waarde van $1{,}4 \cdot p_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;

e_2 randafstand; [30 mm]

d_0 gatdiameter, in het algemeen geldt: $d_0 = d + 2\ mm$; [18 mm]

d nominale boutdiameter; [16 mm]

Invullen geeft:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{30}{16+2} - 1{,}7 = 2{,}97 \text{ of } k_1 = 2{,}5 \text{ (maatgevend)}$$

Voor de eindbouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{45}{3 \cdot 18} = 0{,}83 \text{ (maatgevend)};\ \alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0$$

De stuikweerstand van elke eindbout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_b stuikfactor: kleinste waarde van α_d, f_{ub}/f_u of 1,0; [0,83]

α_d factor, afhankelijk van de eindafstand en de steek in de richting van de krachtoverdracht;

f_u treksterkte van het moedermateriaal; [360 N/mm^2]

d nominale boutdiameter; [16 mm]

t kleinste dikte van de te verbinden plaatdelen; [6 mm]

Invullen geeft:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}83 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 57{,}6\ kN$$

Voor de binnenste bouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{90}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 1{,}42;\ \alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0 \text{ (maatgevend)}$$

De stuikweerstand van elke binnenste bout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,binnenbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 69{,}12\ kN$$

Bij een groep verbindingsmiddelen is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan de som van de rekenwaarden van de stuikweerstanden van de individuele bouten, mits stuik maatgevend is voor elke individuele bout in de groep:

$$F_{v,Rd} \geq F_{b,Rd}$$

Wanneer niet wordt voldaan aan bovenstaande formule is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan het product van het aantal bouten en de kleinste rekenwaarde van de weerstand van de individuele bouten.

De afschuifweerstand per bout (met elk één schuifvlak) bedraagt $F_{v,Rd,bout} = F_{v,Rd} = 60{,}29\ kN$. Voor de eindbouten geldt $F_{v,Rd,bout} = 60{,}29\ kN \geq F_{b,Rd,eindbout} = 57{,}6\ kN$ en voor de binnenste bouten $F_{v,Rd,bout} = 60{,}29\ kN \leq F_{b,Rd,binnenbout} = 69{,}12\ kN$.

Voor de eindbouten geldt dat de stuikweerstand maatgevend is ten opzichte van de afschuifweerstand. Voor de binnenbouten geldt dat de afschuifweerstand maatgevend is ten opzicht van de stuikweerstand. Daarom mogen de stuikweerstand van één eindbout en de afschuifweerstand van één binnenbout worden opgeteld.

Voor de boutgroep geldt:

$$F_{b,Rd,groep} = F_{b,Rd,eindbout} + F_{v,Rd,bout} = 57{,}6 + 60{,}29 = 117{,}89\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed,groep} = 70{,}8\ kN \leq F_{b,Rd,groep} = 117{,}89\ kN$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel.

De excentriciteiten in knopen en de effecten van de steekmaten en randafstanden van de bouten behoren in rekening te zijn gebracht bij de bepaling van de rekenwaarde van de weerstand van:

› Niet-symmetrische elementen;
› Symmetrische elementen die niet-symmetrisch zijn aangesloten, zoals hoekprofielen die met één flens zijn aangesloten.

Een uitsluitend op trek belast hoekprofiel dat is aangesloten met één enkele rij bouten in één flens mag zijn beschouwd als centrisch belast over een effectieve nettodoorsnede. De rekenwaarde van de grensweerstand behoort dan met twee bouten als volgt te zijn bepaald:

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

β_2 reductiefactor afhankelijk van de steek p_1; [0,7]
A_{net} oppervlakte van de nettodoorsnede rekening houdend met de gataftrek;
f_u treksterkte; [360 N/mm^2]
γ_{M2} partiële factor voor de weerstand van de doorsnede in trek tot aan breuk; [1,25]

De berekening van de trekweerstand $N_{u,Rd}$ bij een bezwijkende nettodoorsnede ziet er als volgt uit. Voor de gataftrek van M16 bouten (gaten met een gatdiameter van 18 mm) voor het bepalen van de nettodoorsnede moet de grootste waarden worden aangehouden van niet-verspringende boutgaten: $t \cdot d_0 = 6 \cdot 18 = 108\ mm^2$. Op de eerste breuklijn ligt één M16 bout, dus de gataftrek is gelijk aan 1 maal $t \cdot d_0$.

$$A_{net} = A - gataftrek = A - t \cdot d_0 = 691 - 108 = 583\ mm^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}7 \cdot 583 \cdot 360}{1{,}25} = 117{,}53\ kN$$

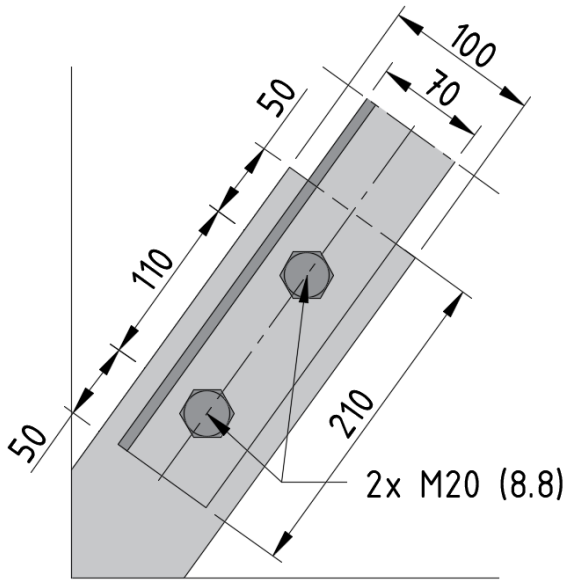
$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{70{,}8}{117{,}53} = 0{,}60 \leq 1{,}0$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel. Er wordt niet gekozen voor een kleiner profiel, omdat een L 60x60x6 hoekstaal het kleinste profiel is dat bewerkbaar is met de zaagbank in de werkplaats van IBS Staalbouw. Voor de eenvoud van de productie wordt gekozen voor dit hoekstaal.

T.8 Sterktecontrole staaf 3 en 6 (windligger C en D)

T.8.1 Afschuiving bouten

Aangenomen wordt dat staven 3 en 6 worden uitgevoerd in een **L 70x70x7** met staalkwaliteit S235. Er zijn in totaal twee M20 bouten met elk één afschuifvlak met per schuifvlak een belasting $F_{v,Ed} = N_{Ed}/(2 \cdot 1) = 115{,}4/2 = 57{,}7\ kN$. Het afschuifvlak gaat door de draad. Voor een bout in klasse 8.8 geldt dan $\alpha_v = 0{,}6$. Bij een schuifvlak door de draag wordt de spanningsdoorsnede A_s gebruikt: $A = A_s = 245\ mm^2$. De boutverbinding zoals hier bedoelt is te zien in onderstaande figuur 87.



Figuur 87: Afmetingen boutverbinding staven 3 en 6 als onderdeel van windligger C/D.

Voor de afschuifweerstand van een bout per afschuifvlak geldt formule:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_v factor, afhankelijk van de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: α_v = 0,6 voor boutklasse 4.6, 5.6 en 8.8;
- α_v = 0,5 voor boutklasse 6.8 en 10.9;
- door de schacht: α_v = 0,6;

f_{ub} treksterkte van het boutmateriaal; [800 N/mm^2]

A oppervlakte van de boutdoorsnede, afhankelijk de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: $A = A_s$; [245 mm^2]
- door de schacht: $A = \pi d^2/4$;

A_s spanningsdoorsnede van de bout, gegeven in een tabellenboek, gedefinieerd als het (gewogen) gemiddelde tussen de volle schachtdoorsnede en de kerndoorsnede ter plaatse van de schroefdraad;

d nominale boutdiameter; [20 mm]

γ_{M2} partiële veiligheidsfactor voor de weerstand van bouten; [1,25]

Invullen geeft:

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6 \cdot 800 \cdot 245}{1{,}25} = 94{,}08\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed} = 57{,}7\ kN \leq F_{v,Rd} = 94{,}08\ kN$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel.

T.8.2 Stuik plaatmateriaal

Elke bout is een randbout, zodat k_1 de kleinste waarde is van:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1{,}7 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d+2} - 1{,}7$$

Waarin:

k_1 factor, afhankelijk van de randafstand en de steek in de richting loodrecht op de richting van de krachtoverdracht:
randbouten: k_1 = kleinste waarde van $2{,}8 \cdot e_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;
binnenste bouten: k_1 = kleinste waarde van $1{,}4 \cdot p_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;

e_2 randafstand; [35 mm]

d_0 gatdiameter, in het algemeen geldt: $d_0 = d + 2\ mm$; [22 mm]

d nominale boutdiameter; [20 mm]

Invullen geeft:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{35}{20+2} - 1{,}7 = 2{,}75 \text{ of } k_1 = 2{,}5 \text{ (maatgevend)}$$

Voor de eindbouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{50}{3 \cdot 22} = 0{,}76 \text{ (maatgevend)};\ \alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0$$

De stuikweerstand van elke eindbout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_b stuikfactor: kleinste waarde van α_d, f_{ub}/f_u of 1,0; [0,76]

α_d factor, afhankelijk van de eindafstand en de steek in de richting van de krachtoverdracht;

f_u treksterkte van het moedermateriaal; [360 N/mm^2]

d nominale boutdiameter; [20 mm]

t kleinste dikte van de te verbinden plaatdelen; [7 mm]

Invullen geeft:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}76 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 7 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 76{,}36\ kN$$

Voor de binnenste bouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{110}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 1{,}42;\ \alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360} = 2{,}22 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0 \text{ (maatgevend)}$$

De stuikweerstand van elke binnenste bout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,binnenbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 7 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 100{,}8\ kN$$

Bij een groep verbindingsmiddelen is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan de som van de rekenwaarden van de stuikweerstanden van de individuele bouten, mits stuik maatgevend is voor elke individuele bout in de groep:

$$F_{v,Rd} \geq F_{b,Rd}$$

Wanneer niet wordt voldaan aan bovenstaande formule is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan het product van het aantal bouten en de kleinste rekenwaarde van de weerstand van de individuele bouten.

De afschuifweerstand per bout (met elk één schuifvlak) bedraagt $F_{v,Rd,bout} = F_{v,Rd} = 94{,}08\ kN$. Voor de eindbouten geldt $F_{v,Rd,bout} = 94{,}08\ kN \geq F_{b,Rd,eindbout} = 76{,}36\ kN$ en voor de binnenste bouten $F_{v,Rd,bout} = 94{,}08\ kN \leq F_{b,Rd,binnenbout} = 100{,}8\ kN$.

Voor de eindbouten geldt dat de stuikweerstand maatgevend is ten opzichte van de afschuifweerstand. Voor de binnenbouten geldt dat de afschuifweerstand maatgevend is ten opzicht van de stuikweerstand. Daarom mogen de stuikweerstand van één eindbout en de afschuifweerstand van één binnenbout worden opgeteld.

Voor de boutgroep geldt:

$$F_{b,Rd,groep} = F_{b,Rd,eindbout} + F_{v,Rd,bout} = 76{,}36 + 94{,}08 = 170{,}44\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed,groep} = 115{,}4\ kN \leq F_{b,Rd,groep} = 170{,}44\ kN$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel.

De excentriciteiten in knopen en de effecten van de steekmaten en randafstanden van de bouten behoren in rekening te zijn gebracht bij de bepaling van de rekenwaarde van de weerstand van:

› Niet-symmetrische elementen;
› Symmetrische elementen die niet-symmetrisch zijn aangesloten, zoals hoekprofielen die met één flens zijn aangesloten.

Een uitsluitend op trek belast hoekprofiel dat is aangesloten met één enkele rij bouten in één flens mag zijn beschouwd als centrisch belast over een effectieve nettodoorsnede. De rekenwaarde van de grensweerstand behoort dan met twee bouten als volgt te zijn bepaald:

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

β_2 reductiefactor afhankelijk van de steek p_1; [0,7]
A_{net} oppervlakte van de nettodoorsnede rekening houdend met de gataftrek;
f_u treksterkte; [360 N/mm^2]
γ_{M2} partiële factor voor de weerstand van de doorsnede in trek tot aan breuk; [1,25]

De berekening van de trekweerstand $N_{u,Rd}$ bij een bezwijkende nettodoorsnede ziet er als volgt uit. Voor de gataftrek van M20 bouten (gaten met een gatdiameter van 22 mm) voor het bepalen van de nettodoorsnede moet de grootste waarden worden aangehouden van niet-verspringende boutgaten: $t \cdot d_0 = 7 \cdot 22 = 154\ mm^2$. Op de eerste breuklijn ligt één M20 bout, dus de gataftrek is gelijk aan 1 maal $t \cdot d_0$.

$$A_{net} = A - t \cdot d_0 = 940 - 154 = 786\ mm^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}7 \cdot 786 \cdot 360}{1{,}25} = 158{,}46\ kN$$

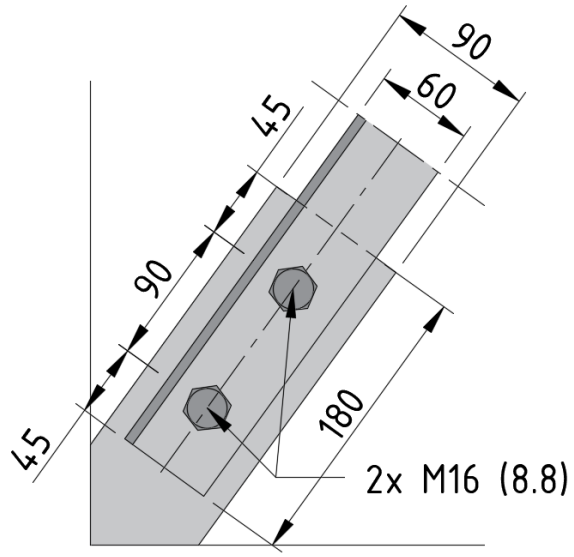
$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{115{,}4}{158{,}46} = 0{,}73 \leq 1{,}0$$

Er wordt voldaan aan de toetsingsregel.

T.9 Sterktecontrole staaf 7, 8, 9 en 10 (windligger C en D)

T.9.1 Afschuiving bouten

Aangenomen wordt dat staven 7, 8, 9 en 10 worden uitgevoerd in een **L 60x60x6** met staalkwaliteit S235. Er zijn in totaal twee M16 bouten met elk één afschuifvlak met per schuifvlak een belasting $F_{v,Ed} = N_{Ed}/(2 \cdot 1) = 53{,}4/2 = 26{,}7\ kN$. Het afschuifvlak gaat door de draad. Voor een bout in klasse 8.8 geldt dan $\alpha_v = 0{,}6$. Bij een schuifvlak door de draag wordt de spanningsdoorsnede A_s gebruikt: $A = A_s = 157\ mm^2$. De boutverbinding zoals hier bedoelt is te zien in onderstaande figuur 88.



Figuur 88: Afmetingen boutverbinding staven 7, 8, 9 en 10 als onderdeel van windligger C/D.

Voor de afschuifweerstand van een bout per afschuifvlak geldt formule:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_v factor, afhankelijk van de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: α_v = 0,6 voor boutklasse 4.6, 5.6 en 8.8;
  α_v = 0,5 voor boutklasse 6.8 en 10.9;
- door de schacht: α_v = 0,6;

f_{ub} treksterkte van het boutmateriaal; [800 N/mm^2]

A oppervlakte van de boutdoorsnede, afhankelijk de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: $A = A_s$; [157 mm^2]
- door de schacht: $A = \pi d^2/4$;

A_s spanningsdoorsnede van de bout, gegeven in een tabellenboek, gedefinieerd als het (gewogen) gemiddelde tussen de volle schachtdoorsnede en de kerndoorsnede ter plaatse van de schroefdraad;

d nominale boutdiameter; [16 mm]

γ_{M2} partiële veiligheidsfactor voor de weerstand van bouten; [1,25]

Invullen geeft:

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6 \cdot 800 \cdot 157}{1{,}25} = 60{,}29\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed} = 26{,}7\ kN \leq F_{v,Rd} = 60{,}29\ kN$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel.

T.9.2 Stuik plaatmateriaal

Elke bout is een randbout, zodat k_1 de kleinste waarde is van:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1{,}7 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d+2} - 1{,}7$$

Waarin:

k_1 factor, afhankelijk van de randafstand en de steek in de richting loodrecht op de richting van de krachtoverdracht:
- randbouten: k_1 = kleinste waarde van $2{,}8 \cdot e_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;
- binnenste bouten: k_1 = kleinste waarde van $1{,}4 \cdot p_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;

e_2 randafstand; [30 mm]

d_0 gatdiameter, in het algemeen geldt: $d_0 = d + 2\ mm$; [18 mm]

d nominale boutdiameter; [16 mm]

Invullen geeft:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{30}{16+2} - 1{,}7 = 2{,}97 \text{ of } k_1 = 2{,}5 \text{ (maatgevend)}$$

Voor de eindbouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{45}{3 \cdot 18} = 0{,}83 \text{ (maatgevend)};\ \alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0$$

De stuikweerstand van elke eindbout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_b stuikfactor: kleinste waarde van α_d, f_{ub}/f_u of 1,0; [0,83]

α_d factor, afhankelijk van de eindafstand en de steek in de richting van de krachtoverdracht;

f_u treksterkte van het moedermateriaal; [360 N/mm^2]

d nominale boutdiameter; [16 mm]

t kleinste dikte van de te verbinden plaatdelen; [6 mm]

Invullen geeft:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}83 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 57{,}6\ kN$$

Voor de binnenste bouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{90}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 1{,}42;\ \alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0 \text{ (maatgevend)}$$

De stuikweerstand van elke binnenste bout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,binnenbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 6 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 69{,}12\ kN$$

Bij een groep verbindingsmiddelen is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan de som van de rekenwaarden van de stuikweerstanden van de individuele bouten, mits stuik maatgevend is voor elke individuele bout in de groep:

$$F_{v,Rd} \geq F_{b,Rd}$$

Wanneer niet wordt voldaan aan bovenstaande formule is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan het product van het aantal bouten en de kleinste rekenwaarde van de weerstand van de individuele bouten.

De afschuifweerstand per bout (met elk één schuifvlak) bedraagt $F_{v,Rd,bout} = F_{v,Rd} = 60{,}29\ kN$. Voor de eindbouten geldt $F_{v,Rd,bout} = 60{,}29\ kN \geq F_{b,Rd,eindbout} = 57{,}6\ kN$ en voor de binnenste bouten $F_{v,Rd,bout} = 60{,}29\ kN \leq F_{b,Rd,binnenbout} = 69{,}12\ kN$.

Voor de eindbouten geldt dat de stuikweerstand maatgevend is ten opzichte van de afschuifweerstand. Voor de binnenbouten geldt dat de afschuifweerstand maatgevend is ten opzicht van de stuikweerstand. Daarom mogen de stuikweerstand van één eindbout en de afschuifweerstand van één binnenbout worden opgeteld.

Voor de boutgroep geldt:

$$F_{b,Rd,groep} = F_{b,Rd,eindbout} + F_{v,Rd,bout} = 57{,}6 + 60{,}29 = 117{,}89\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed,groep} = 53{,}4\ kN \leq F_{b,Rd,groep} = 117{,}89\ \ kN$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel.

De excentriciteiten in knopen en de effecten van de steekmaten en randafstanden van de bouten behoren in rekening te zijn gebracht bij de bepaling van de rekenwaarde van de weerstand van:

› Niet-symmetrische elementen;
› Symmetrische elementen die niet-symmetrisch zijn aangesloten, zoals hoekprofielen die met één flens zijn aangesloten.

Een uitsluitend op trek belast hoekprofiel dat is aangesloten met één enkele rij bouten in één flens mag zijn beschouwd als centrisch belast over een effectieve nettodoorsnede. De rekenwaarde van de grensweerstand behoort dan met twee bouten als volgt te zijn bepaald:

$$N_{u,Rd} = \frac{\beta_2 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

β_2 reductiefactor afhankelijk van de steek p_1; [0,7]
A_{net} oppervlakte van de nettodoorsnede rekening houdend met de gataftrek;
f_u treksterkte; [360 N/mm^2]
γ_{M2} partiële factor voor de weerstand van de doorsnede in trek tot aan breuk; [1,25]

De berekening van de trekweerstand $N_{u,Rd}$ bij een bezwijkende nettodoorsnede ziet er als volgt uit. Voor de gataftrek van M16 bouten (gaten met een gatdiameter van 18 mm) voor het bepalen van de nettodoorsnede moet de grootste waarden worden aangehouden van niet-verspringende boutgaten: $t \cdot d_0 = 6 \cdot 18 = 108\ mm^2$. Op de eerste breuklijn ligt één M16 bout, dus de gataftrek is gelijk aan 1 maal $t \cdot d_0$.

$$A_{net} = A - gataftrek = A - t \cdot d_0 = 691 - 108 = 583\ mm^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}7 \cdot 583 \cdot 360}{1{,}25} = 117{,}53\ kN$$

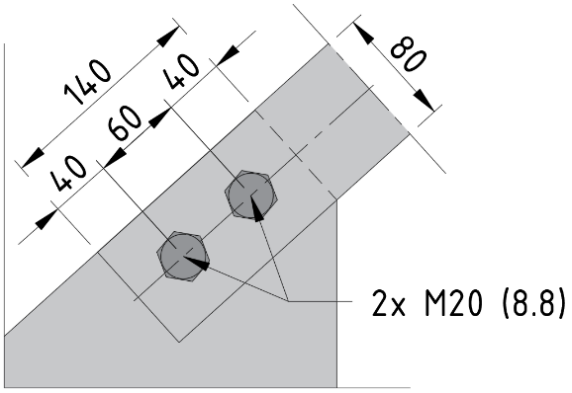
$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{53{,}4}{117{,}53} = 0{,}45 \leq 1{,}0$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel. Er wordt niet gekozen voor een kleiner profiel, omdat een L 60x60x6 hoekstaal het kleinste profiel is dat bewerkbaar is met de zaagbank in de werkplaats van IBS Staalbouw. Voor de eenvoud van de productie wordt gekozen voor dit hoekstaal.

T.10 Sterktecontrole diagonaalstaven (windbokken C)

T.10.1 Afschuiving bouten

Aangenomen wordt dat de diagonalen van windbokken C worden uitgevoerd in een **strip 80x10 mm** met staalkwaliteit S235. Er zijn in totaal twee M20 bouten met elk één afschuifvlak met per schuifvlak een belasting $F_{v,Ed} = N_{Ed}/(2 \cdot 1) = 128{,}0/2 = 64{,}0\ kN$. Het afschuifvlak gaat door de draad. Voor een bout in klasse 8.8 geldt dan $\alpha_v = 0{,}6$. Bij een schuifvlak door de draag wordt de spanningsdoorsnede A_s gebruikt: $A = A_s = 245\ mm^2$. De boutverbinding zoals hier bedoelt is te zien in onderstaande figuur 89.



Figuur 89: Afmetingen boutverbinding diagonaalstaven als onderdeel van windbokken C. De tekening is gemaakt met AutoCAD 2022.

Voor de afschuifweerstand van een bout per afschuifvlak geldt formule:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_v factor, afhankelijk van de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: α_v = 0,6 voor boutklasse 4.6, 5.6 en 8.8;
- α_v = 0,5 voor boutklasse 6.8 en 10.9;
- door de schacht: α_v = 0,6;

f_{ub} treksterkte van het boutmateriaal; [800 N/mm^2]

A oppervlakte van de boutdoorsnede, afhankelijk de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: $A = A_s$; [245 mm^2]
- door de schacht: $A = \pi d^2/4$;

A_s spanningsdoorsnede van de bout, gegeven in een tabellenboek, gedefinieerd als het (gewogen) gemiddelde tussen de volle schachtdoorsnede en de kerndoorsnede ter plaatse van de schroefdraad;

d nominale boutdiameter; [20 mm]

γ_{M2} partiële veiligheidsfactor voor de weerstand van bouten; [1,25]

Invullen geeft:

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6 \cdot 800 \cdot 245}{1{,}25} = 94{,}08\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed} = 64{,}0\ kN \leq F_{v,Rd} = 94{,}08\ kN$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel.

T.10.2 Stuik plaatmateriaal

Elke bout is een randbout, zodat k_1 de kleinste waarde is van:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1{,}7 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d+2} - 1{,}7$$

Waarin:

k_1 factor, afhankelijk van de randafstand en de steek in de richting loodrecht op de richting van de krachtoverdracht:
randbouten: k_1 = kleinste waarde van $2{,}8 \cdot e_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;
binnenste bouten: k_1 = kleinste waarde van $1{,}4 \cdot p_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;

e_2 randafstand; [40 mm]

d_0 gatdiameter, in het algemeen geldt: $d_0 = d + 2\ mm$; [18 mm]

d nominale boutdiameter; [20 mm]

Invullen geeft:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{40}{20+2} - 1{,}7 = 3{,}39 \text{ of } k_1 = 2{,}5 \text{ (maatgevend)}$$

Voor de eindbouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{40}{3 \cdot 22} = 0{,}61 \text{ (maatgevend)};\ \alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0$$

De stuikweerstand van elke eindbout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_b stuikfactor: kleinste waarde van α_d, f_{ub}/f_u of 1,0; [0,61]

α_d factor, afhankelijk van de eindafstand en de steek in de richting van de krachtoverdracht;

f_u treksterkte van het moedermateriaal; [360 N/mm^2]

d nominale boutdiameter; [16 mm]

t kleinste dikte van de te verbinden plaatdelen; [10 mm]

Invullen geeft:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}61 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 87{,}27\ kN$$

Voor de binnenste bouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{60}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 0{,}66$ (maatgevend); $\alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40$ of $\alpha_b = 1{,}0$

De stuikweerstand van elke binnenste bout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,binnenbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}66 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 94{,}91\ kN$$

Bij een groep verbindingsmiddelen is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan de som van de rekenwaarden van de stuikweerstanden van de individuele bouten, mits stuik maatgevend is voor elke individuele bout in de groep:

$$F_{v,Rd} \geq F_{b,Rd}$$

Wanneer niet wordt voldaan aan bovenstaande formule is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan het product van het aantal bouten en de kleinste rekenwaarde van de weerstand van de individuele bouten.

De afschuifweerstand per bout (met elk één schuifvlak) bedraagt $F_{v,Rd,bout} = F_{v,Rd} = 94{,}08\ kN$. Voor de eindbouten geldt $F_{v,Rd,bout} = 94{,}08\ kN \geq F_{b,Rd,eindbout} = 87{,}27\ kN$ en voor de binnenste bouten $F_{v,Rd,bout} = 94{,}08\ kN \leq F_{b,Rd,binnenbout} = 94{,}91\ kN$.

Voor de eindbouten geldt dat de stuikweerstand maatgevend is ten opzichte van de afschuifweerstand. Voor de binnenbouten geldt dat de afschuifweerstand maatgevend is ten opzicht van de stuikweerstand. Daarom mogen de stuikweerstand van één eindbout en de afschuifweerstand van één binnenbout worden opgeteld.

Voor de boutgroep geldt:

$$F_{b,Rd,groep} = F_{b,Rd,eindbout} + F_{v,Rd,bout} = 87{,}27 + 94{,}08 = 181{,}35\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed,groep} = 128{,}0\ kN \leq F_{b,Rd,groep} = 181{,}35\ kN$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel.

De rekenwaarde van de trekweerstand $N_{u,Rd}$ bij vloeien van de nettodoorsnede is:

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

A_{net} oppervlakte van de nettodoorsnede rekening houdend met de gataftrek;

f_u treksterkte; [360 N/mm^2]

γ_{M2} partiële factor voor de weerstand van de doorsnede in trek tot aan breuk; [1,25]

De berekening van de trekweerstand $N_{u,Rd}$ bij een bezwijkende nettodoorsnede ziet er als volgt uit. Voor de gataftrek van M16 bouten (gaten met een gatdiameter van 18 mm) voor het bepalen van de nettodoorsnede moet de grootste waarden worden aangehouden van niet-verspringende boutgaten: $t \cdot d_0 = 10 \cdot 22 = 220\ mm^2$. Op de eerste breuklijn ligt één M16 bout, dus de gataftrek is gelijk aan 1 maal $t \cdot d_0$.

$$A_{net} = A - t \cdot d_0 = 800 - 220 = 580\ mm^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot 580 \cdot 360}{1{,}25} = 150{,}34\ kN$$

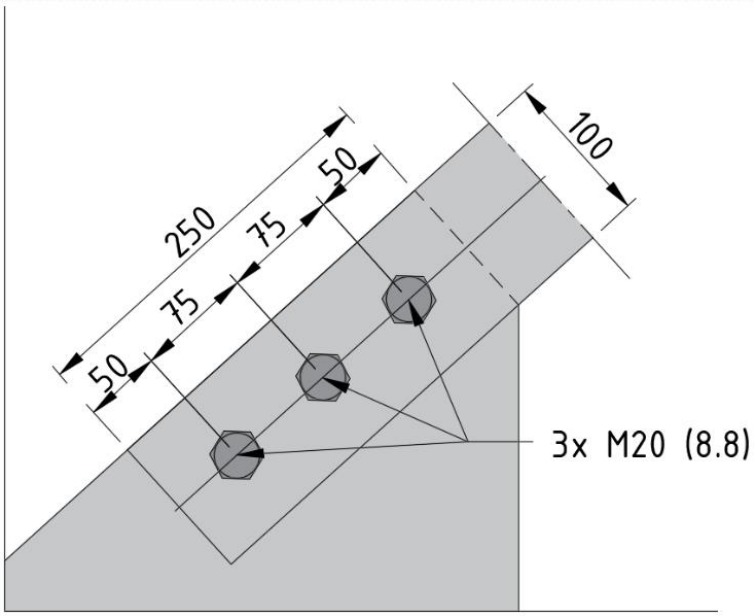
$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{128{,}0}{150{,}34} = 0{,}85 \leq 1{,}0$$

Er wordt voldaan aan de toetsingsregel.

T.11 Sterktecontrole diagonaalstaven (windbok D)

T.11.1 Afschuiving bouten

Aangenomen wordt dat de diagonalen van windbok D worden uitgevoerd in een **strip 100x15 mm** met staalkwaliteit S235. Er zijn in totaal drie M20 bouten met elk één afschuifvlak met per schuifvlak een belasting $F_{v,Ed} = N_{Ed}/(3 \cdot 1) = 217{,}7/3 = 72{,}6\ kN$. Het afschuifvlak gaat door de draad. Voor een bout in klasse 8.8 geldt dan $\alpha_v = 0{,}6$. Bij een schuifvlak door de draag wordt de spanningsdoorsnede A_s gebruikt: $A = A_s = 245\ mm^2$. De boutverbinding zoals hier bedoelt is te zien in onderstaande figuur 90.



Figuur 90: Afmetingen boutverbinding diagonaalstaven als onderdeel van windbok D. De tekening is gemaakt met AutoCAD 2022.

Voor de afschuifweerstand van een bout per afschuifvlak geldt formule:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_v factor, afhankelijk van de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: α_v = 0,6 voor boutklasse 4.6, 5.6 en 8.8;
- α_v = 0,5 voor boutklasse 6.8 en 10.9;
- door de schacht: α_v = 0,6;

f_{ub} treksterkte van het boutmateriaal; [800 N/mm^2]

A oppervlakte van de boutdoorsnede, afhankelijk de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: $A = A_s$; [245 mm^2]
- door de schacht: $A = \pi d^2/4$;

A_s spanningsdoorsnede van de bout, gegeven in een tabellenboek, gedefinieerd als het (gewogen) gemiddelde tussen de volle schachtdoorsnede en de kerndoorsnede ter plaatse van de schroefdraad;

d nominale boutdiameter; [20 mm]

γ_{M2} partiële veiligheidsfactor voor de weerstand van bouten; [1,25

Invullen geeft:

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6 \cdot 800 \cdot 245}{1{,}25} = 94{,}08\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed} = 72{,}6 \leq F_{v,Rd} = 94{,}08\ kN$$

Er wordt voldaan aan de toetsingsregel.

T.11.2 Stuik plaatmateriaal

Elke bout is een randbout, zodat k_1 de kleinste waarde is van:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1{,}7 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d+2} - 1{,}7$$

Waarin:

k_1 factor, afhankelijk van de randafstand en de steek in de richting loodrecht op de richting van de krachtoverdracht:
randbouten: k_1 = kleinste waarde van $2{,}8 \cdot e_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;
binnenste bouten: k_1 = kleinste waarde van $1{,}4 \cdot p_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;

e_2 randafstand; [50 mm]

d_0 gatdiameter, in het algemeen geldt: $d_0 = d + 2\ mm$; [22 mm]

d nominale boutdiameter; [20 mm]

Invullen geeft:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{50}{20+2} - 1{,}7 = 4{,}66 \text{ of } k_1 = 2{,}5 \text{ (maatgevend)}$$

Voor de eindbouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{50}{3 \cdot 22} = 0{,}76;\ \alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0 \text{ (maatgevend)}$$

De stuikweerstand van elke eindbout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_b stuikfactor: kleinste waarde van α_d, f_{ub}/f_u of 1,0; [0,76]

α_d factor, afhankelijk van de eindafstand en de steek in de richting van de krachtoverdracht;
f_u treksterkte van het moedermateriaal; [360 N/mm^2]
d nominale boutdiameter; [20 mm]
t kleinste dikte van de te verbinden plaatdelen; [10 mm]

Invullen geeft:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}76 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 109{,}09\ kN$$

Voor de binnenste bouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{75}{3 \cdot 22} - \frac{1}{4} = 0{,}89$ (maatgevend); $\alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40$ of $\alpha_b = 1{,}0$

De stuikweerstand van elke binnenste bout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,binnenbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}89 \cdot 360 \cdot 20 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 127{,}64\ kN$$

Bij een groep verbindingsmiddelen is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan de som van de rekenwaarden van de stuikweerstanden van de individuele bouten, mits stuik maatgevend is voor elke individuele bout in de groep:

$$F_{v,Rd} \geq F_{b,Rd}$$

Wanneer niet wordt voldaan aan bovenstaande formule is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan het product van het aantal bouten en de kleinste rekenwaarde van de weerstand van de individuele bouten.

De afschuifweerstand per bout (met elk één schuifvlak) bedraagt $F_{v,Rd,bout} = F_{v,Rd} = 94{,}08\ kN$. Voor de eindbout geldt $F_{v,Rd,bout} = 94{,}08\ kN \leq F_{b,Rd,eindbout} = 109{,}09\ kN$ en voor de binnenste bouten $F_{v,Rd,bout} = 94{,}08\ kN \leq F_{b,Rd,binnenbout} = 127{,}64\ kN$.

Voor alle bouten geldt dat de afschuifweerstand maatgevend is ten opzichte van de stuikweerstand. Daarom mogen de schuifweerstanden van één eindbout en van twee binnenbouten worden opgeteld.

Voor de boutgroep geldt:

$$F_{b,Rd,groep} = F_{v,Rd,bout} + F_{v,Rd,bout} + F_{v,Rd,bout} = 94{,}08 + 94{,}08 + 94{,}08 = 282{,}24\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed,groep} = 217{,}7\ kN \leq F_{b,Rd,groep} = 282{,}24\ \ kN$$

Er wordt voldaan aan de toetsingsregel.

De rekenwaarde van de trekweerstand $N_{u,Rd}$ bij vloeien van de nettodoorsnede is:

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

A_{net} oppervlakte van de nettodoorsnede rekening houdend met de gataftrek;

f_u treksterkte; [360 N/mm^2]

γ_{M2} partiële factor voor de weerstand van de doorsnede in trek tot aan breuk; [1,25]

De berekening van de trekweerstand $N_{u,Rd}$ bij een bezwijkende nettodoorsnede ziet er als volgt uit. Voor de gataftrek van M20 bouten (gaten met een gatdiameter van 22 mm) voor het bepalen van de nettodoorsnede moet de grootste waarden worden aangehouden van niet-verspringende boutgaten: $t \cdot d_0 = 15 \cdot 22 = 330\ mm^2$. Op de eerste breuklijn ligt één M20 bout, dus de gataftrek is gelijk aan 1 maal $t \cdot d_0$.

$$A_{net} = A - t \cdot d_0 = 1500 - 330 = 1170\ mm^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot 1170 \cdot 360}{1{,}25} = 303{,}26\ kN$$

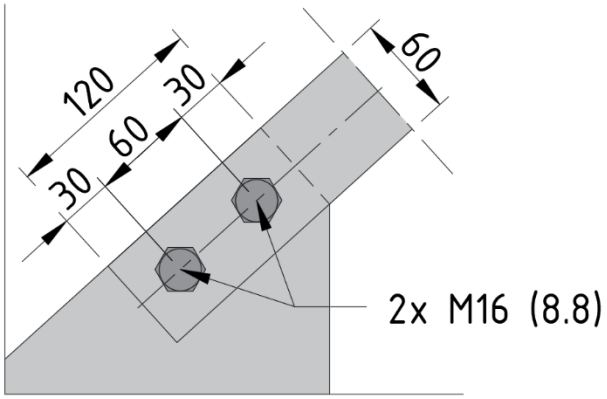
$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{217{,}7}{303{,}26} = 0{,}72 \leq 1{,}0$$

Er wordt voldaan aan de toetsingsregel.

T.12 Sterktecontrole diagonaalstaven (windbokken E)

T.12.1 Afschuiving bouten

Aangenomen wordt dat de diagonalen van windbokken E worden uitgevoerd in een **strip 60x8 mm** met staalkwaliteit S235. Er zijn in totaal twee M16 bouten met elk één afschuifvlak met per schuifvlak een belasting $F_{v,Ed} = N_{Ed}/(2 \cdot 1) = 60{,}3/2 = 30{,}1\ kN$. Het afschuifvlak gaat door de draad. Voor een bout in klasse 8.8 geldt dan $\alpha_v = 0{,}6$. Bij een schuifvlak door de draag wordt de spanningsdoorsnede A_s gebruikt: $A = A_s = 157\ mm^2$. De boutverbinding zoals hier bedoelt is te zien in onderstaande figuur 91.



Figuur 91: Afmetingen boutverbinding diagonaalstaven als onderdeel van windbokken E. De tekening is gemaakt met AutoCAD 2022.

Voor de afschuifweerstand van een bout per afschuifvlak geldt formule:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_v factor, afhankelijk van de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: α_v = 0,6 voor boutklasse 4.6, 5.6 en 8.8;
- α_v = 0,5 voor boutklasse 6.8 en 10.9;
- door de schacht: α_v = 0,6;

f_{ub} treksterkte van het boutmateriaal; [800 N/mm^2]

A oppervlakte van de boutdoorsnede, afhankelijk de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: $A = A_s$; [157 mm^2]
- door de schacht: $A = \pi d^2/4$;

A_s spanningsdoorsnede van de bout, gegeven in een tabellenboek, gedefinieerd als het (gewogen) gemiddelde tussen de volle schachtdoorsnede en de kerndoorsnede ter plaatse van de schroefdraad;

d nominale boutdiameter; [16 mm]

γ_{M2} partiële veiligheidsfactor voor de weerstand van bouten; [1,25]

Invullen geeft:

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6 \cdot 800 \cdot 157}{1{,}25} = 60{,}29\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed} = 30{,}1\ kN \leq F_{v,Rd} = 60{,}29\ kN$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel.

T.12.2 Stuik plaatmateriaal

Elke bout is een randbout, zodat k_1 de kleinste waarde is van:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1{,}7 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d+2} - 1{,}7$$

Waarin:

k_1 factor, afhankelijk van de randafstand en de steek in de richting loodrecht op de richting van de krachtoverdracht:
- randbouten: k_1 = kleinste waarde van $2{,}8 \cdot e_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;
- binnenste bouten: k_1 = kleinste waarde van $1{,}4 \cdot p_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;

e_2 randafstand; [30 mm]

d_0 gatdiameter, in het algemeen geldt: $d_0 = d + 2\ mm$; [18 mm]

d nominale boutdiameter; [16 mm]

Invullen geeft:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{30}{16+2} - 1{,}7 = 2{,}97 \text{ of } k_1 = 2{,}5 \text{ (maatgevend)}$$

Voor de eindbouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \frac{e_1}{3 \cdot d_0} = \frac{30}{3 \cdot 18} = 0{,}56 \text{ (maatgevend)};\ \alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0$$

De stuikweerstand van elke eindbout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_b stuikfactor: kleinste waarde van α_d, f_{ub}/f_u of 1,0; [0,56]

α_d factor, afhankelijk van de eindafstand en de steek in de richting van de krachtoverdracht;

f_u treksterkte van het moedermateriaal; [360 N/mm^2]

d nominale boutdiameter; [16 mm]

t kleinste dikte van de te verbinden plaatdelen; [8 mm]

Invullen geeft:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}56 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 51{,}2\ kN$$

Voor de binnenste bouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{60}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 0{,}86$ (maatgevend); $\alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{360} = 2{,}22$ of $\alpha_b = 1{,}0$

De stuikweerstand van elke binnenste bout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,binnenbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 \cdot 0{,}86 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 8 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 79{,}36\ kN$$

Bij een groep verbindingsmiddelen is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan de som van de rekenwaarden van de stuikweerstanden van de individuele bouten, mits stuik maatgevend is voor elke individuele bout in de groep:

$$F_{v,Rd} \geq F_{b,Rd}$$

Wanneer niet wordt voldaan aan bovenstaande formule is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan het product van het aantal bouten en de kleinste rekenwaarde van de weerstand van de individuele bouten.

De afschuifweerstand per bout (met elk één schuifvlak) bedraagt $F_{v,Rd,bout} = F_{v,Rd} = 60{,}29\ kN$. Voor de eindbout geldt $F_{v,Rd,bout} = 60{,}29\ kN \geq F_{b,Rd,eindbout} = 51{,}2\ kN$ en voor de binnenste bouten $F_{v,Rd,bout} = 60{,}29\ kN \leq F_{b,Rd,binnenbout} = 79{,}36\ kN$.

Voor de eindbouten geldt dat de stuikweerstand maatgevend is ten opzichte van de afschuifweerstand. Voor de binnenbouten geldt dat de afschuifweerstand maatgevend is ten opzicht van de stuikweerstand. Daarom mogen de stuikweerstand van één eindbout en de afschuifweerstand van één binnenbout worden opgeteld.

Voor de boutgroep geldt:

$$F_{b,Rd,groep} = F_{b,Rd,eindbout} + F_{v,Rd,bout} = 51{,}2 + 60{,}29 = 111{,}49\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed,groep} = 60{,}3\ kN \leq F_{b,Rd,groep} = 111{,}49\ kN$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel.

De rekenwaarde van de trekweerstand $N_{u,Rd}$ bij vloeien van de nettodoorsnede is:

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot A_{net} \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

A_{net} oppervlakte van de nettodoorsnede rekening houdend met de gataftrek;

f_u treksterkte; [360 N/mm^2]

γ_{M2} partiële factor voor de weerstand van de doorsnede in trek tot aan breuk; [1,25]

De berekening van de trekweerstand $N_{u,Rd}$ bij een bezwijkende nettodoorsnede ziet er als volgt uit. Voor de gataftrek van M16 bouten (gaten met een gatdiameter van 18 mm) voor het bepalen van de nettodoorsnede moet de grootste waarden worden aangehouden van niet-verspringende boutgaten: $t \cdot d_0 = 8 \cdot 18 = 144\ mm^2$. Op de eerste breuklijn ligt één M16 bout, dus de gataftrek is gelijk aan 1 maal $t \cdot d_0$.

$$A_{net} = A - t \cdot d_0 = 480 - 144 = 336\ mm^2$$

$$N_{u,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot 336 \cdot 360}{1{,}25} = 87{,}09\ kN$$

$$\frac{N_{Ed}}{N_{u,Rd}} = \frac{60{,}3}{87{,}09} = 0{,}69 \leq 1{,}0$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel.

Bijlage U: Tweede controle bovenrandstaven

U.1 Sterktecontrole bovenrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

Waarin:

N_{Ed} is de rekenwaarde van de drukkracht ten gevolge van de belasting; [458,3 kN + 122,3 kN]

$N_{c,Rd}$ is de rekenwaarde van de uiterst opneembare drukkracht voor de gegeven doorsnede.

$$N_{c,Rd} = A \cdot f_y$$

Waarin:

A is de oppervlakte van de brutodoorsnede (**HEA 220** is gekozen); [6434 mm^2]

f_y is de vloeigrens; [235 N/mm^2]

$$N_{c,Rd} = 6434 \cdot 235 = 1511{,}99\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{c,Rd}} = \frac{580{,}6}{1511{,}99} = 0{,}38 \leq 1{,}0$$

HEA 220 voldoet aan de voorwaarde voor sterkte.

U.2 Stabiliteitscontrole bovenrandstaven

Voorwaarde:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} \leq 1{,}0$$

De rekenwaarde voor de normaal (druk)kracht van de doorsnede is voor gangbare profielen (doorsnedeklasse 1 t/m 3) in de Eurocode gedefinieerd als:

$$N_{c,Rd} = \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M0}}$$

Door knik zal dit draagvermogen moeten worden gereduceerd en wordt een aangepaste formule gehanteerd waarbij de invloed van knik op de sterkte is verwerkt in de knikreductiefactor, ook wel aangeduid met knikfactor χ_z:

$$N_{b,Rd} = \chi_z \cdot \frac{A \cdot f_y}{\gamma_{M1}}$$

De knikfactor χ_z is een factor die volgt uit een empirische formule:

$$\chi_z = \frac{1}{\phi + \sqrt{\phi^2 - \bar{\lambda}^2}} \quad \text{en} \quad \chi_z \leq 1{,}0$$

Waarin:

$\phi = 0{,}5[1 + \alpha(\bar{\lambda} - 0{,}2) + \bar{\lambda}^2]$

$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1}$ waarin $\lambda_1 = \pi \cdot \sqrt{E/f_y} = \pi \cdot \sqrt{2{,}1 \cdot 10^5/235} = 93{,}91$

$$i_z = \sqrt{\frac{I}{A}} = \sqrt{\frac{1955 \cdot 10^4}{6434}} = 55{,}12\ mm$$

Dus:

$$\bar{\lambda} = \frac{L_{cr,z}}{i_z} \cdot \frac{1}{\lambda_1} = \frac{5834{,}5}{55{,}12} \cdot \frac{1}{93{,}91} = 1{,}13$$

De Eurocode biedt vijf verschillende mogelijkheden voor de vorm van de zgn. instabiliteitskrommen of knikcurven a_0, a, b, c en d. De keuze van de knikcurve is vastgelegd met tabel 6.2 uit de Eurocode 3. De HEA-profielen en van staalkwaliteit S235 met $h/b = 210/220 = 0{,}95 \leq 1{,}2$ en $t_f = 11 \leq 100$, dus bij knikken om de z'-as moet curve c worden gebruikt (zie eerdere figuur 78 en tabel 13 met imperfectiefactoren). Er geldt: α = 0,49.

$$\phi = 0{,}5[1 + 0{,}49(1{,}13 - 0{,}2) + 1{,}13^2] = 1{,}36$$

$$\chi_z = \frac{1}{1{,}36 + \sqrt{1{,}36^2 - 1{,}13^2}} = 0{,}47 \leq 1{,}0$$

$$N_{b,Rd} = 0{,}47 \cdot \frac{6434 \cdot 235}{1{,}0} = 710{,}71\ kN$$

Dus:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{b,Rd}} = \frac{580{,}6}{710{,}71} = 0{,}82 \leq 1{,}0$$

HEA 220 voldoet vooralsnog aan de voorwaarde voor stabiliteit en kan dus worden behouden.

Voor de uitwerking van de tweede controle van de kolommen: zie de uitwerking in het rapport.

Bijlage V: Analyse kopgevels

V.1 Algemene belastingen

› $q_{permanent,dak} = 0{,}36 \cdot 3{,}13 = 1{,}12\ kN/m$

› $q_{permanent,1} = 0{,}40 \cdot \left(\frac{6{,}25+5{,}83}{2}\right) = 2{,}41\ kN/m$

› $q_{permanent,11} = 0{,}40 \cdot \left(\frac{6{,}25+4{,}50}{2}\right) = 2{,}14\ kN/m$

› $q_{permanent,2-6} = 0{,}40 \cdot 5{,}83 = 2{,}32\ kN/m$

› $q_{permanent,7} = 0{,}40 \cdot \left(\frac{5{,}83+4{,}50}{2}\right) = 2{,}06\ kN/m$

› $q_{permanent,8-10} = 0{,}40 \cdot 4{,}50 = 1{,}79\ kN/m$

Nuttige lasten (H: daken) van de zonnepanelen in detail:

› $q_{nuttige\ last\ H:daken} = 0{,}25 \cdot 3{,}13 = 0{,}78\ kN/m$

V.2 Windbelasting

Windbelastingen op de daken en gevels voor een inwendige druk van +0,20 in kN/m^2 en krachten vanuit de windliggers in detail:

› Kolom 1/11 liggen zijdelings volledig in windzone D met een winddruk van +0,99 kN/m^2. De kolommen worden derhalve belast met:

$$q_{windzone\ D} = 0{,}99 \cdot \left(\frac{6{,}25}{2}\right) = 3{,}10\ kN/m$$

› Kolom 1/11 liggen zijdelings volledig in windzone E met een windzuiging van -0,18 kN/m^2. De kolommen worden derhalve belast met:

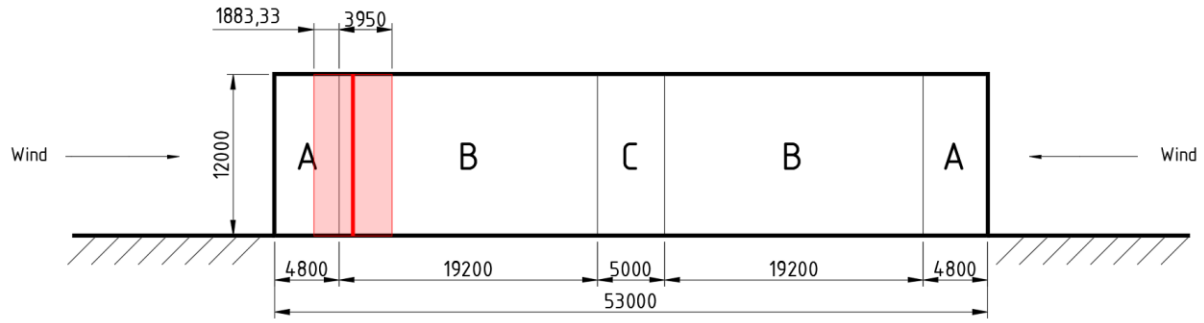
$$q_{windzone\ E} = -0{,}18 \cdot \left(\frac{6{,}25}{2}\right) = -0{,}56\ kN/m$$

› Kolom 1 ligt volledig in windzone A met een windzuiging van -1,26 kN/m^2. De kolom wordt derhalve belast met:

$$q_{windzone\ A,1} = -1{,}26 \cdot \left(\frac{5{,}83}{2}\right) = -3{,}68\ kN/m$$

› Kolom 2 ligt voor een deel in windzone A met een windzuiging van -1,26 kN/m^2 en voor een deel in windzone B met een windzuiging van -0,90 kN/m^2, zoals te zien in onderstaande figuur 92. In deze situatie worden de windligger en de windbokken het minste belast en treedt er dus minder drukkracht op in de desbetreffende kolom. De kolom wordt derhalve belast met:

$$q_{windzone\ A/B,2} = (-1{,}26 \cdot 1{,}88) + (-0{,}90 \cdot 3{,}95) = -5{,}94\ kN/m.$$



Figuur 92: Windzones van de kopgevel. Het rode gebied geeft aan hoe de zwaarst belaste kopgevelkolom wordt belast met windzuiging.

› Kolom 3 ligt volledig in windzone B met een windzuiging van -0,90 kN/m^2. De kolom wordt derhalve belast met:

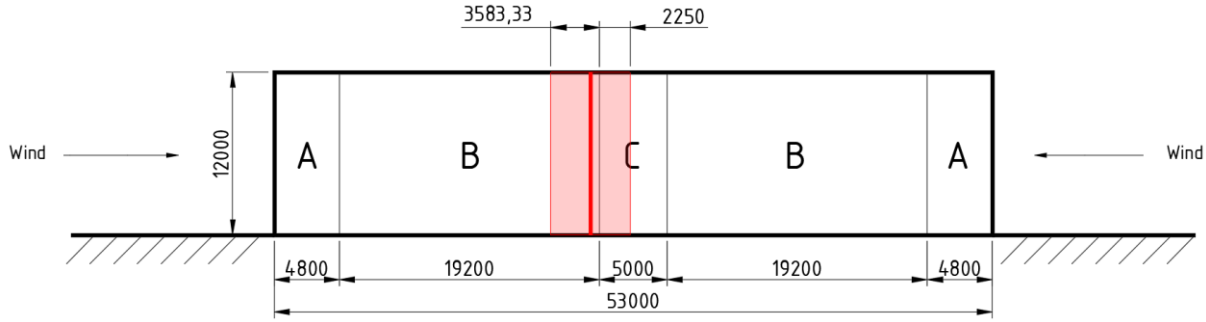
$$q_{windzone\ B,3} = -0{,}90 \cdot 5{,}83 = -5{,}26\ kN/m.$$

› Kolom 4 ligt volledig in windzone B met een windzuiging van -0,90 kN/m^2. De kolom wordt derhalve belast met:

$$q_{windzone\ B,4} = -0{,}90 \cdot 5{,}83 = -5{,}26\ kN/m$$

› Kolom 5 ligt voor een deel in windzone B met een windzuiging van -0,90 kN/m^2 en voor een deel in windzone C met een windzuiging van -0,63 kN/m^2, zoals te zien in onderstaande figuur 93. De kolom wordt derhalve belast met:

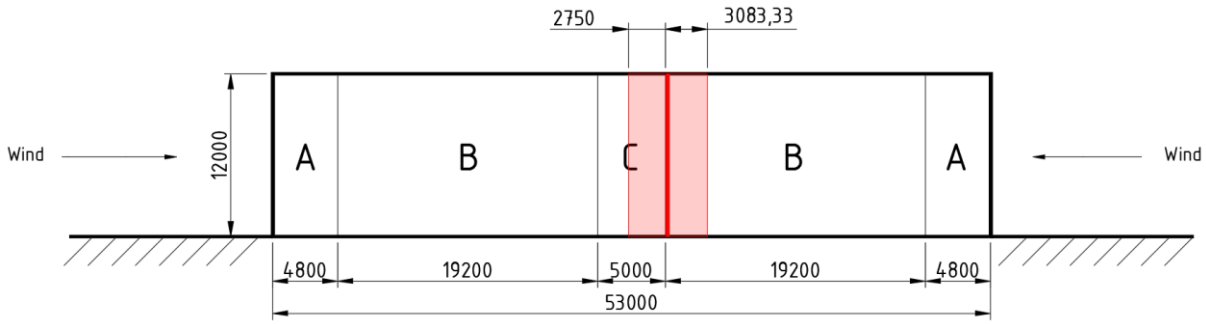
$$q_{windzone\ B/C,5} = (-0{,}90 \cdot 3{,}58) + (-0{,}63 \cdot 2{,}25) = -4{,}65\ kN/m$$



Figuur 93: Windzones van de kopgevel. Het rode gebied geeft aan hoe de zwaarst belaste kopgevelkolom wordt belast met windzuiging.

› Kolom 6 ligt voor een deel in windzone B met een windzuiging van -0,90 kN/m^2 en voor een deel in windzone C met een windzuiging van -0,63 kN/m^2, zoals te zien in onderstaande figuur 94. De kolom wordt derhalve belast met:

$$q_{windzone\ B/C,6} = (-0{,}90 \cdot 2{,}75) + (-0{,}63 \cdot 3{,}08) = -4{,}43\ kN/m$$



Figuur 94: Windzones van de kopgevel. Het rode gebied geeft aan hoe de zwaarst belaste kopgevelkolom wordt belast met windzuiging.

› Kolom 7 ligt volledig in windzone B met een windzuiging van -0,90 kN/m^2. De kolom wordt door de variërende stramienmaat derhalve belast met:

$$q_{windzone\ B,7} = -0{,}90 \cdot \left(\frac{5{,}83 + 4{,}50}{2}\right) = -4{,}66\ kN/m$$

› Kolom 8 ligt volledig in windzone B met een windzuiging van -0,90 kN/m^2. De kolom wordt derhalve belast met:

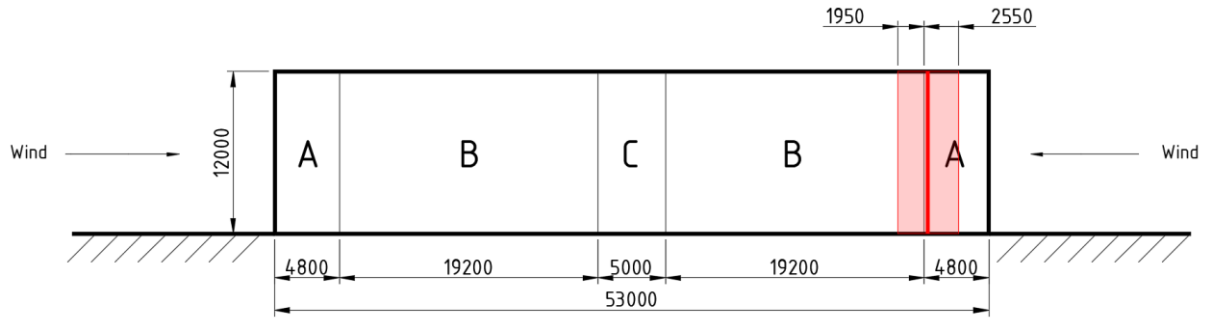
$$q_{windzone\ B,8} = -0{,}90 \cdot 4{,}50 = -4{,}06\ kN/m$$

› Kolom 9 ligt volledig in windzone B met een windzuiging van -0,90 kN/m^2. De kolom wordt derhalve belast met:

$$q_{windzone\ B,9} = -0{,}90 \cdot 4{,}50 = -4{,}06\ kN/m$$

› Kolom 10 ligt voor een deel in windzone B met een windzuiging van -0,90 kN/m^2 en voor een deel in windzone C met een windzuiging van -0,63 kN/m^2, zoals te zien in onderstaande figuur 95. De kolom wordt derhalve belast met:

$$q_{windzone\ A/B,10} = (-0{,}90 \cdot 1{,}95) + (-1{,}26 \cdot 2{,}55) = -4{,}98\ kN/m$$



Figuur 95: Windzones van de kopgevel. Het rode gebied geeft aan hoe de zwaarst belaste kopgevelkolom wordt belast met windzuiging.

› Kolom 11 ligt volledig in windzone A met een windzuiging van -1,26 kN/m^2. De kolom wordt derhalve belast met:

$$q_{windzone\ A,11} = -1{,}26 \cdot \left(\frac{4{,}50}{2}\right) = -2{,}84\ kN/m$$

V.3 Sneeuwbelasting

Achter de borstwering vindt ophoping van sneeuw plaats over een stuiflengte van 5,00 m. De stramienafstand tussen de portalen is 6,25 m, maar slechts een breedte van 3,13 m belast de kopgevel. De sneeuwbelasting wordt als volgt berekend:

$$s_{portaal,kopgevel} = s \cdot a = 0{,}90 \cdot \left(\frac{6{,}25}{2}\right) = 2{,}81\ kN/m$$

Bijlage W: Doorsneden staalprofielen

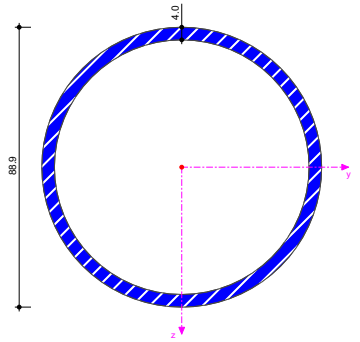
Cross-Section Properties

CHS 88.9x4

Geometry			
Diameter	d	88.9	mm
Thickness	t	4.0	mm
Sectional Area			
Sectional area	A	10.70	cm^2
Bending			
Area moment of inertia about y-axis	I_y	96.30	cm^4
Polar area moment of inertia	I_p	192.60	cm^4
Radius of gyration about y-axis	i_y	30.0	mm
Polar radius of gyration	i_p	42.4	mm
Statical moment of area about y-axis	max S_y	7.13	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	W_y	21.70	cm^3
Shear			
Shear area in y-direction	A_y	5.40	cm^2
Torsion			
Torsional constant	I_t	193.00	cm^4
Torsional constant (St. Venant)	$I_{t,StVen}$	0.57	cm^4
Torsional constant (Bredt)	$I_{t,Bredt}$	192.43	cm^4
Section modulus for torsion	W_t	43.30	cm^3
Plasticity			
Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y}$	28.90	cm^3
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y}$	1.332	--
Plastic shear area in y-direction	$A_{pl,y}$	6.79	cm^2
Plastic limiting normal force	N_{pl}	250.807	kN
Plastic limiting shear force in y-direction	$V_{pl,y}$	92.152	kN
Plastic limiting bending moment about y-axis	$M_{pl,y}$	6.78	kNm
Other			
Weight	G	8.4	kg/m
Surface area per unit length	A_m	0.279	m^2/m
Volume	V	1070.00	cm^3/m
Section factor	A_m/V	260.748	1/m
Cell area	A_{cell}	56.61	cm^2

CHS 88.9x4

- EN 10210-2
- Condesa



[mm]

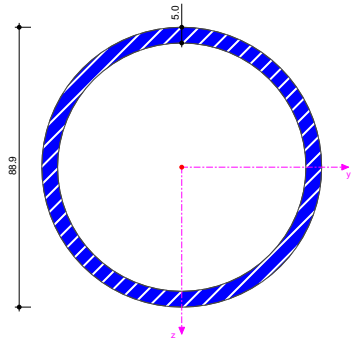
Cross-Section Properties

CHS 88.9x5

Geometry			
Diameter	d	88.9	mm
Thickness	t	5.0	mm
Sectional Area			
Sectional area	A	13.20	cm^2
Bending			
Area moment of inertia about y-axis	I_y	116.00	cm^4
Polar area moment of inertia	I_p	232.00	cm^4
Radius of gyration about y-axis	i_y	29.7	mm
Polar radius of gyration	i_p	42.0	mm
Statical moment of area about y-axis	max S_y	8.67	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	W_y	26.20	cm^3
Shear			
Shear area in y-direction	A_y	6.67	cm^2
Torsion			
Torsional constant	I_t	233.00	cm^4
Torsional constant (St. Venant)	$I_{t,StVen}$	0.74	cm^4
Torsional constant (Bredt)	$I_{t,Bredt}$	232.26	cm^4
Section modulus for torsion	W_t	52.40	cm^3
Plasticity			
Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y}$	35.20	cm^3
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y}$	1.344	--
Plastic shear area in y-direction	$A_{pl,y}$	8.39	cm^2
Plastic limiting normal force	N_{pl}	309.700	kN
Plastic limiting shear force in y-direction	$V_{pl,y}$	113.833	kN
Plastic limiting bending moment about y-axis	$M_{pl,y}$	8.27	kNm
Other			
Weight	G	10.4	kg/m
Surface area per unit length	A_m	0.279	m^2/m
Volume	V	1320.00	cm^3/m
Section factor	A_m/V	211.364	1/m
Cell area	A_{cell}	55.29	cm^2

CHS 88.9x5

- EN 10210-2
- Condesa



[mm]

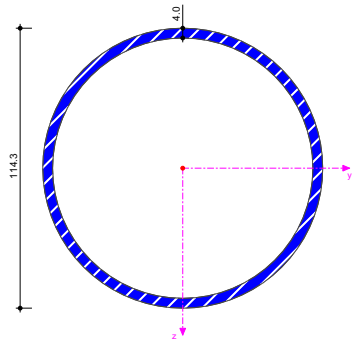
Cross-Section Properties

CHS 114.3x4

Geometry			
Diameter	d	114.3	mm
Thickness	t	4.0	mm
Sectional Area			
Sectional area	A	13.90	cm^2
Bending			
Area moment of inertia about y-axis	I_y	211.00	cm^4
Polar area moment of inertia	I_p	422.00	cm^4
Radius of gyration about y-axis	i_y	39.0	mm
Polar radius of gyration	i_p	55.2	mm
Statical moment of area about y-axis	max S_y	12.06	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	W_y	36.90	cm^3
Shear			
Shear area in y-direction	A_y	6.99	cm^2
Torsion			
Torsional constant	I_t	422.00	cm^4
Torsional constant (St. Venant)	$I_{t,StVen}$	0.74	cm^4
Torsional constant (Bredt)	$I_{t,Bredt}$	421.26	cm^4
Section modulus for torsion	W_t	73.90	cm^3
Plasticity			
Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y}$	48.70	cm^3
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y}$	1.320	--
Plastic shear area in y-direction	$A_{pl,y}$	8.82	cm^2
Plastic limiting normal force	N_{pl}	326.016	kN
Plastic limiting shear force in y-direction	$V_{pl,y}$	119.722	kN
Plastic limiting bending moment about y-axis	$M_{pl,y}$	11.44	kNm
Other			
Weight	G	10.9	kg/m
Surface area per unit length	A_m	0.359	m^2/m
Volume	V	1390.00	cm^3/m
Section factor	A_m/V	258.273	1/m
Cell area	A_{cell}	95.55	cm^2

CHS 114.3x4

- EN 10210-2
- Condesa



[mm]

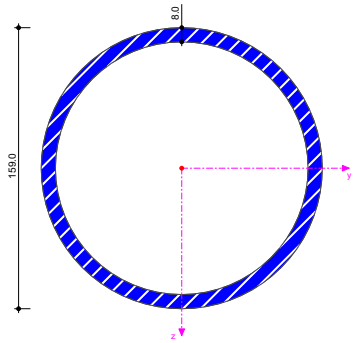
Cross-Section Properties

CHS 159x8

Geometry			
Diameter	d	159.0	mm
Thickness	t	8.0	mm
Sectional Area			
Sectional area	A	38.00	cm^2
Bending			
Area moment of inertia about y-axis	I_y	1085.00	cm^4
Polar area moment of inertia	I_p	2170.00	cm^4
Radius of gyration about y-axis	i_y	53.5	mm
Polar radius of gyration	i_p	75.7	mm
Statical moment of area about y-axis	max S_y	45.01	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	W_y	136.00	cm^3
Shear			
Shear area in y-direction	A_y	19.28	cm^2
Torsion			
Torsional constant	I_t	2169.00	cm^4
Torsional constant (St. Venant)	$I_{t,StVen}$	6.94	cm^4
Torsional constant (Bredt)	$I_{t,Bredt}$	2162.06	cm^4
Section modulus for torsion	W_t	273.00	cm^3
Plasticity			
Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y}$	183.00	cm^3
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y}$	1.346	--
Plastic shear area in y-direction	$A_{pl,y}$	24.16	cm^2
Plastic limiting normal force	N_{pl}	891.975	kN
Plastic limiting shear force in y-direction	$V_{pl,y}$	327.796	kN
Plastic limiting bending moment about y-axis	$M_{pl,y}$	42.88	kNm
Other			
Weight	G	29.8	kg/m
Surface area per unit length	A_m	0.500	m^2/m
Volume	V	3800.00	cm^3/m
Section factor	A_m/V	131.579	1/m
Cell area	A_{cell}	179.08	cm^2

CHS 159x8

- EN 10210-2
- Condesa



[mm]

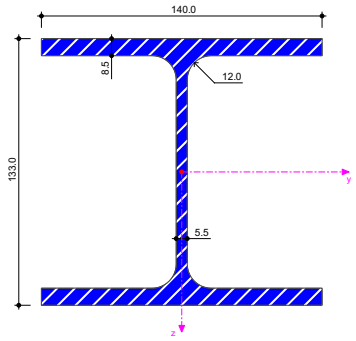
Cross-Section Properties

HEA 140

Geometry			
Depth	h	133.0	mm
Width	b	140.0	mm
Web thickness	t_w	5.5	mm
Flange thickness	t_f	8.5	mm
Inner depth between flanges	h_i	116.0	mm
Root fillet radius	r_1	12.0	mm
Depth of straight portion of web	d	92.0	mm
Sectional Area			
Sectional area	A	31.42	cm^2
Bending			
Area moment of inertia about y-axis	I_y	1033.00	cm^4
Area moment of inertia about z-axis	I_z	389.30	cm^4
Polar area moment of inertia	I_p	1422.30	cm^4
Radius of gyration about y-axis	i_y	57.4	mm
Radius of gyration about z-axis	i_z	35.2	mm
Polar radius of gyration	i_p	67.3	mm
Statical moment of area about y-axis	max S_y	86.75	cm^3
Statical moment of area about z-axis	max S_z	20.90	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	W_y	155.40	cm^3
Elastic section modulus about z-axis	W_z	55.62	cm^3
Shear			
Shear area in y-direction	A_y	19.69	cm^2
Shear area in z-direction	A_z	6.69	cm^2
Torsion			
Torsional constant	I_t	8.03	cm^4
Secondary torsional constant	$I_{t,s}$	735.73	cm^4
Section modulus for torsion	W_t	9.45	cm^3
Warping			
Warping ordinate with respect to shear center	max ω	43.58	cm^2
Warping constant with respect to shear center	I_ω	14729.00	cm^6
Warping radius of gyration with respect to shear center	i_ω	32.2	mm
Warping section modulus with respect to shear center	W_ω	338.01	cm^4
Warping statical moment with respect to shear center	max S_ω	129.64	cm^4
Stability			
c/t ratio of flange	c/t_f	6.500	--
c/t ratio of web	c/t_w	16.700	--
Plasticity			
Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y}$	173.53	cm^3
Plastic section modulus about z-axis	$W_{pl,z}$	84.85	cm^3
Plastic warping section modulus with respect to shear center	$W_{pl,\omega}$	518.54	cm^4
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y}$	1.117	--
Plastic shape factor about z-axis	$\alpha_{pl,z}$	1.526	--
Plastic shape factor with respect to shear center	$\alpha_{pl,\omega}$	1.500	--
Plastic shear area in y-direction	$A_{pl,y}$	23.80	cm^2
Plastic shear area in z-direction	$A_{pl,z}$	6.85	cm^2
Plastic limiting normal force	N_{pl}	738.449	kN
Plastic limiting shear force in y-direction	$V_{pl,y}$	322.912	kN

HEA 140

- DIN 1025-3:1994-03; Euronorm 53-62
- --



[mm]

Plastic limiting shear force in z-direction	$V_{pl,z}$	92.905	kN
Plastic limiting bending moment about y-axis	$M_{pl,y}$	40.78	kNm
Plastic limiting bending moment about z-axis	$M_{pl,z}$	19.94	kNm

Other

Weight	G	24.7	kg/m
Surface area per unit length	A_m	0.794	m^2/m
Volume	V	3142.00	cm^3/m
Section factor	A_m/V	252.833	1/m
Web area	A_w	6.38	cm^2
Flange hole diameter	d_0	24.0	mm
Flange hole spacing	w	80.0	mm

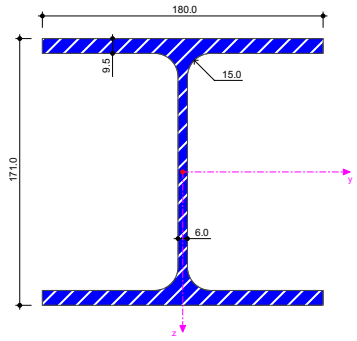
Cross-Section Properties

HEA 180

Geometry			
Depth	h	171.0	mm
Width	b	180.0	mm
Web thickness	t_w	6.0	mm
Flange thickness	t_f	9.5	mm
Inner depth between flanges	h_i	152.0	mm
Root fillet radius	r_1	15.0	mm
Depth of straight portion of web	d	122.0	mm
Sectional Area			
Sectional area	A	45.25	cm^2
Bending			
Area moment of inertia about y-axis	I_y	2510.00	cm^4
Area moment of inertia about z-axis	I_z	924.60	cm^4
Polar area moment of inertia	I_p	3434.60	cm^4
Radius of gyration about y-axis	i_y	74.5	mm
Radius of gyration about z-axis	i_z	45.2	mm
Polar radius of gyration	i_p	87.1	mm
Statical moment of area about y-axis	max S_y	162.40	cm^3
Statical moment of area about z-axis	max S_z	38.62	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	W_y	293.60	cm^3
Elastic section modulus about z-axis	W_z	102.70	cm^3
Shear			
Shear area in y-direction	A_y	28.86	cm^2
Shear area in z-direction	A_z	9.52	cm^2
Torsion			
Torsional constant	I_t	14.66	cm^4
Secondary torsional constant	$I_{t,s}$	1787.79	cm^4
Section modulus for torsion	W_t	15.43	cm^3
Warping			
Warping ordinate with respect to shear center	max ω	72.67	cm^2
Warping constant with respect to shear center	I_ω	59014.00	cm^6
Warping radius of gyration with respect to shear center	i_ω	41.5	mm
Warping section modulus with respect to shear center	W_ω	812.03	cm^4
Warping statical moment with respect to shear center	max S_ω	310.69	cm^4
Stability			
c/t ratio of flange	c/t_f	7.580	--
c/t ratio of web	c/t_w	20.300	--
Plasticity			
Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y}$	324.93	cm^3
Plastic section modulus about z-axis	$W_{pl,z}$	156.49	cm^3
Plastic warping section modulus with respect to shear center	$W_{pl,\omega}$	1242.74	cm^4
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y}$	1.107	--
Plastic shape factor about z-axis	$\alpha_{pl,z}$	1.524	--
Plastic shape factor with respect to shear center	$\alpha_{pl,\omega}$	1.500	--
Plastic shear area in y-direction	$A_{pl,y}$	34.20	cm^2
Plastic shear area in z-direction	$A_{pl,z}$	9.69	cm^2
Plastic limiting normal force	N_{pl}	1063.675	kN
Plastic limiting shear force in y-direction	$V_{pl,y}$	464.016	kN

HEA 180

- DIN 1025-3:1994-03; Euronorm 53-62
- --



[mm]

Plastic limiting shear force in z-direction	$V_{pl,z}$	131.471	kN
Plastic limiting bending moment about y-axis	$M_{pl,y}$	76.36	kNm
Plastic limiting bending moment about z-axis	$M_{pl,z}$	36.78	kNm

Other

Weight	G	35.5	kg/m
Surface area per unit length	A_m	1.024	m^2/m
Volume	V	4525.00	cm^3/m
Section factor	A_m/V	226.298	1/m
Web area	A_w	9.12	cm^2
Flange hole diameter	d_0	30.0	mm
Flange hole spacing	w	100.0	mm

Cross-Section Properties

HEA 220

Geometry			
Depth	h	210.0	mm
Width	b	220.0	mm
Web thickness	t_w	7.0	mm
Flange thickness	t_f	11.0	mm
Inner depth between flanges	h_i	188.0	mm
Root fillet radius	r_1	18.0	mm
Depth of straight portion of web	d	152.0	mm

Sectional Area			
Sectional area	A	64.34	cm^2

Bending			
Area moment of inertia about y-axis	I_y	5410.00	cm^4
Area moment of inertia about z-axis	I_z	1955.00	cm^4
Polar area moment of inertia	I_p	7365.00	cm^4
Radius of gyration about y-axis	i_y	91.7	mm
Radius of gyration about z-axis	i_z	55.1	mm
Polar radius of gyration	i_p	107.0	mm
Statical moment of area about y-axis	$\max S_y$	284.20	cm^3
Statical moment of area about z-axis	$\max S_z$	66.80	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	W_y	515.20	cm^3
Elastic section modulus about z-axis	W_z	177.70	cm^3

Shear			
Shear area in y-direction	A_y	40.93	cm^2
Shear area in z-direction	A_z	13.67	cm^2

Torsion			
Torsional constant	I_t	28.09	cm^4
Secondary torsional constant	$I_{t,s}$	3848.40	cm^4
Section modulus for torsion	W_t	25.54	cm^3

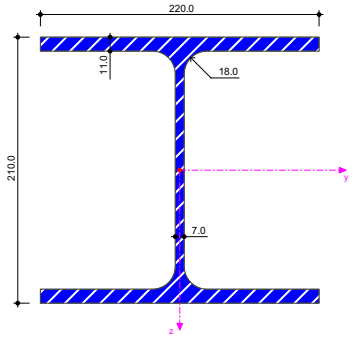
Warping			
Warping ordinate with respect to shear center	$\max \omega$	109.45	cm^2
Warping constant with respect to shear center	I_ω	189610.00	cm^6
Warping radius of gyration with respect to shear center	i_ω	50.7	mm
Warping section modulus with respect to shear center	W_ω	1732.39	cm^4
Warping statical moment with respect to shear center	$\max S_\omega$	662.17	cm^4

Stability			
c/t ratio of flange	c/t_f	8.050	--
c/t ratio of web	c/t_w	21.700	--

Plasticity			
Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y}$	568.60	cm^3
Plastic section modulus about z-axis	$W_{pl,z}$	270.59	cm^3
Plastic warping section modulus with respect to shear center	$W_{pl,\omega}$	2648.69	cm^4
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y}$	1.104	--
Plastic shape factor about z-axis	$\alpha_{pl,z}$	1.523	--
Plastic shape factor with respect to shear center	$\alpha_{pl,\omega}$	1.500	--
Plastic shear area in y-direction	$A_{pl,y}$	48.40	cm^2
Plastic shear area in z-direction	$A_{pl,z}$	13.93	cm^2
Plastic limiting normal force	N_{pl}	1512.403	kN
Plastic limiting shear force in y-direction	$V_{pl,y}$	656.678	kN

HEA 220

- DIN 1025-3:1994-03; Euronorm 53-62
- --



[mm]

Plastic limiting shear force in z-direction	$V_{pl,z}$	188.998	kN
Plastic limiting bending moment about y-axis	$M_{pl,y}$	133.62	kNm
Plastic limiting bending moment about z-axis	$M_{pl,z}$	63.59	kNm

Other

Weight	G	50.5	kg/m
Surface area per unit length	A_m	1.255	m^2/m
Volume	V	6434.00	cm^3/m
Section factor	A_m/V	195.058	1/m
Web area	A_w	13.16	cm^2
Flange hole diameter	d_0	39.0	mm
Flange hole spacing	w	118.0	mm

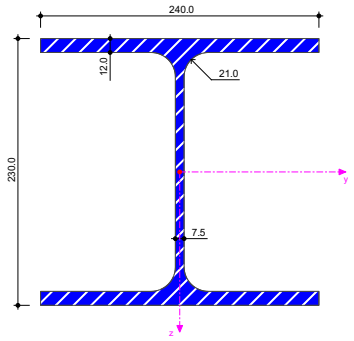
Cross-Section Properties

HEA 240

Geometry			
Depth	h	230.0	mm
Width	b	240.0	mm
Web thickness	t_w	7.5	mm
Flange thickness	t_f	12.0	mm
Inner depth between flanges	h_i	206.0	mm
Root fillet radius	r_1	21.0	mm
Depth of straight portion of web	d	164.0	mm
Sectional Area			
Sectional area	A	76.84	cm^2
Bending			
Area moment of inertia about y-axis	I_y	7763.00	cm^4
Area moment of inertia about z-axis	I_z	2769.00	cm^4
Polar area moment of inertia	I_p	10532.00	cm^4
Radius of gyration about y-axis	i_y	100.5	mm
Radius of gyration about z-axis	i_z	60.0	mm
Polar radius of gyration	i_p	117.1	mm
Statical moment of area about y-axis	max S_y	372.30	cm^3
Statical moment of area about z-axis	max S_z	86.80	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	W_y	675.10	cm^3
Elastic section modulus about z-axis	W_z	230.70	cm^3
Shear			
Shear area in y-direction	A_y	48.99	cm^2
Shear area in z-direction	A_z	16.19	cm^2
Torsion			
Torsional constant	I_t	41.03	cm^4
Secondary torsional constant	$I_{t,s}$	5475.54	cm^4
Section modulus for torsion	W_t	34.19	cm^3
Warping			
Warping ordinate with respect to shear center	max ω	130.80	cm^2
Warping constant with respect to shear center	I_ω	321640.00	cm^6
Warping radius of gyration with respect to shear center	i_ω	55.3	mm
Warping section modulus with respect to shear center	W_ω	2459.02	cm^4
Warping statical moment with respect to shear center	max S_ω	941.76	cm^4
Stability			
c/t ratio of flange	c/t_f	7.940	--
c/t ratio of web	c/t_w	21.900	--
Plasticity			
Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y}$	744.84	cm^3
Plastic section modulus about z-axis	$W_{pl,z}$	351.69	cm^3
Plastic warping section modulus with respect to shear center	$W_{pl,\omega}$	3767.04	cm^4
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y}$	1.103	--
Plastic shape factor about z-axis	$\alpha_{pl,z}$	1.524	--
Plastic shape factor with respect to shear center	$\alpha_{pl,\omega}$	1.500	--
Plastic shear area in y-direction	$A_{pl,y}$	57.60	cm^2
Plastic shear area in z-direction	$A_{pl,z}$	16.35	cm^2
Plastic limiting normal force	N_{pl}	1806.159	kN
Plastic limiting shear force in y-direction	$V_{pl,y}$	781.501	kN

HEA 240

- DIN 1025-3:1994-03; Euronorm 53-62
- --



[mm]

Plastic limiting shear force in z-direction	$V_{pl,z}$	221.832	kN
Plastic limiting bending moment about y-axis	$M_{pl,y}$	175.04	kNm
Plastic limiting bending moment about z-axis	$M_{pl,z}$	82.65	kNm

Other

Weight	G	60.3	kg/m
Surface area per unit length	A_m	1.369	m^2/m
Volume	V	7684.00	cm^3/m
Section factor	A_m/V	178.162	1/m
Web area	A_w	15.45	cm^2
Flange hole diameter	d_0	39.0	mm
Flange hole spacing	w	126.0	mm

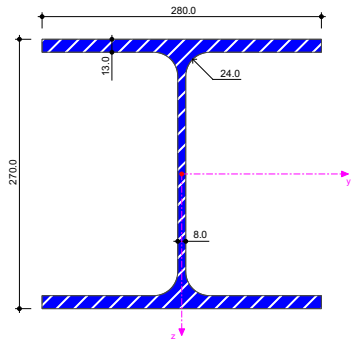
Cross-Section Properties

HEA 280

Geometry			
Depth	h	270.0	mm
Width	b	280.0	mm
Web thickness	t_w	8.0	mm
Flange thickness	t_f	13.0	mm
Inner depth between flanges	h_i	244.0	mm
Root fillet radius	r_1	24.0	mm
Depth of straight portion of web	d	196.0	mm
Sectional Area			
Sectional area	A	97.26	cm^2
Bending			
Area moment of inertia about y-axis	I_y	13673.00	cm^4
Area moment of inertia about z-axis	I_z	4763.00	cm^4
Polar area moment of inertia	I_p	18436.00	cm^4
Radius of gyration about y-axis	i_y	118.6	mm
Radius of gyration about z-axis	i_z	70.0	mm
Polar radius of gyration	i_p	137.7	mm
Statical moment of area about y-axis	max S_y	556.10	cm^3
Statical moment of area about z-axis	max S_z	128.00	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	W_y	1013.00	cm^3
Elastic section modulus about z-axis	W_z	340.20	cm^3
Shear			
Shear area in y-direction	A_y	62.12	cm^2
Shear area in z-direction	A_z	20.40	cm^2
Torsion			
Torsional constant	I_t	61.39	cm^4
Secondary torsional constant	$I_{t,s}$	9646.67	cm^4
Section modulus for torsion	W_t	47.22	cm^3
Warping			
Warping ordinate with respect to shear center	max ω	179.90	cm^2
Warping constant with respect to shear center	I_ω	770140.00	cm^6
Warping radius of gyration with respect to shear center	i_ω	64.6	mm
Warping section modulus with respect to shear center	W_ω	4280.93	cm^4
Warping statical moment with respect to shear center	max S_ω	1637.09	cm^4
Stability			
c/t ratio of flange	c/t_f	8.620	--
c/t ratio of web	c/t_w	24.500	--
Plasticity			
Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y}$	1112.55	cm^3
Plastic section modulus about z-axis	$W_{pl,z}$	518.13	cm^3
Plastic warping section modulus with respect to shear center	$W_{pl,\omega}$	6548.36	cm^4
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y}$	1.098	--
Plastic shape factor about z-axis	$\alpha_{pl,z}$	1.523	--
Plastic shape factor with respect to shear center	$\alpha_{pl,\omega}$	1.500	--
Plastic shear area in y-direction	$A_{pl,y}$	72.80	cm^2
Plastic shear area in z-direction	$A_{pl,z}$	20.56	cm^2
Plastic limiting normal force	N_{pl}	2286.397	kN
Plastic limiting shear force in y-direction	$V_{pl,y}$	987.731	kN

HEA 280

- DIN 1025-3:1994-03; Euronorm 53-62
- --



[mm]

Plastic limiting shear force in z-direction	$V_{pl,z}$	278.953	kN
Plastic limiting bending moment about y-axis	$M_{pl,y}$	261.45	kNm
Plastic limiting bending moment about z-axis	$M_{pl,z}$	121.77	kNm

Other

Weight	G	76.3	kg/m
Surface area per unit length	A_m	1.603	m^2/m
Volume	V	9726.00	cm^3/m
Section factor	A_m/V	164.816	1/m
Web area	A_w	19.52	cm^2
Flange hole diameter	d_0	39.0	mm
Flange hole spacing	w	138.0	mm

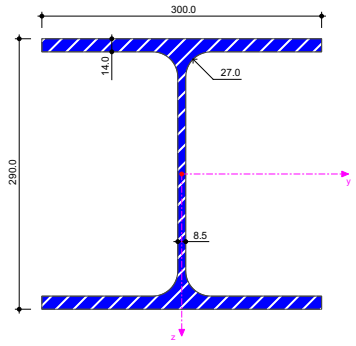
Cross-Section Properties

HEA 300

Geometry			
Depth	h	290.0	mm
Width	b	300.0	mm
Web thickness	t_w	8.5	mm
Flange thickness	t_f	14.0	mm
Inner depth between flanges	h_i	262.0	mm
Root fillet radius	r_1	27.0	mm
Depth of straight portion of web	d	208.0	mm
Sectional Area			
Sectional area	A	112.50	cm^2
Bending			
Area moment of inertia about y-axis	I_y	18263.00	cm^4
Area moment of inertia about z-axis	I_z	6310.00	cm^4
Polar area moment of inertia	I_p	24573.00	cm^4
Radius of gyration about y-axis	i_y	127.4	mm
Radius of gyration about z-axis	i_z	74.9	mm
Polar radius of gyration	i_p	147.8	mm
Statical moment of area about y-axis	max S_y	691.60	cm^3
Statical moment of area about z-axis	max S_z	158.35	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	W_y	1260.00	cm^3
Elastic section modulus about z-axis	W_z	420.60	cm^3
Shear			
Shear area in y-direction	A_y	71.96	cm^2
Shear area in z-direction	A_z	23.44	cm^2
Torsion			
Torsional constant	I_t	84.24	cm^4
Secondary torsional constant	$I_{t,s}$	12797.91	cm^4
Section modulus for torsion	W_t	60.17	cm^3
Warping			
Warping ordinate with respect to shear center	max ω	207.00	cm^2
Warping constant with respect to shear center	I_ω	1174700.00	cm^6
Warping radius of gyration with respect to shear center	i_ω	69.1	mm
Warping section modulus with respect to shear center	W_ω	5674.88	cm^4
Warping statical moment with respect to shear center	max S_ω	2173.50	cm^4
Stability			
c/t ratio of flange	c/t_f	8.480	--
c/t ratio of web	c/t_w	24.500	--
Plasticity			
Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y}$	1383.72	cm^3
Plastic section modulus about z-axis	$W_{pl,z}$	641.17	cm^3
Plastic warping section modulus with respect to shear center	$W_{pl,\omega}$	8694.00	cm^4
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y}$	1.098	--
Plastic shape factor about z-axis	$\alpha_{pl,z}$	1.524	--
Plastic shape factor with respect to shear center	$\alpha_{pl,\omega}$	1.500	--
Plastic shear area in y-direction	$A_{pl,y}$	84.00	cm^2
Plastic shear area in z-direction	$A_{pl,z}$	23.46	cm^2
Plastic limiting normal force	N_{pl}	2645.267	kN
Plastic limiting shear force in y-direction	$V_{pl,y}$	1139.689	kN

HEA 300

- DIN 1025-3:1994-03; Euronorm 53-62
- --



[mm]

Plastic limiting shear force in z-direction	$V_{pl,z}$	318.299	kN
Plastic limiting bending moment about y-axis	$M_{pl,y}$	325.17	kNm
Plastic limiting bending moment about z-axis	$M_{pl,z}$	150.69	kNm

Other

Weight	G	88.3	kg/m
Surface area per unit length	A_m	1.717	m^2/m
Volume	V	11250.00	cm^3/m
Section factor	A_m/V	152.622	1/m
Web area	A_w	22.27	cm^2
Flange hole diameter	d_0	39.0	mm
Flange hole spacing	w	144.0	mm

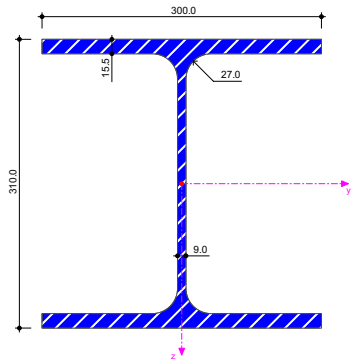
Cross-Section Properties

HEA 320

Geometry			
Depth	h	310.0	mm
Width	b	300.0	mm
Web thickness	t_w	9.0	mm
Flange thickness	t_f	15.5	mm
Inner depth between flanges	h_i	279.0	mm
Root fillet radius	r_1	27.0	mm
Depth of straight portion of web	d	225.0	mm
Sectional Area			
Sectional area	A	124.40	cm^2
Bending			
Area moment of inertia about y-axis	I_y	22929.00	cm^4
Area moment of inertia about z-axis	I_z	6985.00	cm^4
Polar area moment of inertia	I_p	29914.00	cm^4
Radius of gyration about y-axis	i_y	135.8	mm
Radius of gyration about z-axis	i_z	74.9	mm
Polar radius of gyration	i_p	155.1	mm
Statical moment of area about y-axis	max S_y	814.00	cm^3
Statical moment of area about z-axis	max S_z	175.19	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	W_y	1479.00	cm^3
Elastic section modulus about z-axis	W_z	465.70	cm^3
Shear			
Shear area in y-direction	A_y	78.96	cm^2
Shear area in z-direction	A_z	26.57	cm^2
Torsion			
Torsional constant	I_t	108.80	cm^4
Secondary torsional constant	$I_{t,s}$	16172.50	cm^4
Section modulus for torsion	W_t	70.19	cm^3
Warping			
Warping ordinate with respect to shear center	max ω	220.87	cm^2
Warping constant with respect to shear center	I_ω	1482600.00	cm^6
Warping radius of gyration with respect to shear center	i_ω	70.4	mm
Warping section modulus with respect to shear center	W_ω	6712.39	cm^4
Warping statical moment with respect to shear center	max S_ω	2567.67	cm^4
Stability			
c/t ratio of flange	c/t_f	7.650	--
c/t ratio of web	c/t_w	25.000	--
Plasticity			
Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y}$	1628.57	cm^3
Plastic section modulus about z-axis	$W_{pl,z}$	709.74	cm^3
Plastic warping section modulus with respect to shear center	$W_{pl,\omega}$	10270.69	cm^4
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y}$	1.101	--
Plastic shape factor about z-axis	$\alpha_{pl,z}$	1.524	--
Plastic shape factor with respect to shear center	$\alpha_{pl,\omega}$	1.500	--
Plastic shear area in y-direction	$A_{pl,y}$	93.00	cm^2
Plastic shear area in z-direction	$A_{pl,z}$	26.51	cm^2
Plastic limiting normal force	N_{pl}	2923.507	kN
Plastic limiting shear force in y-direction	$V_{pl,y}$	1261.799	kN

HEA 320

- DIN 1025-3:1994-03; Euronorm 53-62
- --



[mm]

Plastic limiting shear force in z-direction	$V_{pl,z}$	359.613	kN
Plastic limiting bending moment about y-axis	$M_{pl,y}$	382.71	kNm
Plastic limiting bending moment about z-axis	$M_{pl,z}$	166.80	kNm

Other

Weight	G	97.7	kg/m
Surface area per unit length	A_m	1.756	m^2/m
Volume	V	12440.00	cm^3/m
Section factor	A_m/V	141.158	1/m
Web area	A_w	25.11	cm^2
Flange hole diameter	d_0	39.0	mm
Flange hole spacing	w	150.0	mm

Cross-Section Properties

IPE 550

Geometry

Depth	h	550.0	mm
Width	b	210.0	mm
Web thickness	t_w	11.1	mm
Flange thickness	t_f	17.2	mm
Inner depth between flanges	h_i	515.6	mm
Root fillet radius	r_1	24.0	mm
Depth of straight portion of web	d	467.6	mm

Sectional Area

Sectional area	A	134.40	cm^2

Bending

Area moment of inertia about y-axis	I_y	67116.00	cm^4
Area moment of inertia about z-axis	I_z	2668.00	cm^4
Polar area moment of inertia	I_p	69784.00	cm^4
Radius of gyration about y-axis	i_y	223.5	mm
Radius of gyration about z-axis	i_z	44.5	mm
Polar radius of gyration	i_p	227.9	mm
Statical moment of area about y-axis	$\max S_y$	1394.00	cm^3
Statical moment of area about z-axis	$\max S_z$	95.39	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	W_y	2441.00	cm^3
Elastic section modulus about z-axis	W_z	254.10	cm^3

Shear

Shear area in y-direction	A_y	59.68	cm^2
Shear area in z-direction	A_z	58.79	cm^2

Torsion

Torsional constant	I_t	121.70	cm^4
Secondary torsional constant	$I_{t,s}$	41758.29	cm^4
Section modulus for torsion	W_t	70.76	cm^3

Warping

Warping ordinate with respect to shear center	$\max \omega$	279.72	cm^2
Warping constant with respect to shear center	I_ω	1861500.00	cm^6
Warping radius of gyration with respect to shear center	i_ω	51.6	mm
Warping section modulus with respect to shear center	W_ω	6654.87	cm^4
Warping statical moment with respect to shear center	$\max S_\omega$	2525.87	cm^4

Stability

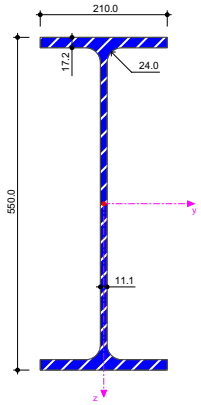
c/t ratio of flange	c/t_f	4.390	--
c/t ratio of web	c/t_w	42.100	--

Plasticity

Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y}$	2787.73	cm^3
Plastic section modulus about z-axis	$W_{pl,z}$	400.54	cm^3
Plastic warping section modulus with respect to shear center	$W_{pl,\omega}$	10103.49	cm^4
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y}$	1.142	--
Plastic shape factor about z-axis	$\alpha_{pl,z}$	1.576	--
Plastic shape factor with respect to shear center	$\alpha_{pl,\omega}$	1.500	--
Plastic shear area in y-direction	$A_{pl,y}$	72.24	cm^2
Plastic shear area in z-direction	$A_{pl,z}$	59.14	cm^2
Plastic limiting normal force	N_{pl}	3159.459	kN
Plastic limiting shear force in y-direction	$V_{pl,y}$	980.133	kN

IPE 550

- DIN 1025-5:1994-03; Euronorm 19-57
- --



[mm]

Plastic limiting shear force in z-direction	$V_{pl,z}$	802.406	kN
Plastic limiting bending moment about y-axis	$M_{pl,y}$	655.12	kNm
Plastic limiting bending moment about z-axis	$M_{pl,z}$	94.14	kNm

Other

Weight	G	105.5	kg/m
Surface area per unit length	A_m	1.877	m^2/m
Volume	V	13440.00	cm^3/m
Section factor	A_m/V	139.658	1/m
Web area	A_w	57.23	cm^2
Flange hole diameter	d_0	33.0	mm
Flange hole spacing	w	124.0	mm

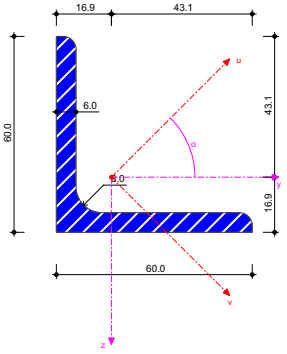
Cross-Section Properties

L 60x60x6

Geometry			
Depth	h	60.0	mm
Thickness	t	6.0	mm
Root fillet radius	r_1	8.0	mm
Toe radius	r_2	4.0	mm
Toe radius	r_3	0.0	mm
Toe radius	r_4	0.0	mm
Sectional Area			
Sectional area	A	6.91	cm^2
Bending			
Location of centroidal axis in y-direction	e_y	16.9	mm
Location of centroidal axis in z-direction	e_z	43.1	mm
Area moment of inertia about y-axis	I_y	22.79	cm^4
Product of inertia about y,z-axes	I_{yz}	13.41	cm^4
Area moment of inertia about u-axis	I_u	36.20	cm^4
Area moment of inertia about v-axis	I_v	9.38	cm^4
Polar area moment of inertia	I_p	45.58	cm^4
Polar area moment of inertia with respect to shear center	$I_{p,SC}$	72.17	cm^4
Inclination of principal axes	α	-45.00	deg
Radius of gyration about y-axis	i_y	18.2	mm
Radius of gyration about y,z-axes	i_{yz}	13.9	mm
Radius of gyration about u-axis	i_u	22.9	mm
Radius of gyration about v-axis	i_v	11.7	mm
Polar radius of gyration	i_p	25.7	mm
Polar radius of gyration with respect to shear center	$i_{p,SC}$	32.3	mm
Statical moment of area about y-axis	max S_y	5.37	cm^3
Statical moment of area about u-axis	max S_u	6.77	cm^3
Statical moment of area about v-axis	max S_v	1.69	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	$W_{y,min}$	-4.26	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	$W_{y,max}$	5.56	cm^3
Elastic section modulus about v-axis	$W_{v,min}$	-3.93	cm^3
Elastic section modulus about v-axis	$W_{v,max}$	4.44	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	W_y	4.26	cm^3
Elastic section modulus about u-axis	W_u	8.53	cm^3
Elastic section modulus about v-axis	W_v	3.93	cm^3
Elastic section modulus about y-axis (catalogue value)	$W_{y,cat}$	5.29	cm^3
Shear			
Shear area in y-direction	A_y	2.15	cm^2
Shear area in u-direction	A_u	3.12	cm^2
Shear area in v-direction	A_v	2.89	cm^2
Shear center coordinate with respect to centroid in y-direction	y_{SC}	-13.9	mm
Torsion			
Torsional constant	I_t	0.81	cm^4
Section modulus for torsion	W_t	1.35	cm^3
Stability			
Section asymmetry parameter with respect to centroid	r_v	43.2	mm
Section asymmetry parameter with respect to shear center	$r_{u,SC}$	82.5	mm
Plasticity			
Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y}$	9.66	cm^3

L 60x60x6

- EN 10056-1:2017
- ArcelorMittal (2018)



[mm]

Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y,pure}$	8.07	cm^3
Plastic section modulus about u-axis	$W_{pl,u}$	13.80	cm^3
Plastic section modulus about v-axis	$W_{pl,v}$	6.96	cm^3
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y}$	2.271	--
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y,pure}$	1.897	--
Plastic shape factor about u-axis	$\alpha_{pl,u}$	1.617	--
Plastic shape factor about v-axis	$\alpha_{pl,v}$	1.770	--
Plastic shear area in y-direction	$A_{pl,y}$	3.42	cm^2
Plastic shear area in u-direction	$A_{pl,u}$	4.84	cm^2
Plastic limiting normal force	N_{pl}	162.363	kN
Plastic limiting shear force in y-direction	$V_{pl,y}$	46.402	kN
Plastic limiting shear force in u-direction	$V_{pl,u}$	65.622	kN
Plastic limiting bending moment about y-axis	$M_{pl,y}$	2.27	kNm
Plastic limiting bending moment about u-axis	$M_{pl,u}$	3.19	kNm
Plastic limiting bending moment about v-axis	$M_{pl,v}$	1.64	kNm
Plastic limiting normal force	N_u	162.363	kN
Distance from centroid to plastic neutral axis in y-direction	y_{pl}	-11.1	mm
Distance from centroid to plastic neutral axis in z-direction	z_{pl}	11.1	mm
Distance from centroid to plastic neutral axis in u-direction	u_{pl}	-0.1	mm
Distance from centroid to plastic neutral axis in v-direction	v_{pl}	0.0	mm

Other

Weight	G	5.4	kg/m
Surface area per unit length	A_m	0.233	m^2/m
Volume	V	691.00	cm^3/m
Section factor	A_m/V	337.192	1/m

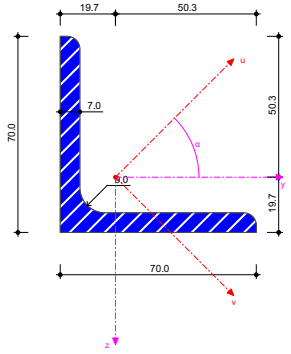
Cross-Section Properties

L 70x70x7

Geometry			
Depth	h	70.0	mm
Thickness	t	7.0	mm
Root fillet radius	r_1	9.0	mm
Toe radius	r_2	4.5	mm
Toe radius	r_3	0.0	mm
Toe radius	r_4	0.0	mm
Sectional Area			
Sectional area	A	9.40	cm^2
Bending			
Location of centroidal axis in y-direction	e_y	19.7	mm
Location of centroidal axis in z-direction	e_z	50.3	mm
Area moment of inertia about y-axis	I_y	42.30	cm^4
Product of inertia about y,z-axes	I_{yz}	24.89	cm^4
Area moment of inertia about u-axis	I_u	67.19	cm^4
Area moment of inertia about v-axis	I_v	17.41	cm^4
Polar area moment of inertia	I_p	84.60	cm^4
Polar area moment of inertia with respect to shear center	$I_{p,SC}$	133.98	cm^4
Inclination of principal axes	α	-45.00	deg
Radius of gyration about y-axis	i_y	21.2	mm
Radius of gyration about y,z-axes	i_{yz}	16.3	mm
Radius of gyration about u-axis	i_u	26.7	mm
Radius of gyration about v-axis	i_v	13.6	mm
Polar radius of gyration	i_p	30.0	mm
Polar radius of gyration with respect to shear center	$i_{p,SC}$	37.8	mm
Statical moment of area about y-axis	$\max S_y$	8.54	cm^3
Statical moment of area about u-axis	$\max S_u$	10.77	cm^3
Statical moment of area about v-axis	$\max S_v$	2.68	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	$W_{y,min}$	-6.77	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	$W_{y,max}$	8.83	cm^3
Elastic section modulus about v-axis	$W_{v,min}$	-6.25	cm^3
Elastic section modulus about v-axis	$W_{v,max}$	7.05	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	W_y	6.77	cm^3
Elastic section modulus about u-axis	W_u	13.57	cm^3
Elastic section modulus about v-axis	W_v	6.25	cm^3
Elastic section modulus about y-axis (catalogue value)	$W_{y,cat}$	8.41	cm^3
Shear			
Shear area in y-direction	A_y	2.93	cm^2
Shear area in u-direction	A_u	4.26	cm^2
Shear area in v-direction	A_v	3.92	cm^2
Shear center coordinate with respect to centroid in y-direction	y_{SC}	-16.2	mm
Shear center coordinate with respect to centroid in z-direction	z_{SC}	16.2	mm
Torsion			
Torsional constant	I_t	1.50	cm^4
Section modulus for torsion	W_t	2.14	cm^3
Stability			
Section asymmetry parameter with respect to centroid	r_v	50.1	mm
Section asymmetry parameter with respect to shear center	$r_{u,SC}$	95.9	mm
Plasticity			

L 70x70x7

- EN 10056-1:1998; DIN 1028:1994-03; ČSN 42 5541
- ArcelorMittal



[mm]

Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y}$	15.36	cm^3
Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y,pure}$	12.82	cm^3
Plastic section modulus about u-axis	$W_{pl,u}$	21.91	cm^3
Plastic section modulus about v-axis	$W_{pl,v}$	11.05	cm^3
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y}$	2.271	--
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y,pure}$	1.895	--
Plastic shape factor about u-axis	$\alpha_{pl,u}$	1.614	--
Plastic shape factor about v-axis	$\alpha_{pl,v}$	1.769	--
Plastic shear area in y-direction	$A_{pl,y}$	4.65	cm^2
Plastic shear area in u-direction	$A_{pl,u}$	6.58	cm^2
Plastic limiting normal force	N_{pl}	220.839	kN
Plastic limiting shear force in y-direction	$V_{pl,y}$	63.158	kN
Plastic limiting shear force in u-direction	$V_{pl,u}$	89.319	kN
Plastic limiting bending moment about y-axis	$M_{pl,y}$	3.61	kNm
Plastic limiting bending moment about u-axis	$M_{pl,u}$	5.06	kNm
Plastic limiting bending moment about v-axis	$M_{pl,v}$	2.61	kNm
Plastic limiting normal force	N_u	220.839	kN
Distance from centroid to plastic neutral axis in y-direction	y_{pl}	-12.9	mm
Distance from centroid to plastic neutral axis in z-direction	z_{pl}	12.9	mm
Distance from centroid to plastic neutral axis in u-direction	u_{pl}	-0.1	mm
Distance from centroid to plastic neutral axis in v-direction	v_{pl}	0.0	mm

Other

Weight	G	7.4	kg/m
Surface area per unit length	A_m	0.272	m^2/m
Volume	V	940.00	cm^3/m
Section factor	A_m/V	289.362	1/m

Cross-Section Properties

L 80x80x8

Geometry

Depth	h	80.0	mm
Thickness	t	8.0	mm
Root fillet radius	r_1	10.0	mm
Toe radius	r_2	5.0	mm

Sectional Area

Sectional area	A	12.30	cm^2

Bending

Location of centroidal axis in y-direction	e_y	22.5	mm
Location of centroidal axis in z-direction	e_z	57.5	mm
Area moment of inertia about y-axis	I_y	72.20	cm^4
Product of inertia about y,z-axes	I_{yz}	42.12	cm^4
Area moment of inertia about u-axis	I_u	115.00	cm^4
Area moment of inertia about v-axis	I_v	29.90	cm^4
Polar area moment of inertia	I_p	144.90	cm^4
Polar area moment of inertia with respect to shear center	$I_{p,SC}$	228.89	cm^4
Inclination of principal axes	α	-45.00	deg
Radius of gyration about y-axis	i_y	24.3	mm
Radius of gyration about y,z-axes	i_{yz}	18.5	mm
Radius of gyration about u-axis	i_u	30.6	mm
Radius of gyration about v-axis	i_v	15.6	mm
Polar radius of gyration	i_p	34.4	mm
Polar radius of gyration with respect to shear center	$i_{p,SC}$	43.1	mm
Statical moment of area about y-axis	$\max S_y$	12.75	cm^3
Statical moment of area about u-axis	$\max S_u$	16.09	cm^3
Statical moment of area about v-axis	$\max S_v$	3.99	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	$W_{y,min}$	-10.17	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	$W_{y,max}$	13.34	cm^3
Elastic section modulus about v-axis	$W_{v,min}$	-9.37	cm^3
Elastic section modulus about v-axis	$W_{v,max}$	9.86	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	W_y	10.17	cm^3
Elastic section modulus about u-axis	W_u	20.30	cm^3
Elastic section modulus about v-axis	W_v	9.37	cm^3
Elastic section modulus about y-axis (catalogue value)	$W_{y,cat}$	12.60	cm^3

Shear

Shear area in y-direction	A_y	3.81	cm^2
Shear area in u-direction	A_u	5.64	cm^2
Shear area in v-direction	A_v	5.14	cm^2
Shear center coordinate with respect to centroid in y-direction	y_{SC}	-18.5	mm
Shear center coordinate with respect to centroid in z-direction	z_{SC}	18.5	mm

Torsion

Torsional constant	I_t	2.91	cm^4
Section modulus for torsion	W_t	3.64	cm^3

Stability

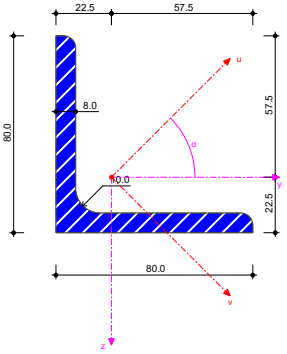
Section asymmetry parameter with respect to centroid	r_v	57.0	mm
Section asymmetry parameter with respect to shear center	$r_{u,SC}$	109.6	mm

Plasticity

Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y}$	22.95	cm^3
Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y,pure}$	19.14	cm^3
Plastic section modulus about u-axis	$W_{pl,u}$	32.70	cm^3

L 80x80x8

- EN 10056
- Macsteel



[mm]

Plastic section modulus about v-axis	$W_{pl,v}$	16.49	cm^3
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y}$	2.257	--
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y,pure}$	1.882	--
Plastic shape factor about u-axis	$\alpha_{pl,u}$	1.611	--
Plastic shape factor about v-axis	$\alpha_{pl,v}$	1.760	--
Plastic shear area in y-direction	$A_{pl,y}$	6.08	cm^2
Plastic shear area in u-direction	$A_{pl,u}$	8.60	cm^2
Plastic limiting normal force	N_{pl}	288.296	kN
Plastic limiting shear force in y-direction	$V_{pl,y}$	82.492	kN
Plastic limiting shear force in u-direction	$V_{pl,u}$	116.661	kN
Plastic limiting bending moment about y-axis	$M_{pl,y}$	5.39	kNm
Plastic limiting bending moment about u-axis	$M_{pl,u}$	7.57	kNm
Plastic limiting bending moment about v-axis	$M_{pl,v}$	3.89	kNm
Plastic limiting normal force	N_u	288.296	kN
Distance from centroid to plastic neutral axis in y-direction	y_{pl}	-14.8	mm
Distance from centroid to plastic neutral axis in z-direction	z_{pl}	14.8	mm
Distance from centroid to plastic neutral axis in u-direction	u_{pl}	-0.1	mm
Distance from centroid to plastic neutral axis in v-direction	v_{pl}	0.0	mm

Other

Weight	G	9.7	kg/m
Surface area per unit length	A_m	0.311	m^2/m
Volume	V	1230.00	cm^3/m
Section factor	A_m/V	253.184	1/m

Cross-Section Properties

L 90x90x8

Geometry

Depth	h	90.0	mm
Thickness	t	8.0	mm
Root fillet radius	r_1	11.0	mm
Toe radius	r_2	5.5	mm

Sectional Area

Sectional area	A	13.90	cm^2

Bending

Location of centroidal axis in y-direction	e_y	25.0	mm
Location of centroidal axis in z-direction	e_z	65.0	mm
Area moment of inertia about y-axis	I_y	104.00	cm^4
Product of inertia about y,z-axes	I_{yz}	60.51	cm^4
Area moment of inertia about u-axis	I_u	166.00	cm^4
Area moment of inertia about v-axis	I_v	43.10	cm^4
Polar area moment of inertia	I_p	209.10	cm^4
Polar area moment of inertia with respect to shear center	$I_{p,SC}$	330.81	cm^4
Inclination of principal axes	α	-45.00	deg
Radius of gyration about y-axis	i_y	27.4	mm
Radius of gyration about y,z-axes	i_{yz}	20.9	mm
Radius of gyration about u-axis	i_u	34.5	mm
Radius of gyration about v-axis	i_v	17.6	mm
Polar radius of gyration	i_p	38.7	mm
Polar radius of gyration with respect to shear center	$i_{p,SC}$	48.8	mm
Statical moment of area about y-axis	$\max S_y$	16.35	cm^3
Statical moment of area about u-axis	$\max S_u$	20.58	cm^3
Statical moment of area about v-axis	$\max S_v$	5.13	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	$W_{y,min}$	-13.02	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	$W_{y,max}$	17.42	cm^3
Elastic section modulus about v-axis	$W_{v,min}$	-12.20	cm^3
Elastic section modulus about v-axis	$W_{v,max}$	12.68	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	W_y	13.02	cm^3
Elastic section modulus about u-axis	W_u	26.00	cm^3
Elastic section modulus about v-axis	W_v	12.20	cm^3
Elastic section modulus about y-axis (catalogue value)	$W_{y,cat}$	16.10	cm^3

Shear

Shear area in y-direction	A_y	4.30	cm^2
Shear area in u-direction	A_u	6.26	cm^2
Shear area in v-direction	A_v	5.82	cm^2
Shear center coordinate with respect to centroid in y-direction	y_{SC}	-21.0	mm
Shear center coordinate with respect to centroid in z-direction	z_{SC}	21.0	mm

Torsion

Torsional constant	I_t	3.33	cm^4
Section modulus for torsion	W_t	4.16	cm^3

Stability

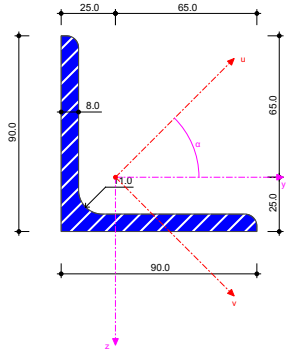
Section asymmetry parameter with respect to centroid	r_v	65.0	mm
Section asymmetry parameter with respect to shear center	$r_{u,SC}$	124.4	mm

Plasticity

Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y}$	29.30	cm^3
Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y,pure}$	24.51	cm^3
Plastic section modulus about u-axis	$W_{pl,u}$	41.87	cm^3

L 90x90x8

- EN 10056
- Macsteel



[mm]

Plastic section modulus about v-axis	$W_{pl,v}$	21.07	cm^3
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y}$	2.250	--
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y,pure}$	1.882	--
Plastic shape factor about u-axis	$\alpha_{pl,u}$	1.610	--
Plastic shape factor about v-axis	$\alpha_{pl,v}$	1.727	--
Plastic shear area in y-direction	$A_{pl,y}$	6.88	cm^2
Plastic shear area in u-direction	$A_{pl,u}$	9.73	cm^2
Plastic limiting normal force	N_{pl}	326.429	kN
Plastic limiting shear force in y-direction	$V_{pl,y}$	93.346	kN
Plastic limiting shear force in u-direction	$V_{pl,u}$	132.011	kN
Plastic limiting bending moment about y-axis	$M_{pl,y}$	6.89	kNm
Plastic limiting bending moment about u-axis	$M_{pl,u}$	9.67	kNm
Plastic limiting bending moment about v-axis	$M_{pl,v}$	4.98	kNm
Plastic limiting normal force	N_u	326.429	kN
Distance from centroid to plastic neutral axis in y-direction	y_{pl}	-17.2	mm
Distance from centroid to plastic neutral axis in z-direction	z_{pl}	17.2	mm
Distance from centroid to plastic neutral axis in u-direction	u_{pl}	-0.1	mm
Distance from centroid to plastic neutral axis in v-direction	v_{pl}	0.0	mm

Other

Weight	G	10.9	kg/m
Surface area per unit length	A_m	0.351	m^2/m
Volume	V	1390.00	cm^3/m
Section factor	A_m/V	252.200	1/m

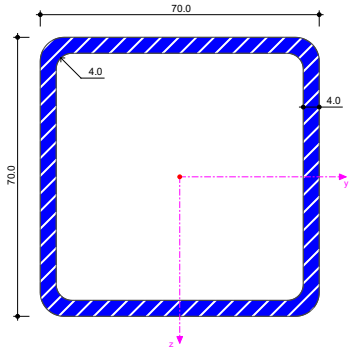
Cross-Section Properties

SHS 70x70x4

Geometry			
Depth	h	70.0	mm
Thickness	t	4.0	mm
Outer corner radius	r_o	6.0	mm
Inner corner radius	r_i	4.0	mm
Depth of straight portion of web	d	54.0	mm
Sectional Area			
Sectional area	A	10.40	cm^2
Bending			
Area moment of inertia about y-axis	I_y	74.70	cm^4
Polar area moment of inertia	I_p	149.40	cm^4
Radius of gyration about y-axis	i_y	26.8	mm
Polar radius of gyration	i_p	37.9	mm
Statical moment of area about y-axis	max S_y	6.28	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	W_y	21.30	cm^3
Shear			
Shear area in y-direction	A_y	4.58	cm^2
Torsion			
Torsional constant	I_t	118.00	cm^4
Torsional constant (St. Venant)	$I_{t,StVen}$	0.50	cm^4
Torsional constant (Bredt)	$I_{t,Bredt}$	117.50	cm^4
Secondary torsional constant	$I_{t,s}$	0.23	cm^4
Section modulus for torsion	W_t	31.20	cm^3
Warping			
Warping ordinate with respect to shear center	max ω	0.22	cm^2
Warping constant with respect to shear center	I_ω	0.18	cm^6
Warping radius of gyration with respect to shear center	i_ω	0.3	mm
Warping section modulus with respect to shear center	W_ω	0.81	cm^4
Warping statical moment with respect to shear center	max S_ω	0.10	cm^4
Plasticity			
Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y}$	25.50	cm^3
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y}$	1.197	--
Plastic shear area in y-direction	$A_{pl,y}$	5.28	cm^2
Plastic limiting normal force	N_{pl}	244.102	kN
Plastic limiting shear force in y-direction	$V_{pl,y}$	71.638	kN
Plastic limiting bending moment about y-axis	$M_{pl,y}$	6.00	kNm
Other			
Weight	G	8.2	kg/m
Surface area per unit length	A_m	0.270	m^2/m
Volume	V	1040.00	cm^3/m
Section factor	A_m/V	259.615	1/m
Cell area	A_{cell}	43.42	cm^2

SHS 70x70x4

- EN 10210-2
- ALUKÖNIGSTAHL



[mm]

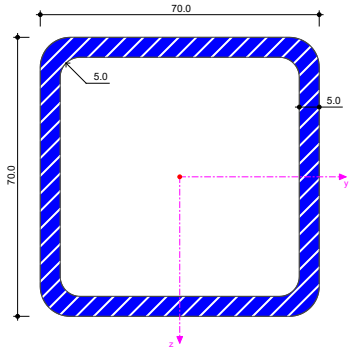
Cross-Section Properties

SHS 70x70x5

Geometry			
Depth	h	70.0	mm
Thickness	t	5.0	mm
Outer corner radius	r_o	7.5	mm
Inner corner radius	r_i	5.0	mm
Depth of straight portion of web	d	50.0	mm
Sectional Area			
Sectional area	A	12.70	cm^2
Bending			
Area moment of inertia about y-axis	I_y	88.50	cm^4
Polar area moment of inertia	I_p	177.00	cm^4
Radius of gyration about y-axis	i_y	26.4	mm
Polar radius of gyration	i_p	37.3	mm
Statical moment of area about y-axis	max S_y	7.53	cm^3
Elastic section modulus about y-axis	W_y	25.30	cm^3
Shear			
Shear area in y-direction	A_y	5.69	cm^2
Torsion			
Torsional constant	I_t	142.00	cm^4
Torsional constant (St. Venant)	$I_{t,StVen}$	0.92	cm^4
Torsional constant (Bredt)	$I_{t,Bredt}$	141.08	cm^4
Secondary torsional constant	$I_{t,s}$	0.39	cm^4
Section modulus for torsion	W_t	36.80	cm^3
Warping			
Warping ordinate with respect to shear center	max ω	0.26	cm^2
Warping constant with respect to shear center	I_ω	0.30	cm^6
Warping radius of gyration with respect to shear center	i_ω	0.4	mm
Warping section modulus with respect to shear center	W_ω	1.15	cm^4
Warping statical moment with respect to shear center	max S_ω	0.13	cm^4
Plasticity			
Plastic section modulus about y-axis	$W_{pl,y}$	30.80	cm^3
Plastic shape factor about y-axis	$\alpha_{pl,y}$	1.217	--
Plastic shear area in y-direction	$A_{pl,y}$	6.50	cm^2
Plastic limiting normal force	N_{pl}	299.159	kN
Plastic limiting shear force in y-direction	$V_{pl,y}$	88.190	kN
Plastic limiting bending moment about y-axis	$M_{pl,y}$	7.23	kNm
Other			
Weight	G	10.0	kg/m
Surface area per unit length	A_m	0.270	m^2/m
Volume	V	1270.00	cm^3/m
Section factor	A_m/V	212.598	1/m
Cell area	A_{cell}	42.04	cm^2

SHS 70x70x5

- EN 10210-2
- ALUKÖNIGSTAHL



[mm]

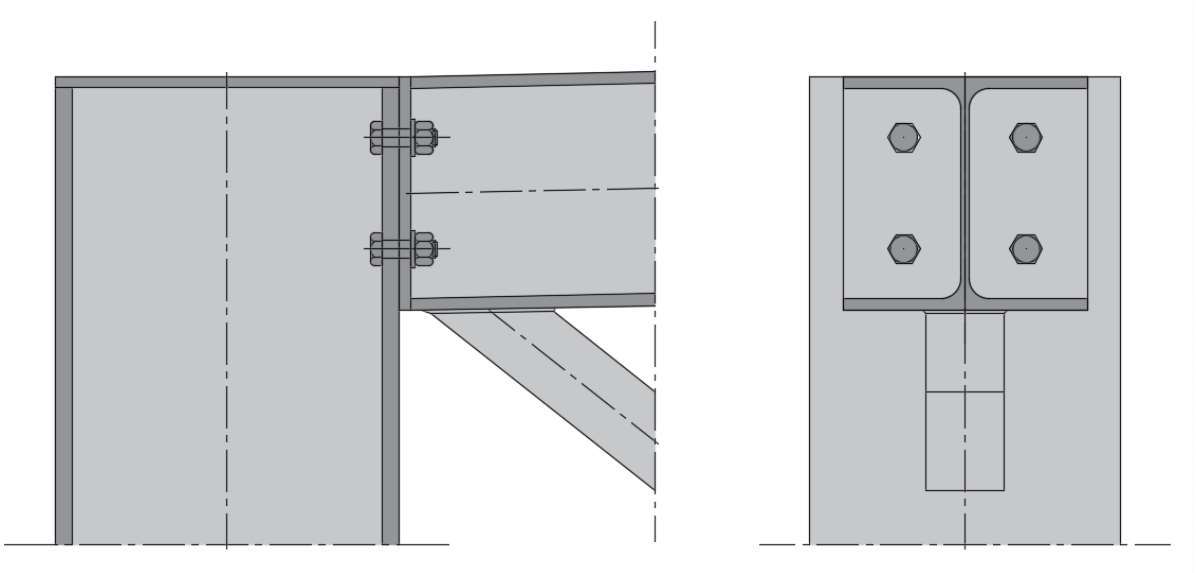
Bijlage X: Bout- en lasverbindingen

X.1 Boutverbinding vakwerkligger-kolom

In een uiterste grenstoestand met sneeuw zorgt de vakwerkligger voor een maximale drukkracht van 166,2 kN aan de bovenkant van de kolom. Dat betekent dat de boutverbinding in staat moet zijn om een afschuifkracht van 166,2 kN op te vangen. Er wordt aangenomen dat de kolom een HEA 280 (S235) is, omdat dit profiel een kleinere flensdikte heeft dan een HEA 320 (S355) en uit een lagere staalkwaliteit bestaat. De verbinding die hieruit volgt kan ook worden toegepast bij HEA 320 (S335) kolommen.

X.1.1 Afschuiving bouten

Er zijn in totaal vier M16 bouten met elk één afschuifvlak met per schuifvlak een belasting $F_{v,Ed} = N_{Ed}/(2 \cdot 1) = 166{,}2/4 = 41{,}56\ kN$. Het afschuifvlak gaat door de draad. Voor een bout in klasse 8.8 geldt dan $\alpha_v = 0{,}6$. Bij een schuifvlak door de draag wordt de spanningsdoorsnede A_s gebruikt: $A = A_s = 157\ mm^2$. De boutverbinding zoals hier bedoelt is te zien in onderstaande figuur 96.



Figuur 96: Scharnierende boutverbinding in schematische weergave. De tekening is gemaakt in AutoCAD 2022.

Voor de afschuifweerstand van een bout per afschuifvlak geldt formule:

$$F_{v,Rd} = \frac{\alpha_v \cdot f_{ub} \cdot A}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_v factor, afhankelijk van de ligging van het afschuifvlak:
- door de draad: α_v = 0,6 voor boutklasse 4.6, 5.6 en 8.8;
  α_v = 0,5 voor boutklasse 6.8 en 10.9;
- door de schacht: α_v = 0,6;

f_{ub} treksterkte van het boutmateriaal; [800 N/mm^2]

A oppervlakte van de boutdoorsnede, afhankelijk de ligging van het afschuifvlak:
door de draad: $A = A_s$; [157 mm^2]
door de schacht: $A = \pi d^2/4$;

A_s spanningsdoorsnede van de bout, gegeven in een tabellenboek, gedefinieerd als het (gewogen) gemiddelde tussen de volle schachtdoorsnede en de kerndoorsnede ter plaatse van de schroefdraad;

d nominale boutdiameter; [16 mm]

γ_{M2} partiële veiligheidsfactor voor de weerstand van bouten; [$\gamma_{M2} = 1{,}25$]

Invullen geeft:

$$F_{v,Rd} = \frac{0{,}6 \cdot 800 \cdot 157}{1{,}25} = 60{,}29\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed} = 41{,}56\ kN \leq F_{v,Rd} = 60{,}29\ kN$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel.

X.1.2 Stuik plaatmateriaal

Elke bout is een randbout, zodat k_1 de kleinste waarde is van:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1{,}7 = 2{,}8 \cdot \frac{e_2}{d+2} - 1{,}7$$

Waarin:

k_1 factor, afhankelijk van de randafstand en de steek in de richting loodrecht op de richting van de krachtoverdracht:
randbouten: k_1 = kleinste waarde van $2{,}8 \cdot e_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;
binnenste bouten: k_1 = kleinste waarde van $1{,}4 \cdot p_2/d_0 - 1{,}7$ of 2,5;

e_2 randafstand; [55 mm]

d_0 gatdiameter, in het algemeen geldt: $d_0 = d + 2\ mm$; [18 mm]

d nominale boutdiameter; [16 mm]

Invullen geeft:

$$k_1 = 2{,}8 \cdot \tfrac{55}{16+2} - 1{,}7 = 6{,}86 \text{ of } k_1 = 2{,}5 \text{ (maatgevend)}$$

Voor de eindbouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$$\alpha_d = \tfrac{e_1}{3 \cdot d_0} = \tfrac{55}{3 \cdot 18} = 1{,}02;\ \alpha_b = \tfrac{f_{ub}}{f_u} = \tfrac{800}{235} = 3{,}40 \text{ of } \alpha_b = 1{,}0 \text{ (maatgevend)}$$

De stuikweerstand van elke eindbout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

α_b stuikfactor: kleinste waarde van α_d, f_{ub}/f_u of 1,0; [1,0]

α_d factor, afhankelijk van de eindafstand en de steek in de richting van de krachtoverdracht;

f_u treksterkte van het moedermateriaal; [360 N/mm^2]

d nominale boutdiameter; [16 mm]

t kleinste dikte van de te verbinden plaatdelen; [10 mm]

Invullen geeft:

$$F_{b,Rd,eindbout} = \frac{2{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 115{,}2\ kN$$

Voor de binnenste bouten is de stuikfactor α_b is de kleinste waarde van:

$\alpha_d = \frac{p_1}{3 \cdot d_0} - \frac{1}{4} = \frac{100}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 1{,}60$; $\alpha_b = \frac{f_{ub}}{f_u} = \frac{800}{235} = 3{,}40$ of $\alpha_b = 1{,}0$ (maatgevend)

De stuikweerstand van elke binnenste bout volgt uit de volgende formule:

$$F_{b,Rd,binnenbout} = \frac{k_1 \cdot \alpha_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2{,}5 \cdot 1{,}0 \cdot 360 \cdot 16 \cdot 10 \cdot 10^{-3}}{1{,}25} = 115{,}2\ kN$$

Bij een groep verbindingsmiddelen is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan de som van de rekenwaarden van de stuikweerstanden van de individuele bouten, mits stuik maatgevend is voor elke individuele bout in de groep:

$$F_{v,Rd} \geq F_{b,Rd}$$

Wanneer niet wordt voldaan aan bovenstaande formule is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan het product van het aantal bouten en de kleinste rekenwaarde van de weerstand van de individuele bouten.

De afschuifweerstand per bout (met elk één schuifvlak) bedraagt $F_{v,Rd,bout} = F_{v,Rd} = 60{,}29\ kN$. Voor de eindbouten geldt $F_{v,Rd,bout} = 60{,}29\ kN \geq F_{b,Rd,eindbout} = 115{,}2\ kN$ en voor de binnenste bouten $F_{v,Rd,bout} = 60{,}29\ kN \leq F_{b,Rd,binnenbout} = 115{,}2\ kN$.

Voor alle bouten geldt dat de afschuifweerstand maatgevend is ten opzichte van de stuikweerstand. Daarom mogen de afschuifweerstanden van twee eindbouten en van twee binnenbouten worden opgeteld.

Voor de boutgroep geldt:

$$F_{b,Rd,groep} = 2 \cdot F_{v,Rd,bout} + 2 \cdot F_{v,Rd,bout} = 2 \cdot 60{,}29 + 2 \cdot 60{,}29 = 241{,}15\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed,groep} = 166{,}2\ kN \leq F_{b,Rd,groep} = 241{,}15\ kN$$

Er wordt ruim voldaan aan de toetsingsregel (0,69, dus 69%).

X.2 Boutverbinding bovenrandstaaf vakwerkligger

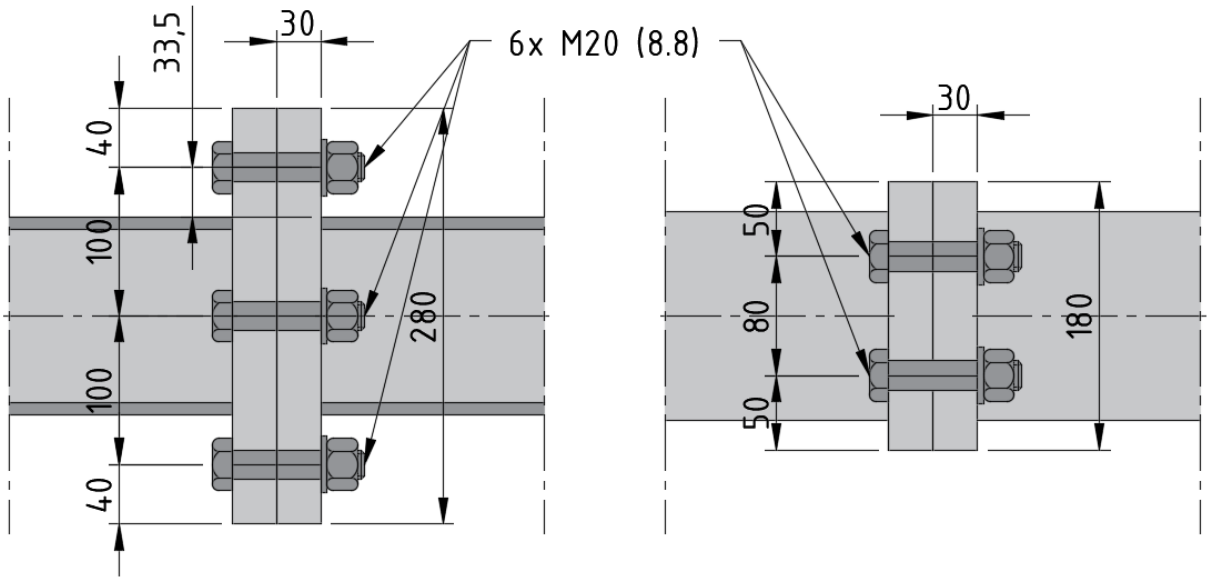
De bovenrandstaaf wordt voornamelijk alleen belast op drukkrachten met de minste drukkracht van 5,3 kN bij het hijsen van de vakwerkligger. Tussen velden 3 en 4 en velden 9 en 10 wordt een ketting bevestigd, waaraan de vakwerkligger wordt gehesen. De drukkracht in de bovenrandstaaf kent een maximum van 530,0 kN en een minimum van 458,3 kN in de gebruiksfase. Met andere woorden, in geen enkel geval treedt een trekkracht op.

Voor de eenvoud wordt gezegd dat de koppelplaten 10 mm dik moeten zijn en worden verbonden met vier M16 bouten. M12 bouten zijn niet geschikt voor grove stalen werken zoals deze, dus wordt gekozen voor M16 in klasse 8.8.

X.3 Boutverbinding onderrandstaaf vakwerkligger

In een uiterste grenstoestand met sneeuw treedt in de onderrandstaaf van de vakwerkligger een trekkracht op van 526,4 kN. De vakwerkligger wordt op dit punt gesplitst, zodat twee helften van ca. 17,50 m overblijven die makkelijk te transporteren zijn. Daarnaast is dit een gangbare afmeting voor stralen en past het vakwerk in de spuitcabine van de spuiterij. Dat betekent dat de boutverbinding in staat moet zijn om een trekkracht van 526,4 kN op te vangen.

Er zijn in totaal zes M20 bouten met de trekkracht door de draad. Voor een bout in klasse 8.8 geldt dan $\alpha_v = 0{,}6$. Bij een schuifvlak door de draag wordt de spanningsdoorsnede A_s gebruikt: $A = A_s = 245\ mm^2$. De boutverbinding zoals hier bedoelt is te zien in onderstaande figuur 97.



Figuur 97: Afmetingen van de boutkoppeling in de onderrandstaaf van de vakwerkligger. Links is het zijaanzicht te zien, rechts is het bovenaanzicht te zien. Als onderrandstaaf is een HEA 140 (S235) toegepast. De tekening is gemaakt met AutoCAD 2022.

De maximale trekkracht op een bout bereken je met:

$$F_{t,Rd} = \frac{k_2 \cdot f_{ub} \cdot A_s}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

k_2 voor bouten met een verzonken kop $k_2 = 0{,}63,$ anders $k_2 = 0{,}9$;

f_{ub} treksterkte van het boutmateriaal; [800 N/mm^2]

A_s spanningsdoorsnede van de bout, gegeven in een tabellenboek, gedefinieerd als het (gewogen) gemiddelde tussen de volle schachtdoorsnede en de kerndoorsnede ter plaatse van de schroefdraad; [245 mm^2]

γ_{M2} partiële veiligheidsfactor voor de weerstand van bouten ($\gamma_{M2} = 1{,}25$).

Invullen geeft:

$$F_{t,Rd} = \frac{0{,}9 \cdot 800 \cdot 245}{1{,}25} = 141{,}12\ kN$$

Bij een groep verbindingsmiddelen is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan de som van de rekenwaarden van de stuikweerstanden van de individuele bouten, mits stuik maatgevend is voor elke individuele bout in de groep:

$$F_{v,Rd} \geq F_{t,Rd}$$

Wanneer niet wordt voldaan aan bovenstaande formule is de rekenwaarde van de weerstand gelijk aan het product van het aantal bouten en de kleinste rekenwaarde van de weerstand van de individuele bouten.

Als blijkt dat de bouten voldoende stuikweerstand bieden, moet nog blijken of de kopplaten voldoende weerstand bieden. Om te voorkomen dat een plaat scheurt wordt de ponsweerstand bepaald; dit is de maximale trekkracht op de plaat bij de kleinste doorsnede. Deze wordt berekend met:

$$B_{p,Rd} = \frac{0{,}6 \cdot \pi \cdot d_m \cdot t_p \cdot f_u}{\gamma_{M2}}$$

Waarin:

d_m kleinste waarde van het gemiddelde van sleutelwijdte en afstand tussen de hoek van de boutkop of moer in mm; [30 mm]

t_p kleinste plaatdikte van de te verbinden delen in mm; [30 mm]

f_u treksterkte van onderdelen in N/mm^2 bij staalsoort S355; [490 N/mm^2]

Invullen geeft:

$$B_{p,Rd} = \frac{0{,}6 \cdot \pi \cdot 30 \cdot 30 \cdot 490}{1{,}25} = 665{,}01\ kN$$

Voor de boutgroep geldt:

$$F_{t,Rd,groep} = 6 \cdot F_{t,Rd} = 6 \cdot 141{,}12 = 846{,}72\ kN$$

De toets is dan:

$$F_{v,Ed,groep} = 526{,}4\ kN \leq B_{p,Rd} = 665{,}01\ kN < F_{t,Rd,groep} = 846{,}72\ kN$$

Er wordt met 79% ruim voldaan aan de toetsingsregel voor ponsweerstand. Wat betreft de trekweerstand van de boutgroep wordt eveneens ruim voldaan aan de toetsingsregel, namelijk 62%.

X.4 Kolomvoetplaatverbinding

De horizontale en verticale krachten worden over het algemeen via een voet onder de stalen kolom naar de fundering gebracht. De constructie van de voet bestaat doorgaans uit een voetplaat, al of niet met schotten voor extra verstijving, en de verankering aan de fundering.

De grootte van de voetplaat bepaald de spreiding van de drukkracht in de stalen kolom in het minder sterke beton van de fundering of onderbouw. Onder de voetplaat wordt een stelruimte vrijgelaten om de hoogte van de constructie naderhand bij te kunnen stellen, zodat maatafwijking in de staalconstructie en de onderbouw worden gecompenseerd. Na het stellen wordt de resterende stelruimte gevuld met krimparme voegmortel. Bij een centrisch op druk belaste voetplaat gaat men uit van een gelijkmatige drukverdeling op de voegmortel (M. Roos, docent Hogere Bouwkunde, 2014).

Op de kolomvoet werkt een maximale verticale kracht van 365,1 kN (223,6 kN als gevolg van het portaal belast met wind, bekleding en zonnepanelen en 141,5 kN als gevolg van windafdracht via windbok D) op het middensteunpunt en een maximale horizontale kracht van 156,6 kN bij windbelasting op het steunpunt van de rechterbuitenkolom als onderdeel van windbok D. In een situatie met sneeuwbelasting treedt geen wind op en is er alleen sprake van een maximale verticale reactiekracht van 372,5 kN op het middensteunpunt. De krachten in een situatie met wind worden als maatgevend beschouwd en toegepast in de berekening voor de dimensionering van de maatgevende kolomvoetplaatverbinding.

De berekeningsmethode van de kolomvoetplaatverbindingen zijn in NEN 6720 en NEN 1992/1933 hetzelfde, maar in de nieuwe norm worden ook de afmetingen van de zool verwerkt in de berekening. Deze informatie is op dit moment nog niet beschikbaar gesteld door derden, waardoor er nu uit noodzaak gerekend wordt met de simpelere rekenmethode van NEN 6720 en NEN 6772. Ook begeleider Sjaak Sturm maakt nog steeds gebruik van dezelfde berekeningsmethode.

X.4.1 Drukspanning in het beton

Het benodigde oppervlak van de voetplaat hangt af van de rekenwaarde van de druksterkte van het beton. De rekenwaarde van de stuiksterkte van de verbinding f_{jd} behoort als volgt te zijn bepaald volgens NEN-EN 1993-1-8, formule 6.6 en NEN 6772, art. 11.7.2.2:

$$f_{jd} = \frac{\beta_j \cdot F_{Rdu}}{A_{c0}} = \beta_j \cdot f_{cd} \cdot k_d = 0{,}67 \cdot 13{,}3 \cdot 1{,}0 = 8{,}89\ N/mm^2$$

Waarin:

β_j materiaalcoëfficiënt van de verbinding aan de fundering, die gelijk mag zijn aan 2/3 mits de karakteristieke sterkte van de grout niet kleiner is dan 0,2 maal de karakteristieke sterkte van de betonfundering en mits de dikte van de grout niet groter is dan 0,2 maal de kleinste breedte van de stalen voetplaat. In gevallen waar de dikte van de grout groter is dan 50 mm, behoort de karakteristieke sterkte van de grout ten minste gelijk te zijn aan die van de betonfundering;

f_{cd} rekenwaarde van de cilinderdruksterkte is in NEN-EN 1992-1-1 (3.15) gedefinieerd als:

$$f_{cd} = \frac{\alpha_{cc} \cdot f_{ck}}{\gamma_C} = \frac{1{,}0 \cdot 20}{1{,}5} = 13{,}33 \ N/mm^2$$

Waarin:

γ_C is de partiële veiligheidsfactor voor beton; [1,5]

α_{cc} is de coëfficiënt die rekening houdt met langeduureffecten op de druksterkte en met ongunstige effecten als gevolg van de manier waarop de belasting aangrijpt. De waarde van α_{cc} moet gelijk aan 1,0 zijn genomen.

F_{Rdu} rekenwaarde van de weerstand tegen een geconcentreerde belasting, gegeven in NEN-EN 1992-1-1 (6.63), waarin $F_{Rdu} = A_{c0} \cdot f_{cd} \cdot k_d$.

De sterkte van de voegmortel moet dan ten tenminste voldoen aan:

$$0{,}2 \cdot f_{cd} = 0{,}2 \cdot 13{,}3 = 2{,}67 \ N/mm^2$$

X.4.2 Verdeling drukkracht over de flenzen en het lijf

De drukkracht wordt verdeeld over het lijf en de flenzen van de kolom. De normaalspanning in de kolom is $\sigma_{x,Ed} = N_{Ed}/A = 365{,}1 \cdot 10^3/12440 = 29{,}35 \, N/mm^2$.

Het oppervlak van het lijf is:

$$A_w = h_w \cdot t_w = 225 \cdot 9{,}0 = 2025 \ mm^2$$

Het oppervlak van één flens is:

$$A_f = (A - A_w)/2 = (12440 - 2025)/2 = 5207{,}5 \ mm^2$$

De drukkracht in het lijf volgt uit:

$$N_{Ed,lijf} = \sigma_{x,Ed} \cdot A_w = 29{,}35 \ \cdot 2025 = 59{,}44 \ kN$$

De drukkracht in één flens volgt uit:

$$N_{Ed,flens} = \sigma_{x,Ed} \cdot A_f = 29{,}35 \ \cdot 5207{,}5 = 152{,}85 \ kN$$

X.4.3 Spreidingsmaat l_s

Voor de breedte b van de voetplaat wordt uitgegaan van 330 mm. De spreidingsmaat l_s aan weerszijden van de flens volgt uit het verticale evenwicht van krachten: $N_{Ed,flens} = b_p \cdot (2 \cdot l_s + t_f) \cdot f_{jd}$.

$$l_s = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{N_{Ed,flens}}{f_{jd} \cdot b_p} - t_f \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{152{,}85 \cdot 10^3}{8{,}89 \cdot 330} - 15{,}5 \right) = 18{,}30\ mm$$

X.4.4 Dikte voetplaat

De dikte t_p van de voetplaat wordt bepaald met formule (11.7-3) in NEN 6772:

$$l_s = t_p \cdot \sqrt{\frac{f_{yd}}{3 \cdot f_{jd}}}, \text{ dus } t_p = l_s \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot f_{jd}}{f_{yd}}} = 18{,}30 \cdot \sqrt{\frac{3 \cdot 8{,}89}{235}} = 6{,}17\ mm$$

Het is praktisch om te kiezen voor een voetplaatdikte van 10 mm.

Dus:

$$l_s = 10{,}0 \cdot \sqrt{\frac{235}{3 \cdot 8{,}89}} = 29{,}69\ mm$$

X.4.5 Drukkracht lijf

De drukkracht $N_{Ed,lijf}$ wordt overgebracht door het resterende deel van de voetplaat tussen de flenzen. De overgebleven lengte l_1 volgt uit:

$$l_1 = h - 2 \cdot (l_s + t_f) = 310 - 2 \cdot (29{,}69 + 15{,}5) = 219{,}63\ mm$$

De spreidingsmaat aan weerszijden van het lijf volgt uit het verticale evenwicht van krachten:

$$l'_s = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{N_{Ed,lijf}}{f_{jd} \cdot l_1} - t_w \right) = \frac{1}{2} \cdot \left(\frac{59{,}44 \cdot 10^3}{8{,}89 \cdot 219{,}63} - 9{,}0 \right) = 10{,}72\ mm$$

$l'_s < l_s$, waardoor l'_s niet maatgevend is voor de voetplaatdikte t_p. Er kan worden volstaan met een voetplaat 330x350x10 mm. De dikte van de voeg tussen de onderkant van de voetplaat en de bovenkant van het beton mag niet groter zijn dan $0{,}2 \cdot b_p = 0{,}2 \cdot 330 = 66\ mm$.

De oppervlakte van de drukprent is dan:

$$A_{prent} = 2 \cdot 330 \cdot (2 \cdot 29{,}69 + 15{,}5) + 219{,}63 \cdot (2 \cdot 10{,}72 + 9{,}0) = 56101{,}95\ mm^2$$

De toets is dan:

$$\frac{N_{Ed}}{N_{Rd}} = \frac{N_{Ed}}{A_{prent} \cdot f_{jd}} = \frac{365{,}1 \cdot 10^3}{56101{,}95 \cdot 8{,}89} = 0{,}73 \leq 1{,}0$$

X.5 Ankers

De benodigde sterkte van de ankers wordt bepaald volgens NEN 6772, art. 11.7.2.3.3.

X.5.1 Afschuifkracht

Op de ankers werkt een afschuifkracht $V_{Ed} = 156{,}6\ kN$, per anker $V_{Ed}/4 = 156{,}6/4 = 39{,}14\ kN$. Volgens formule (11.7-12) geldt voor ankers met gesneden draad in de sterkteklasse 8.8:

$$V_{c,Rd} = \frac{\beta_r \cdot \alpha \cdot f_t \cdot A_s}{\gamma_M} = \frac{0{,}375 \cdot 0{,}6 \cdot 800 \cdot A_s}{1{,}25} = 144 \cdot A_s$$

Uit de formule (11.7-10) $\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1{,}0$ volgt de benodigde ankerdoorsnede:

$$A_s \geq V_{Ed}/144 = 39{,}14 \cdot 10^3/144 = 271{,}8\ mm^2 \cong 272\ mm^2$$

Hieraan voldoet een anker M24 met $A_s = 353\ mm^2$.

X.5.2 Stuikkracht

Met betrekking tot de stuikkracht geldt NEN 6772, formule 1.7-11:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} \leq 1{,}0$$

$$V_{Ed}/4 = 156{,}6/4 = 39{,}14\ kN$$

De grensstuikkracht voor ankers M24 met gesneden draad in de sterkteklasse 8.8 wordt bepaald met NEN 6770, tabel 30:

$$V_{c,Rd} = 2 \cdot \alpha_c \cdot \alpha_{red} \cdot f_t \cdot d_{nom} \cdot t = 2 \cdot 1 \cdot 1 \cdot 360 \cdot 24 \cdot 10 = 172{,}80\ kN$$

De toets is dan:

$$\frac{V_{Ed}}{V_{c,Rd}} = \frac{39{,}14}{172{,}80} = 0{,}23 \leq 1{,}0$$

X.5.3 Verankeringslengte

Volgens NEN 6720, art. 9.6 (verankeringslengte van betonstaal) geldt voor betonkwaliteit C20/25 en $c/\emptyset_k = 4$ een verankeringslengte:

$$l_v = l_{vo} = \alpha_1 \cdot \emptyset_k \cdot \frac{f_y}{\sqrt{f_{cd}}} = 0{,}48 \cdot 24 \cdot \frac{240}{\sqrt{13{,}3}} = 758{,}12\ mm$$

Waarin voor glad staal:
$\alpha_1 = 0{,}8 \cdot [1 - 0{,}1 \cdot (c/\emptyset_k)] = 0{,}8 \cdot [1 - 0{,}1 \cdot 4] = 0{,}48$;
$\emptyset_k = kenmiddellijn = 24\ mm$;
$f_y = vloei - of\ 0{,}2\%rekgrens = 240\ N/mm^2$;
$f_{cd} = Rekenwaarde\ van\ de\ cilinderdruksterkte = 13{,}3\ N/mm^2$.

Deze verankeringslengte is gebaseerd op de grenstrekkracht. Voor de verankeringslengte wordt $l_v = 760\ mm$ aangehouden. Het betreft een glad anker dus is een haak verplicht. $l_v = l_1 + l_2 = 520\ mm + 240\ mm = 760\ mm$.

X.6 Lassen

In het algemeen bezit een gelaste verbinding voldoende vervormingscapaciteit en is sterker dan het moedermateriaal indien gedimensioneerd op tenminste 80% van de sterkte van het moedermateriaal. Hiervan uitgaande geldt voor S355: $a \geq 0{,}44 \cdot t$.

Bij een statisch onbepaalde constructie is het noodzakelijk dat de verbinding vervormingscapaciteit bezit. In een statisch bepaalde constructie worden geen eisen gesteld aan de vervormingscapaciteit. In dit geval moet de gelaste verbinding sterk genoeg zijn voor het overbrengen van de verticale- en horizontale belasting. De voetplaat moet langs de volledige profielomtrek aan de kolom zijn gelast (NEN 6772, art. 11.71).

X.6.1 Lasdikte

De constructie waartoe de kolom behoort, is statisch bepaald. De nodigde dikte voor de flenshoeklassen a_{flens} volgt direct uit de normaalspanning in de kolomflens:

$$\sigma_{x,Ed} = N_{Ed}/A = 365{,}1 \cdot 10^3/12440 = 29{,}35\, N/mm^2$$

Met $t_f = 15{,}5\, mm$ volgt de dikte van de flenshoeklassen uit:

$$a_{flens} \geq 0{,}7 \cdot 15{,}5 \cdot \frac{29{,}35}{360} = 0{,}88\, mm$$

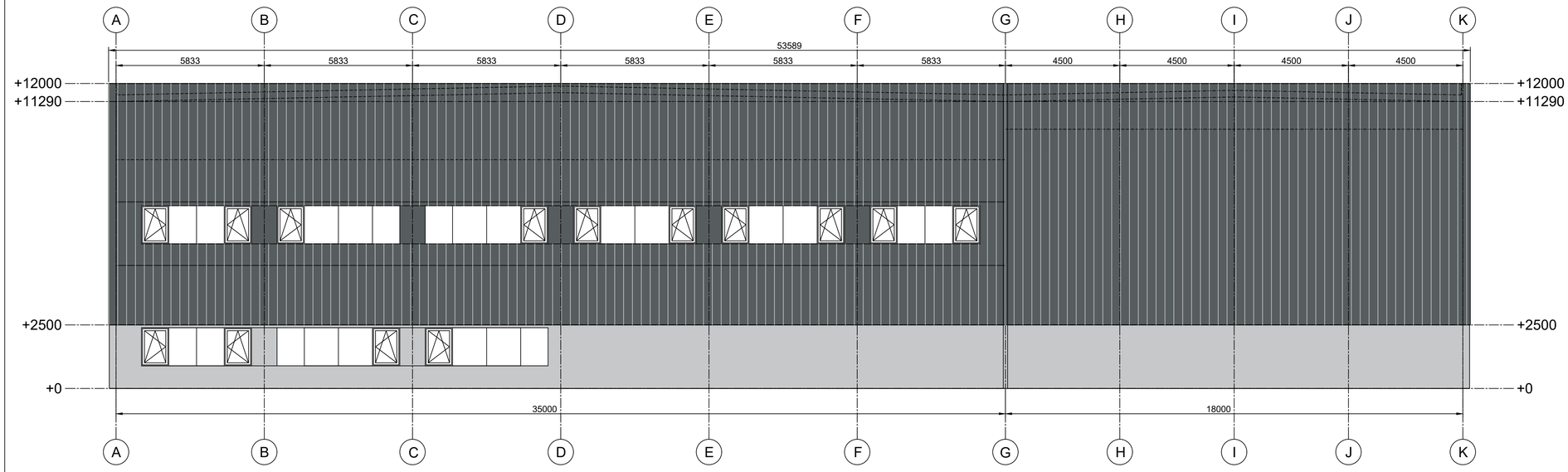
De benodigde dikte voor de lijfhoeklassen a_{lijf} volgt uit $\sigma_{x,Ed} = 29{,}35\, N/mm^2$ en:

$$\tau_{x,Ed} = V_{Ed}/A_w = 39{,}14 \cdot 10^3/2025 = 19{,}33\, N/mm^2$$

$$a \geq \frac{\beta \cdot \gamma_M \cdot t}{2 \cdot f_u} \cdot \sqrt{2 \cdot {\sigma_{Ed}}^2 + 3 \cdot {\tau_{Ed}}^2} = \frac{0{,}8 \cdot 1{,}25 \cdot 9{,}0}{2 \cdot 360} \cdot \sqrt{2 \cdot 29{,}35^2 + 3 \cdot 19{,}33^2} = 0{,}67\, mm$$

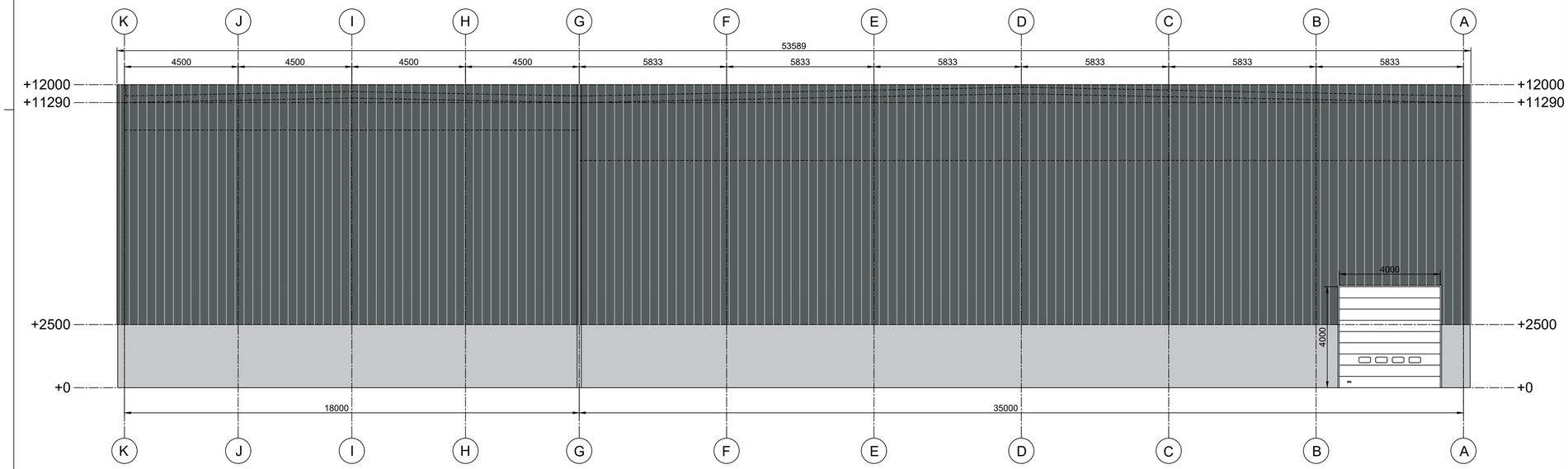
Volgens NEN 6770, art. 13.4.1.1.4 mag de dikte van een hoeklas niet kleiner zijn dan 3 mm, dus de flens- en lijfhoeklassen uitvoeren met een dikte van minimaal 3 mm. Bij IBS Staalbouw wordt de volgende standaard aangehouden: $a = \frac{1}{2} \cdot t \geq 4$ voor platen en profielen en $a = 1{,}1 \cdot t$ voor buis- en kokerprofielen. Het gaat hier om een gewalst profiel dat aansluit op een plaat, waarbij de kleinste plaatdikte de dikte van het lijf is van de HEA 320, dus 9 mm. De dikte van de hoeklas wordt daardoor: $a = \frac{1}{2} \cdot t = \frac{1}{2} \cdot 9 = 4{,}5\, mm \geq 4$. Er worden hoeklassen aangebracht met een dikte van 5 mm.

Bijlage Y: Bouwkundige en technische tekeningen



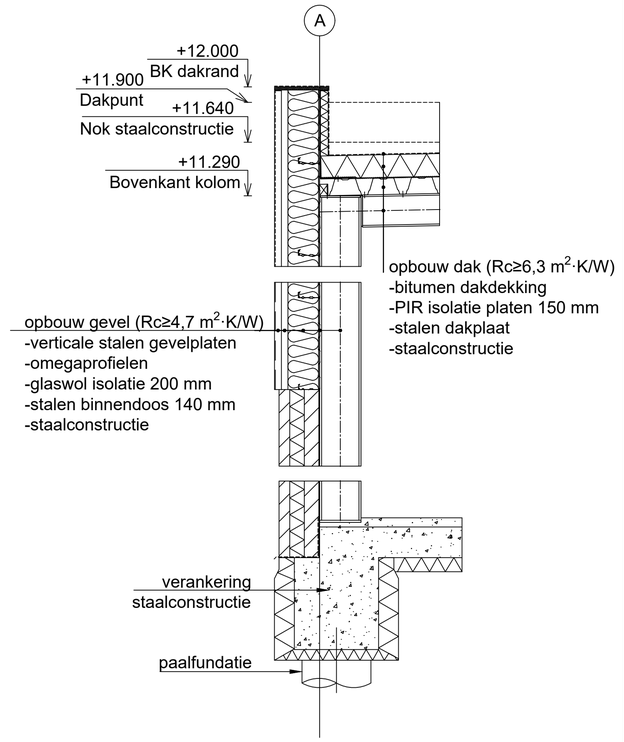
Kopgevel - as 1

Schaal 1:100



Kopgevel - as 9

Schaal 1:100



Detail: dak- en gevelopbouw

Schaal 1:20

Rev. no.		Datum	Getekend	Gecontr.
3				-
2				-
1				-

IZV Roofing & Cladding, IBS Staalbouw

Hof te Zandeplein 13, 4587 CK Kloosterzande, tel: +31 (0) 114 683200, www.ibs-hallenbouw.nl

IZV IBS STAALBOUW KLOOSTERZANDE

Opdrachtgever

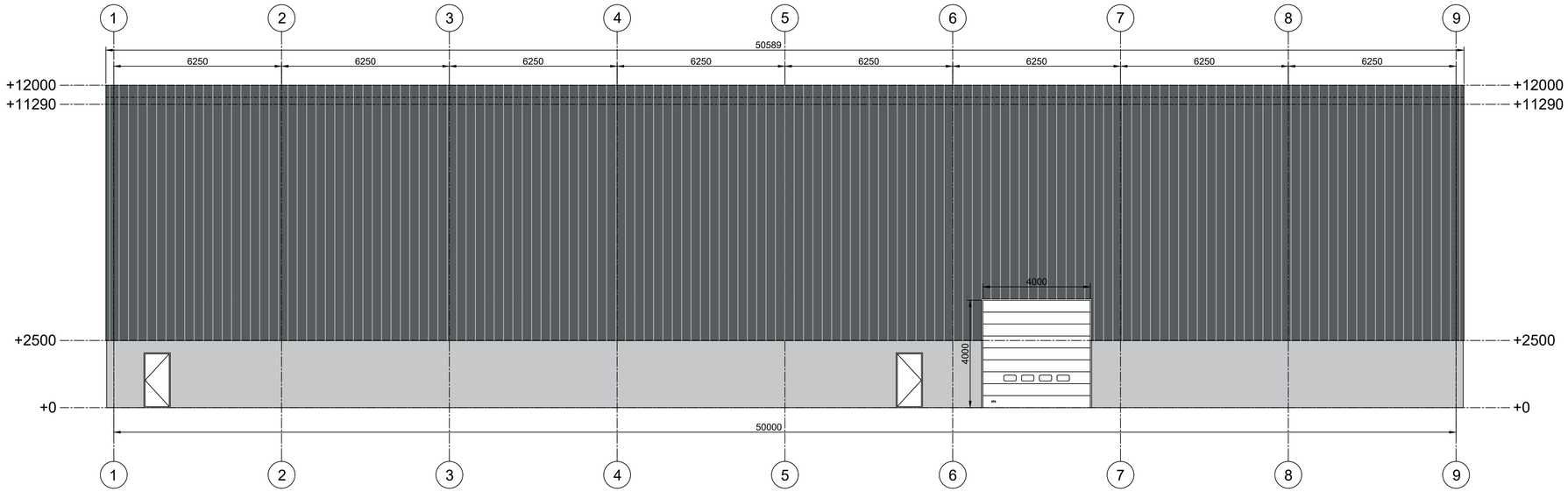
Firma installatietechniek

Onderwerp

Aanzichten bouwkundig ontwerp industriehal

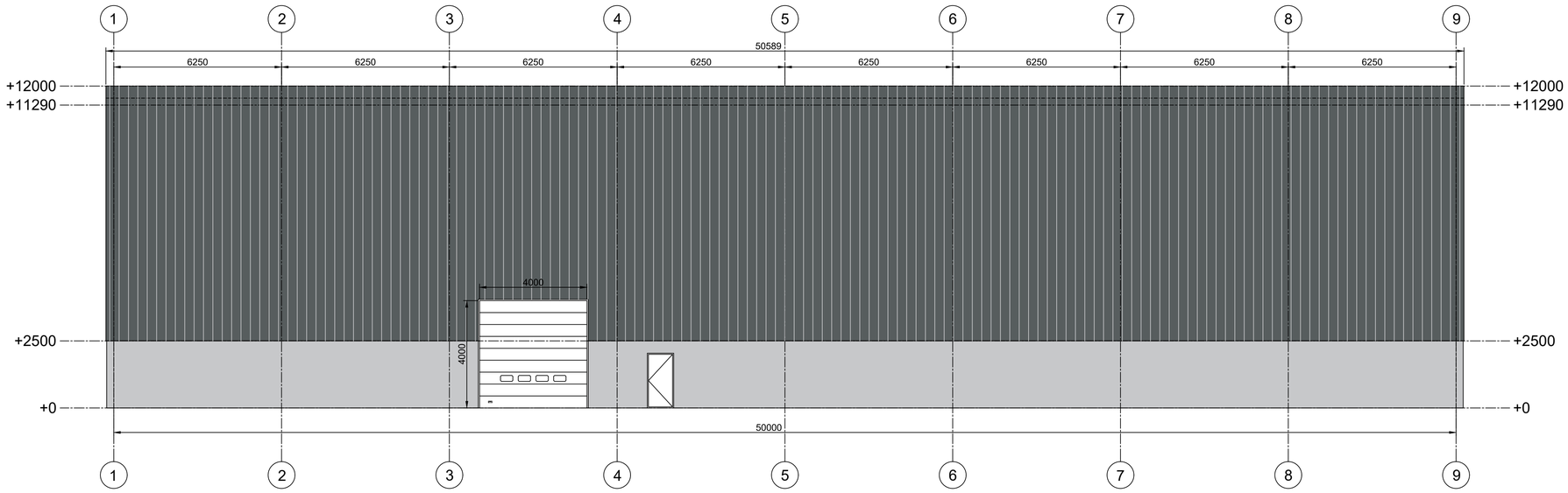
Formaat:	A1
Schaal:	1:100 / 1:20
Aantal bladen:	3
Blad:	1

	Paraaf	Datum	Tekening nummer	Besteknummer
Getekend	M. Wullems	16-6-2022	A [1]	-
Gecontroleerd	S. Sturm	16-6-2022		



Langsgevel - as A

Schaal 1:100



Langsgevel - as K

Schaal 1:100

Rev. no.		Datum	Getekend	Gecontr.
3				-
2				-
1				-

IZV Roofing & Cladding, IBS Staalbouw

Hof te Zandeplein 13, 4587 CK Kloosterzande, tel: +31 (0) 114 683200, www.ibs-hallenbouw.nl

Opdrachtgever

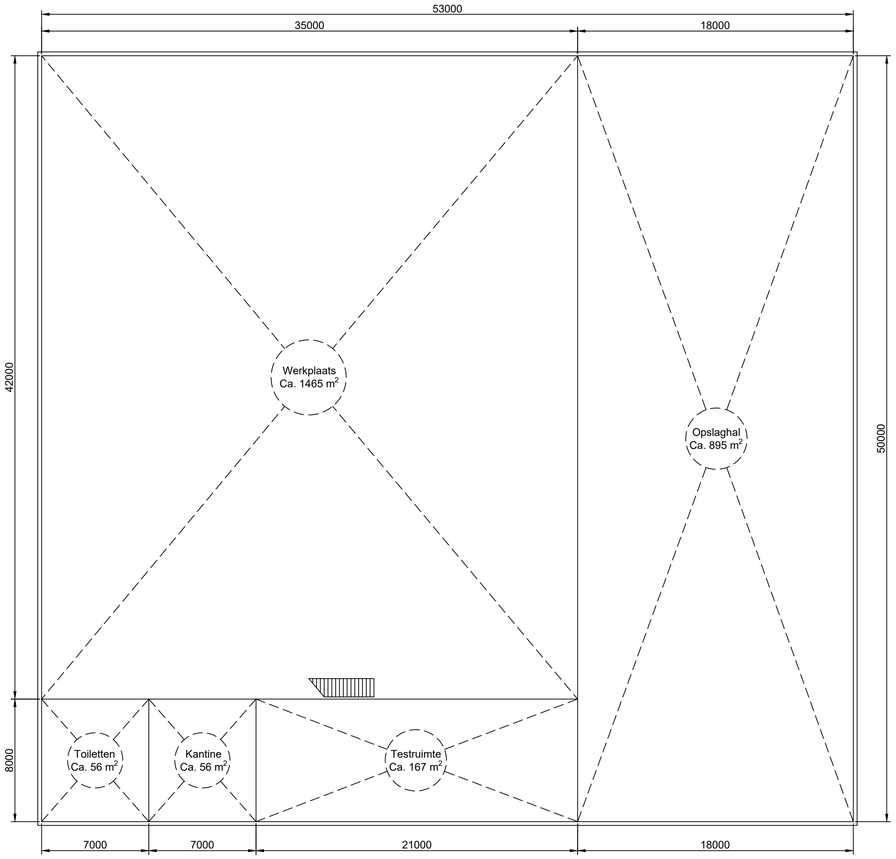
Firma installatietechniek

Onderwerp

Aanzichten bouwkundig ontwerp industriehal

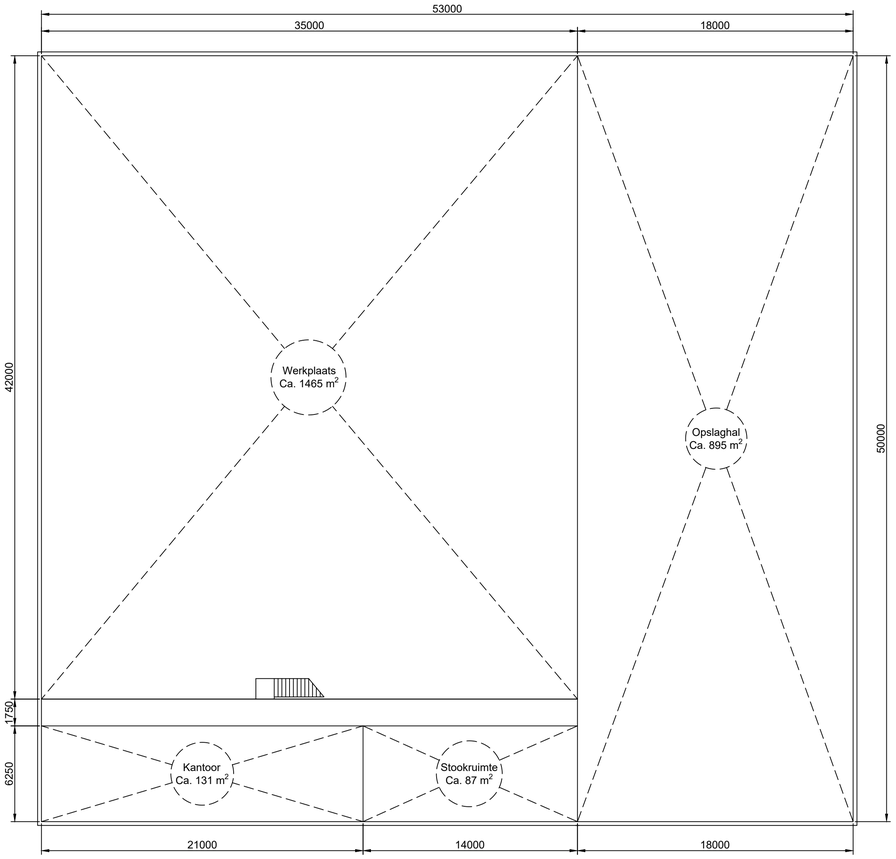
Formaat:	A1
Schaal:	1:100
Aantal bladen:	3
Blad:	2

	Paraaf	Datum	Tekening nummer	Besteknummer
Getekend	M. Wullems	16-6-2022	A [2]	-
Gecontroleerd	S. Sturm	16-6-2022		



Bovenaanzicht industriehal: indeling op +0

Schaal 1:100



Bovenaanzicht industriehal: indeling op +4840

Schaal 1:100

Rev. no.		Datum	Getekend	Gecontr.
3				-
2				-
1				-

IZV Roofing & Cladding, IBS Staalbouw

Hof te Zandeplein 13, 4587 CK Kloosterzande, tel: +31 (0) 114 683200, www.ibs-hallenbouw.nl

IZV IBS STAALBOUW KLOOSTERZANDE

Opdrachtgever

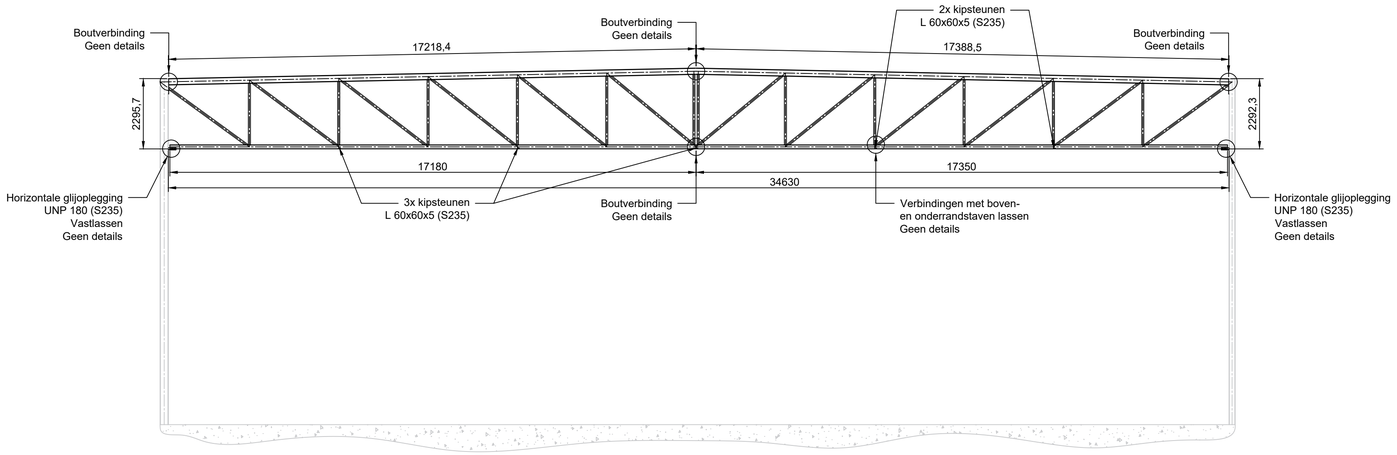
Firma installatietechniek

Onderwerp

Aanzichten bouwkundig ontwerp industriehal

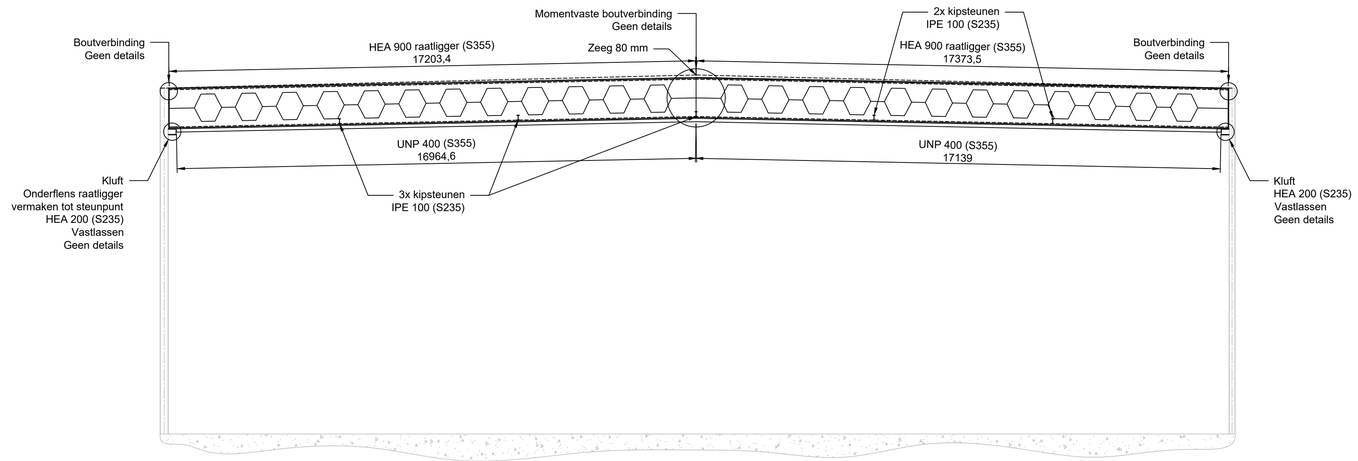
	Paraaf	Datum	Tekening nummer	Besteknummer
Getekend	M. Wullems	16-6-2022	A [3]	-
Gecontroleerd	S. Sturm	16-6-2022		

Formaat:	A1
Schaal:	1:100
Aantal bladen:	3
Blad:	3



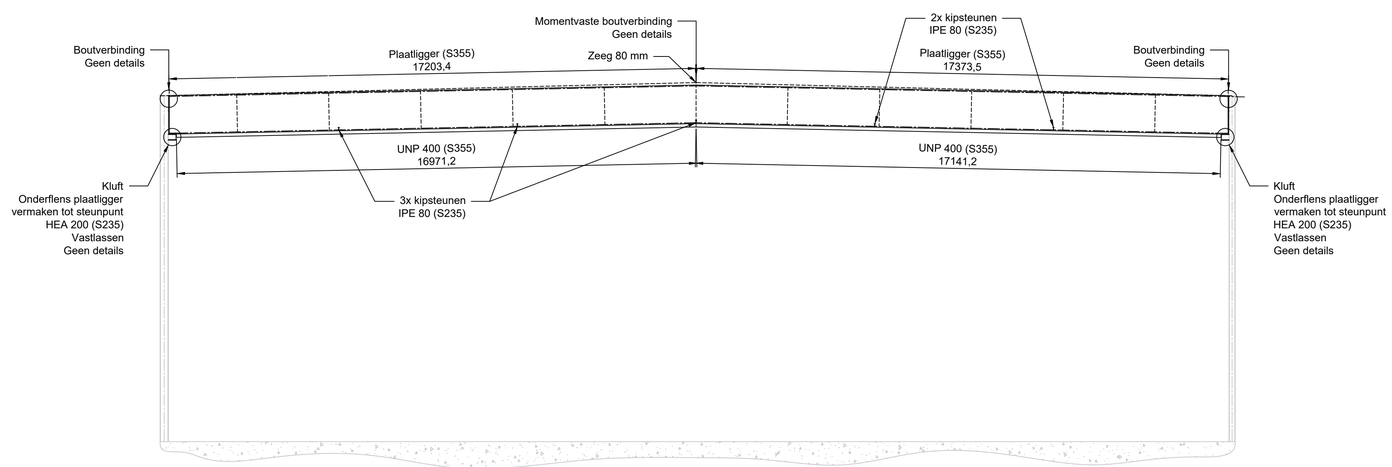
Overspanningsconstructie 1: Vakwerkligger

Schaal 1:100



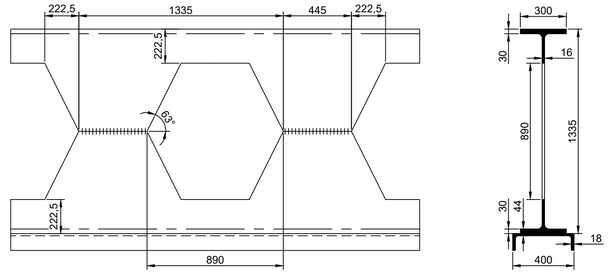
Overspanningsconstructie 2: Raatligger

Schaal 1:100



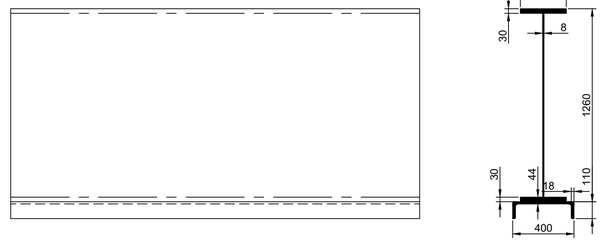
Overspanningsconstructie 3: Plaatligger

Schaal 1:100



Detail raatligger HEA 900 met UNP 400 (S355)

Schaal 1:20



Detail plaatligger met UNP 400 (S355)

Schaal 1:20

Materiaallijst

Overspanningsconstructie 1: Vakwerkligger

HEA 220 (S235) bovenrandstaven	: **34,61 m**
HEA 140 (S235) onderrandstaven	: **34,53 m**
SHS 70x70x5 (S275) diagonalen	: **40,93 m**
SHS 70x70x4 (S275) verticalen	: **25,80 m**
L 60x60x5 (S235) kipsteunen	: **17,55 m**

Verder: diagonalen en verticalen vastlassen aan de boven- en onderrandstaven. In het midden van de vakwerkligger een boutverbinding voor transport en montage. Van alle boutverbindingen zijn geen details bekend. De hele vakwerkligger conserveren met natlak. De horizontale glijopleggingen worden gemaakt met 2x 0,25 m UNP 180 (S235).

Overspanningsconstructie 2: Raatligger

HEA 900 (S355) basisprofiel	: **34,58 m**
UNP 400 (S355) onderflensverzwaring	: **34,11 m**
IPE 100 (S235) kipsteunen	: **8,84 m**

Verder: HEA 900 en UNP 400 vastlassen. De hele raatligger consveren met natlak. De opleggingen bestaan uit 2x 0,25 m HEA 200 (S235) met aan de bovenzijde van de raatligger boutverbindingen.

Overspanningsconstructie 3: Plaatligger

Flenzen gemaakt van strip 300x30 mm	: **69,15 m**
Lijf gemaakt van staalplaat 1500x3000 mm vermaakt tot een breedte van 1200 mm	
UNP 400 (S335) onderflensverzwaring	: **34,11 m**
Strippen en staalplaat vastlassen (langs één zijde?)	
IPE 80 (S355) kipsteunen	: **79,66 m**

Rev. no.		Datum	Getekend	Gecontr.
3				-
2				-
1				-

IZV Roofing & Cladding, IBS Staalbouw

Hof te Zandeplein 13, 4587 CK Kloosterzande, tel: +31 (0) 114 683200, www.ibs-hallenbouw.nl

Opdrachtgever

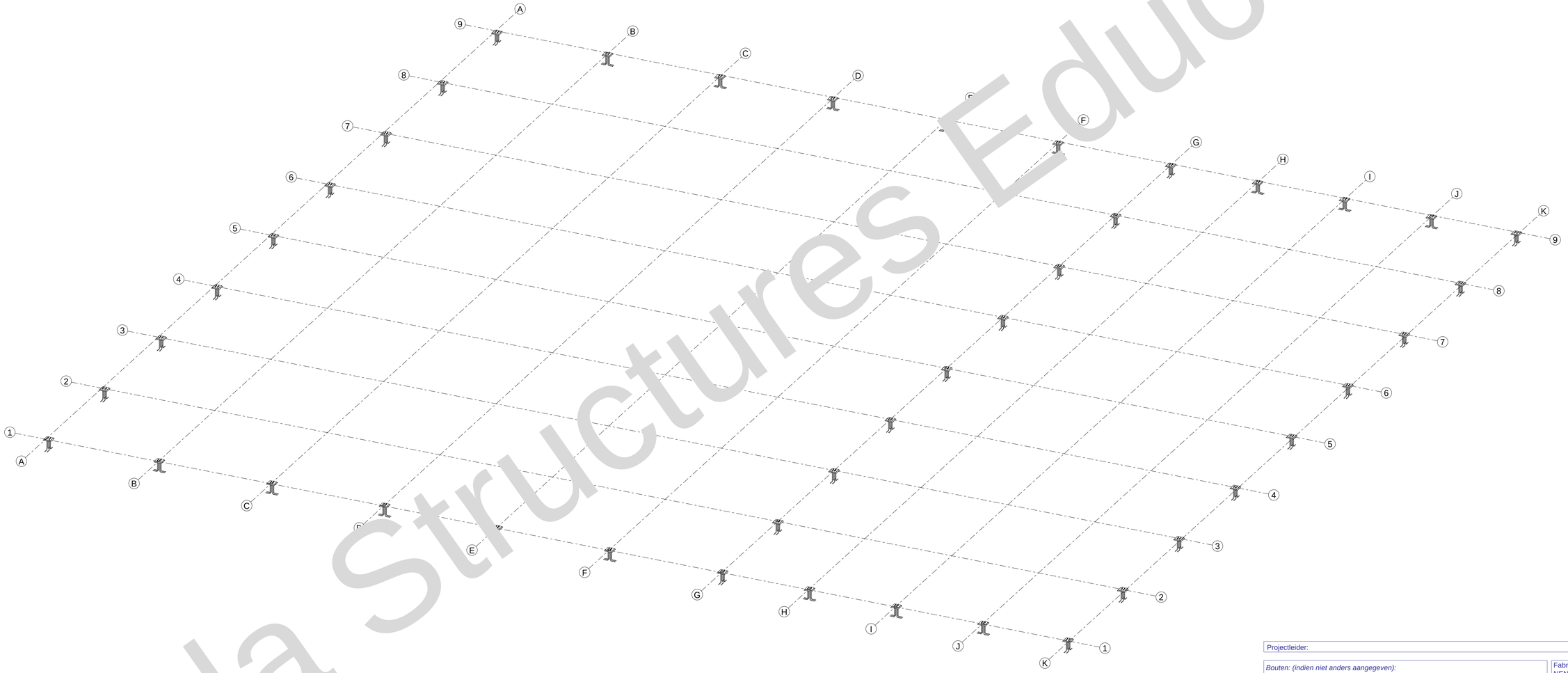
Firma installatietechniek

Onderwerp

Calculatietekening

Formaat:	A1
Schaal:	1:100 / 1:20
Aantal bladen:	1
Blad:	1

	Paraaf	Datum	Tekening nummer	Besteknummer
Getekend	M. Wullems	16-6-2022	A [1]	-
Gecontroleerd	S. Sturm	16-6-2022		



Isometrische 3D-tekening
1:100

Tekla Structures Educational

Projectleider:

Bouten: (indien niet anders aangegeven):
kwaliteit 8.8 thermisch verzinkt; Boutverbindingen na fixeren **MARKEREN**
Conservering: Natlak

Fabricage en montage volgens NEN-EN 1090-2:2008+A1:2011
Uitvoeringsklasse: XXX
Functionele tolerantie klasse: XXX

Materiaalsoorten en kwaliteiten (indien niet anders aangegeven):
Platen en profielen: S235JR volgens NEN-EN 10025-2
Buis- en kokerprof.: S275J0H vlgs NEN-EN 10210-1 (warmvervaardigd), S235JRG2 vlgs NEN-EN 10219-1 (koudvervaardigd)

Lassen (indien niet anders aangegeven):
a= 1/2t (bij 2-zijdige hoeklas) en min. a=4
vlgs nen-en-iso 2553:2014
kokers: a=1,1t rondom

Werk:
IZV Roofing and Cladding - IBS Staalbouw
Onderwerp:
Isometrische 3D-tekening

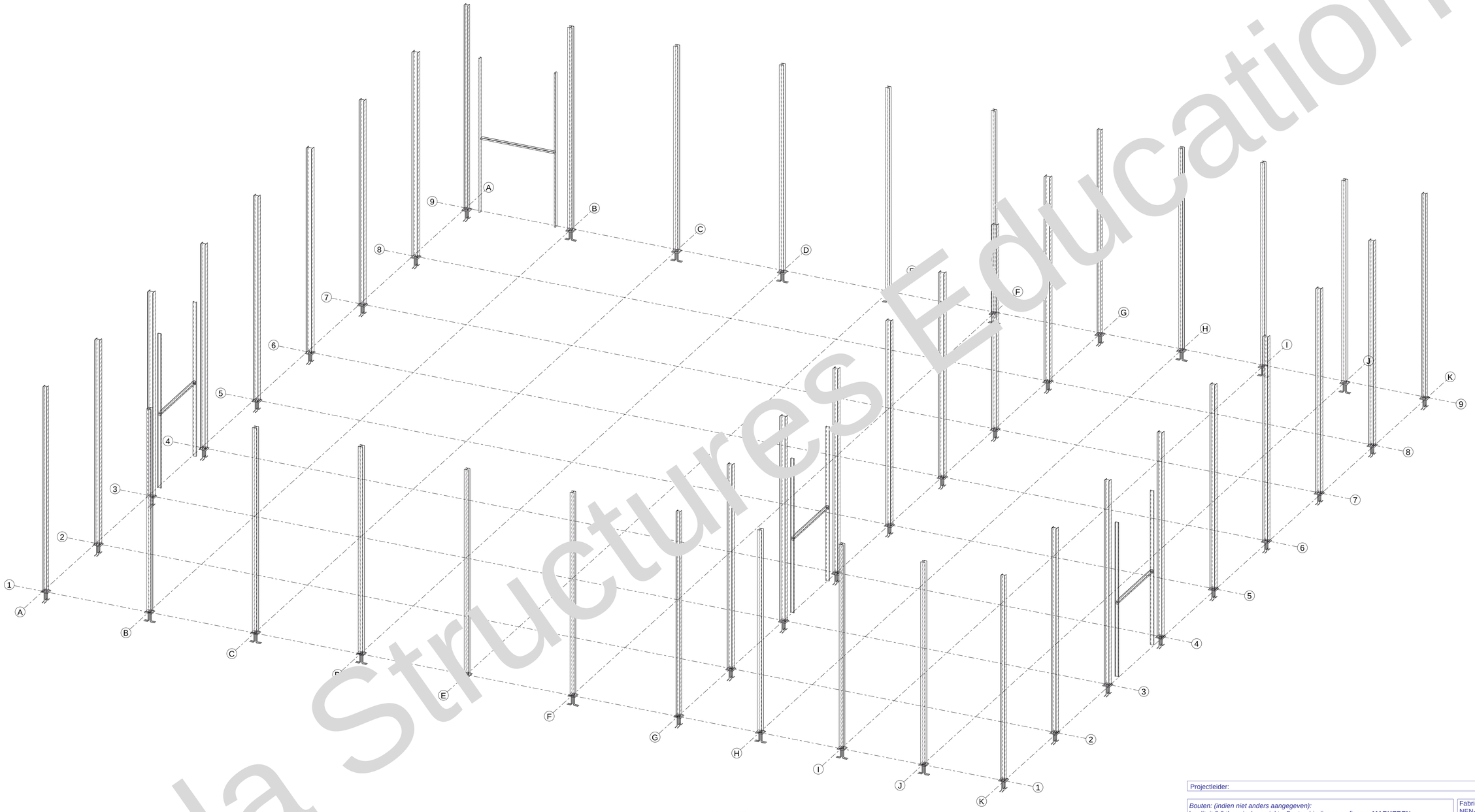
Getekend: Mick Wullems
Datum: 17.06.2022
Schaal: zie aanzicht

Opdrachtgever:
Installatietechniek
Adres bouwplaats:
Wolfstraat

CE
1231-CPR-1090-1-2013-A-199-2

IZV ROOFING & CLADDING
Industrial Building Systems b.v.
Hof te Zandeplein 11 Postbus 30
4587 ZG Kloosterzande
tel: +31(0) 114 687200
fax: +31(0) 114 682964
www.ibs-hallenbouw.nl

Project: 1352022
Tekening: G [1]
Formaat: A1
Status: Ter goedkeuring



Isometrische 3D-tekening
1:100

Tekla Structures Educational

Projectleider:

Bouten: (indien niet anders aangegeven):
kwaliteit 8.8 thermisch verzinkt; Boutverbindingen na fixeren **MARKEREN**
Conservering: Natlak

Fabricage en montage volgens NEN-EN 1090-2:2008+A1:2011
Uitvoeringsklasse: XXX
Functionele tolerantie klasse: XXX

Materiaalsoorten en kwaliteiten (indien niet anders aangegeven):		*Lassen (indien niet anders aangegeven):*
Platen en profielen:	S235JR volgens NEN-EN 10025-2	a= 1/2t (bij 2-zijdige hoeklas) en min. a=4
Buis- en kokerprof.:	S275J0H vlgs NEN-EN 10210-1 (warmvervaardigd), S235JRG2 vlgs NEN-EN 10219-1 (koudvervaardigd)	vlgs nen-en-iso 2553:2014 kokers: a=1,1t rondom

Werk:
IZV Roofing and Cladding - IBS Staalbouw
Onderwerp:
Isometrische 3D-tekening

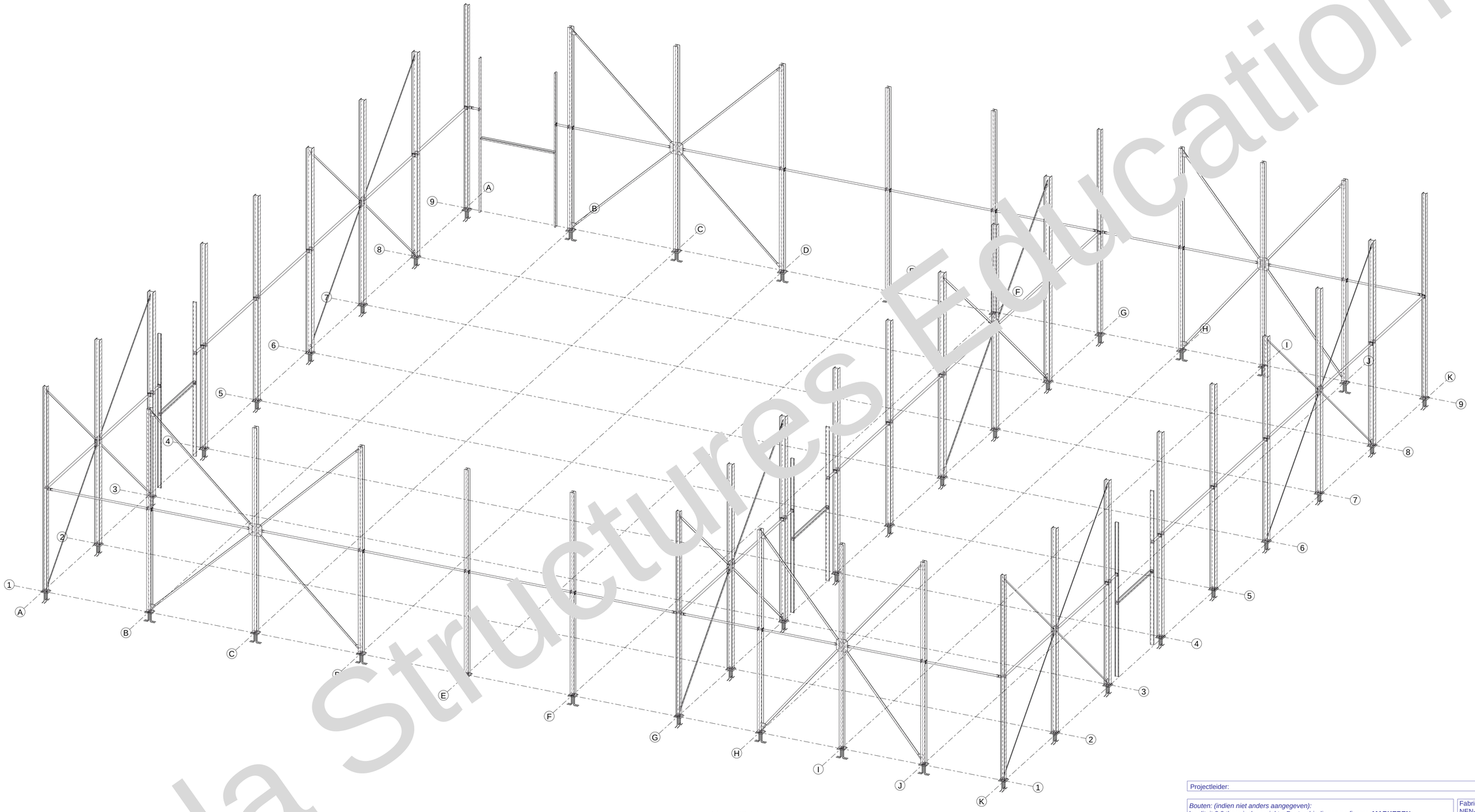
Getekend: Mick Wullems
Datum: 17.06.2022
Schaal: zie aanzicht

Opdrachtgever:
Installatietechniek
Adres bouwplaats:
Wolfstraat

CE
1231-CPR-1090-1-2013-A-199-2

IZV ROOFING & CLADDING
Industrial Building Systems b.v.
Hof te Zandeplein 11 Postbus 30
4587 ZG Kloosterzande
tel: +31(0) 114 687200
fax: +31(0) 114 682964
www.ibs-hallenbouw.nl

Project: 1352022
Tekening: G [2]
Formaat: A1
Status: Ter goedkeuring



Isometrische 3D-tekening
1:100

Tekla Structures Educational

Projectleider:

Bouten: (indien niet anders aangegeven):
kwaliteit 8.8 thermisch verzinkt; Boutverbindingen na fixeren **MARKEREN**
Conservering: Natlak

Fabricage en montage volgens NEN-EN 1090-2:2008+A1:2011
Uitvoeringsklasse: XXX
Functionele tolerantie klasse: XXX

Materiaalsoorten en kwaliteiten (indien niet anders aangegeven):		*Lassen (indien niet anders aangegeven):*
Platen en profielen:	S235JR volgens NEN-EN 10025-2	a= 1/2t (bij 2-zijdige hoeklas) en min. a=4
Buis- en kokerprof.:	S275J0H vlgs NEN-EN 10210-1 (warmvervaardigd), S235JRG2 vlgs NEN-EN 10219-1 (koudvervaardigd)	vlgs nen-en-iso 2553:2014 kokers: a=1,1t rondom

Werk:
IZV Roofing and Cladding - IBS Staalbouw
Onderwerp:
Isometrische 3D-tekening

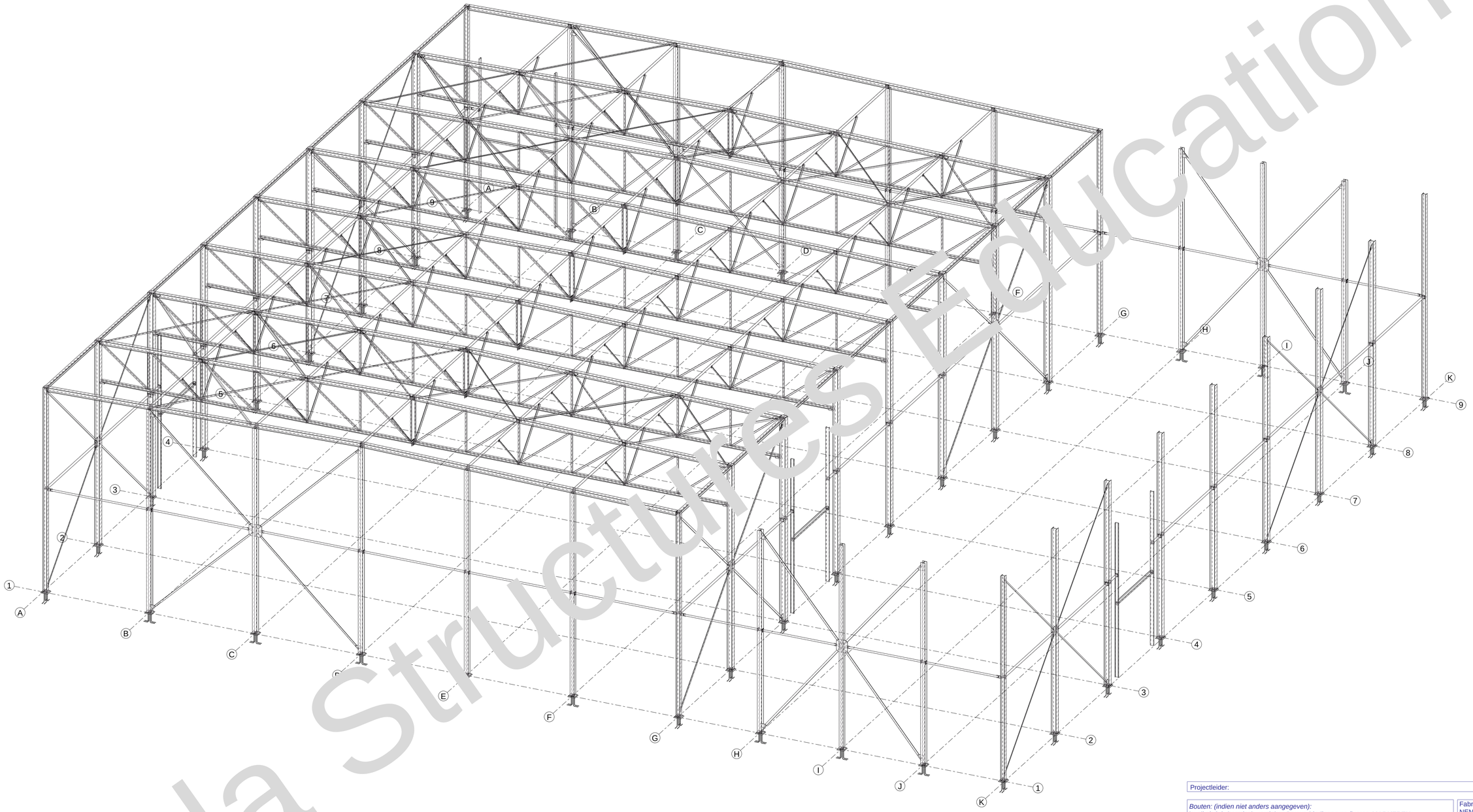
Getekend: Mick Wullems
Datum: 17.06.2022
Schaal: zie aanzicht

Opdrachtgever:
Installatietechniek
Adres bouwplaats:
Wolfstraat

CE
1231-CPR-1090-1-2013-A-199-2

IZV ROOFING & CLADDING
Industrial Building Systems b.v.
Hof te Zandeplein 11 Postbus 30
4587 ZG Kloosterzande
tel: +31(0) 114 687200
fax: +31(0) 114 682964
www.ibs-hallenbouw.nl

Project:
1352022
Tekening:
G [3]
Formaat:
A1
Status:
Ter goedkeuring



Isometrische 3D-tekening
1:100

Tekla Structures Educational

Projectleider:

Bouten: (indien niet anders aangegeven):
kwaliteit 8.8 thermisch verzinkt; Boutverbindingen na fixeren **MARKEREN**
Conservering: Natlak

Fabricage en montage volgens NEN-EN 1090-2:2008+A1:2011
Uitvoeringsklasse: XXX
Functionele tolerantie klasse: XXX

Materiaalsoorten en kwaliteiten (indien niet anders aangegeven):
Platen en profielen: S235JR volgens NEN-EN 10025-2
Buis- en kokerprof.: S275J0H vlgs NEN-EN 10210-1 (warmvervaardigd), S235JRG2 vlgs NEN-EN 10219-1 (koudvervaardigd)

Lassen (indien niet anders aangegeven):
a= 1/2t (bij 2-zijdige hoeklas) en min. a=4
vlgs nen-en-iso 2553:2014
kokers: a=1,1t rondom

Werk:
IZV Roofing and Cladding - IBS Staalbouw
Onderwerp:
Isometrische 3D-tekening

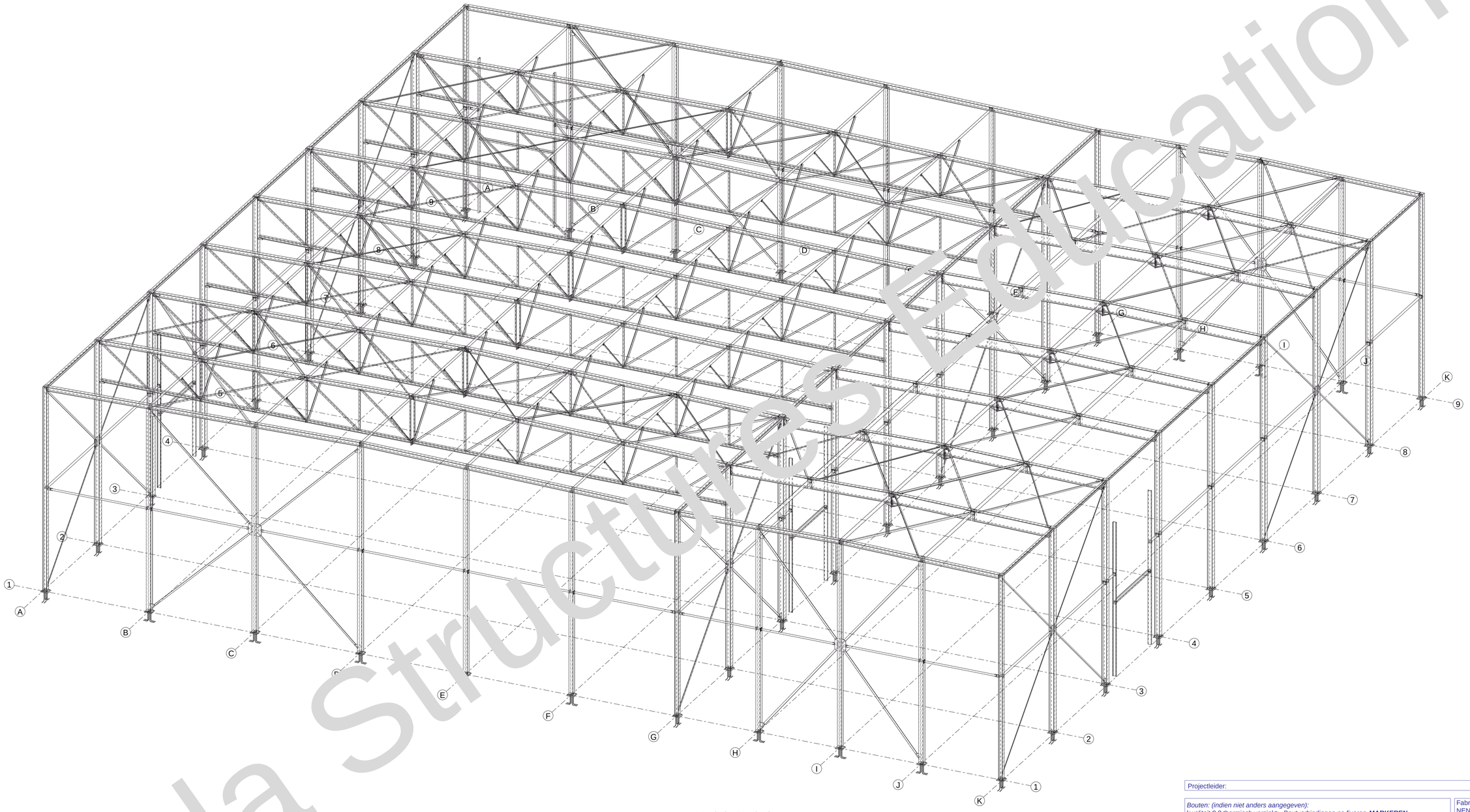
Getekend: Mick Wullems
Datum: 17.06.2022
Schaal: zie aanzicht

Opdrachtgever:
Installatietechniek
Adres bouwplaats:
Wolfstraat

CE
1231-CPR-1090-1-2013-A-199-2

IZV ROOFING & CLADDING
Industrial Building Systems b.v.
Hof te Zandeplein 11 Postbus 30
4587 ZG Kloosterzande
tel: +31(0) 114 687200
fax: +31(0) 114 682964
www.ibs-hallenbouw.nl

Project: 1352022
Tekening: G [4]
Formaat: A1
Status: Ter goedkeuring



Isometrische 3D-tekening
1:100

Tekla Structures Educational

Projectleider:

Bouten: (indien niet anders aangegeven):
kwaliteit 8.8 thermisch verzinkt; Boutverbindingen na fixeren **MARKEREN**
Conservering: Natlak

Fabricage en montage volgens NEN-EN 1090-2:2008+A1:2011
Uitvoeringsklasse: XXX
Functionele tolerantie klasse: XXX

Materiaalsoorten en kwaliteiten (indien niet anders aangegeven):		*Lassen (indien niet anders aangegeven):*	
Platen en profielen:	S235JR volgens NEN-EN 10025-2	a= 1/2t (bij 2-zijdige hoeklas) en min.	a=4
Buis- en kokerprof.:	S275J0H vlgs NEN-EN 10210-1 (warmvervaardigd), S235JRG2 vlgs NEN-EN 10219-1 (koudvervaardigd)	vlgs nen-en-iso 2553:2014	kokers: a=1,1t rondom

Werk:
IZV Roofing and Cladding - IBS Staalbouw
Onderwerp:
Isometrische 3D-tekening

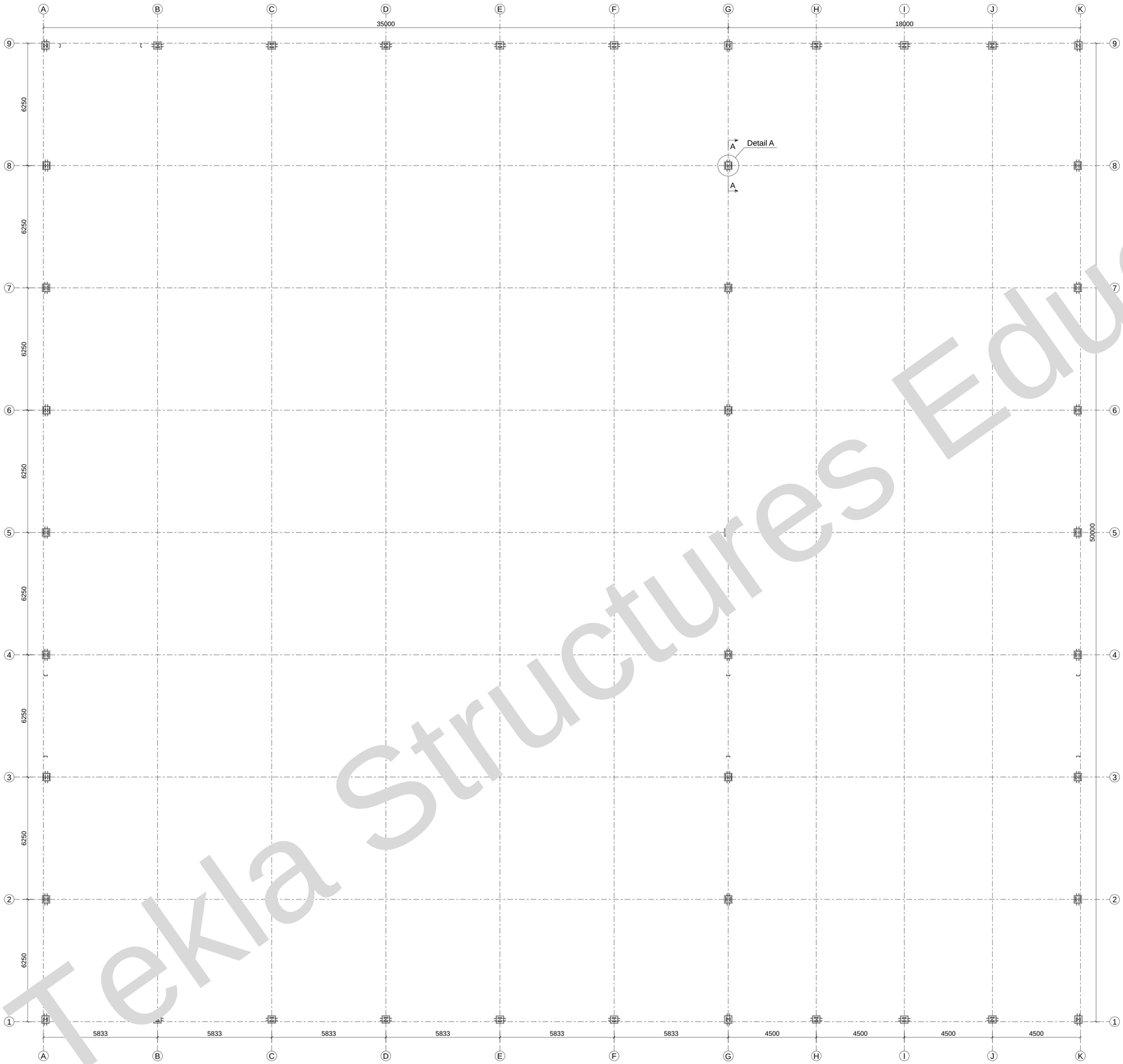
Getekend: Mick Wullems
Datum: 17.06.2022
Schaal: zie aanzicht

Opdrachtgever:
Installatietechniek
Adres bouwplaats:
Wolfstraat

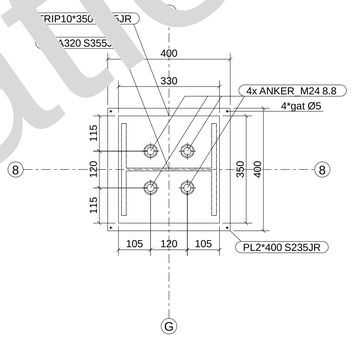
CE
1231-CPR-1090-1-2013-A-199-2

IZV ROOFING & CLADDING
Industrial Building Systems b.v.
Hof te Zandeplein 11 Postbus 30
4587 ZG Kloosterzande
tel: +31(0) 114 687200
fax: +31(0) 114 682964
www.ibs-hallenbouw.nl

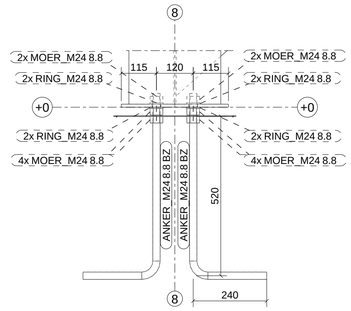
Project: 1352022
Tekening: G [5]
Formaat: A1
Status: Ter goedkeuring



Ankerplan
1:100



Detail A, 1:10



dsn A - A, 1:10

Projectleider:

Bouten: (indien niet anders aangegeven):
kwaliteit 8.8 thermisch verzinkt; Boutverbindingen na fixeren **MARKEREN**
Conservering: Natlak

Fabricage en montage volgens NEN-EN 1090-2:2008+A1:2011
Uitvoeringsklasse: XXX
Functionele tolerantie klasse: XXX

Materiaalsoorten en kwaliteiten (indien niet anders aangegeven):
Platen en profielen: S235JR volgens NEN-EN 10025-2
Buis- en kokerprof.: S275J0H vlgs NEN-EN 10210-1 (warmvervaardigd), S235JRG2 vlgs NEN-EN 10219-1 (koudvervaardigd)

Lassen (indien niet anders aangegeven):
a= 1/2t (bij 2-zijdige hoeklas) en min. a=4 vlgs nen-en-iso 2553:2014
kokers: a=1,1t rondom

Werk:
IZV Roofing and Cladding - IBS Staalbouw
Onderwerp:
Ankerplan

Getekend: Mick Wullems
Datum: 17.06.2022
Schaal: zie aanzicht

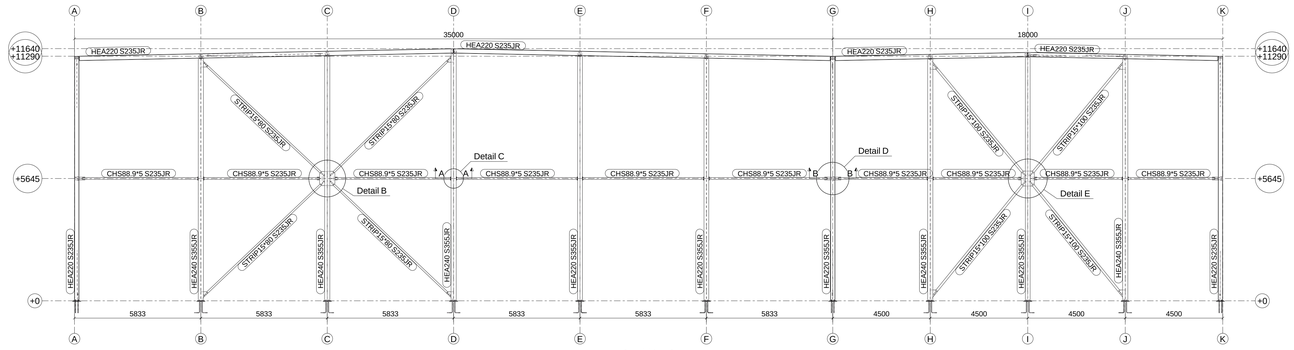
Opdrachtgever:
Installatietechniek
Adres bouwplaats:
Wolfstraat

CE
1231-CPR-1090-1-2013-A-199-2

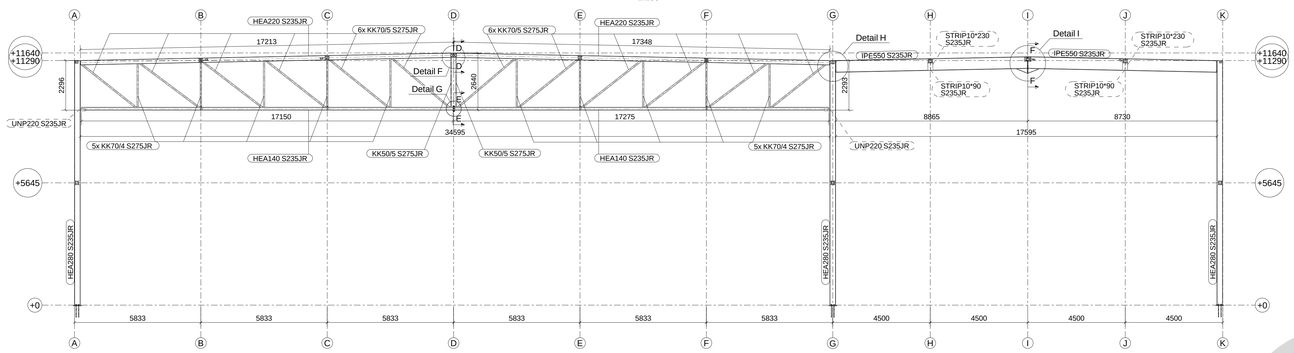
IZV ROOFING & CLADDING
Industrial Building Systems b.v.
Hof te Zandeplein 11 Postbus 30
4587 ZG Kloosterzande
tel: +31(0) 114 687200
fax: +31(0) 114 682964
www.ibs-hallenbouw.nl

Project: 1352022
Tekening: G [6]
Formaat: A1
Status: Ter goedkeuring

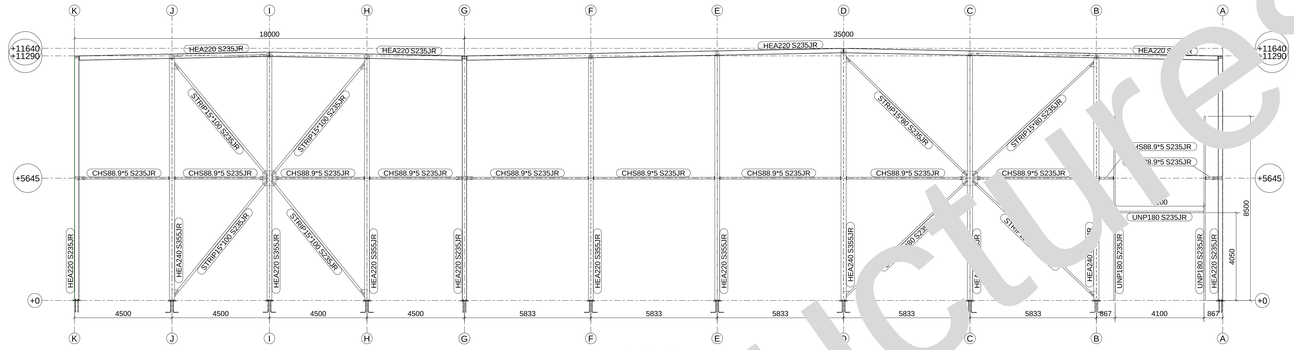
Tekla Structures Educational
Tekla Structures
Tekla Structures model 'Industriehal Hulst' afgedrukt op 17.06.2022



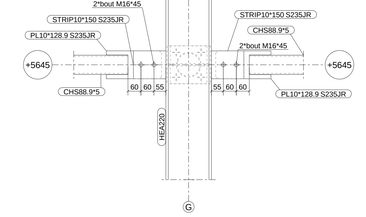
Aanzicht as 1
1:100



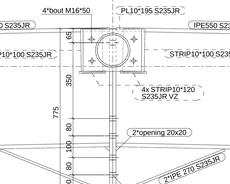
Aanzicht as 5
1:100



Aanzicht as 9
1:100

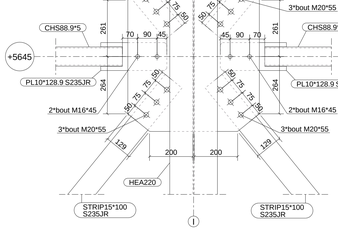


Detail B, 1:10

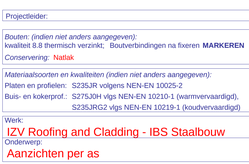


Detail F, 1:20

Detail G, 1:10



Detail C, 1:10

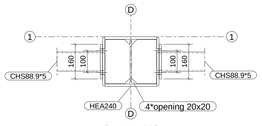


Detail H, 1:20

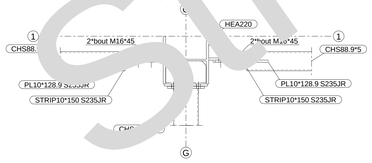
Detail D, 1:10

Detail I, 1:10

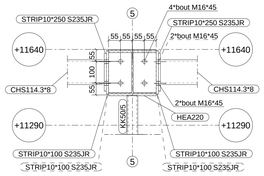
Detail E, 1:10



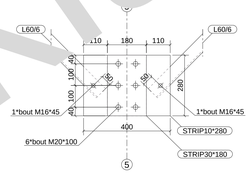
dsn A - A, 1:10



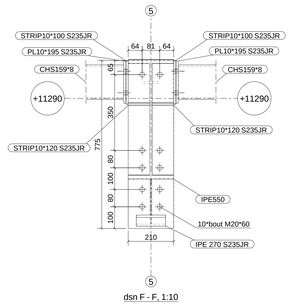
dsn B - B, 1:10



dsn D - D, 1:10



dsn E - E, 1:10



dsn F - F, 1:10

Tekla Structures Educational

Projectleider:

Bouten: *(indien niet anders aangegeven)*:
kwaliteit 8.8 thermisch verzinkt; Boutverbindingen na fixeren **MARKEREN**
Conservering: Natlak

Fabricage en montage volgens NEN-EN 1090-2:2008+A1:2011
Uitvoeringsklasse: XXX
Functionele tolerantie klasse: XXX

Materiaalsoorten en kwaliteiten (indien niet anders aangegeven):
Platen en profielen: S235JR volgens NEN-EN 10025-2
Buis- en kokerprof.: S275J0H vlgs NEN-EN 10210-1 (warmvervaardigd), S235JRG2 vlgs NEN-EN 10219-1 (koudvervaardigd)

Lassen (indien niet anders aangegeven):
a= 1/2t (bij 2-zijdige hoeklas) en min. a=4
vlgs nen-en-iso 2553:2014
kokers: a=1.1t rondom

Werk:
IZV Roofing and Cladding - IBS Staalbouw
Onderwerp:
Aanzichten per as

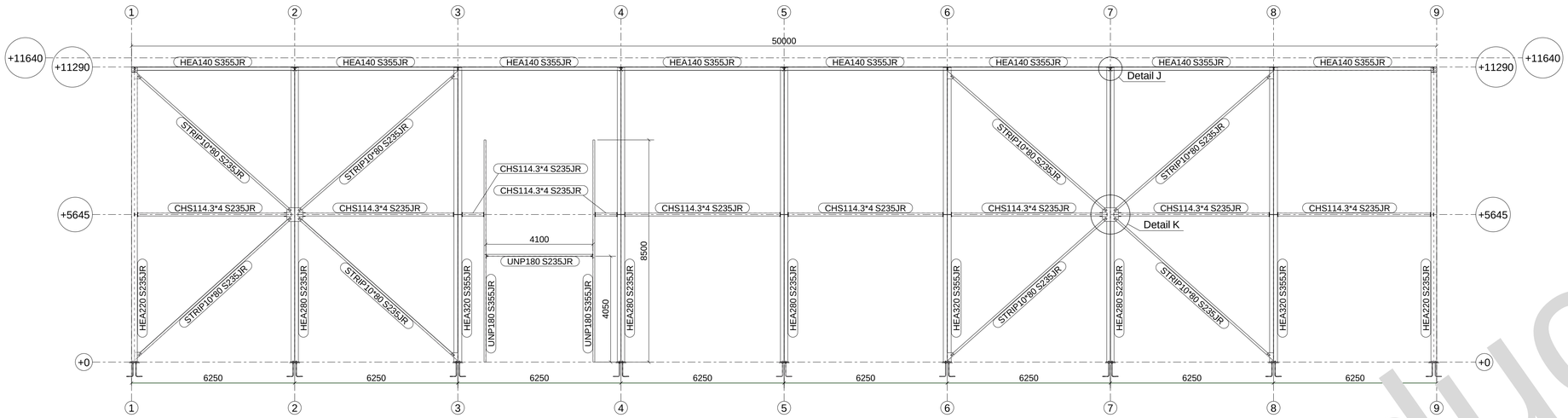
Getekend: Mick Wullems
Datum: 17.06.2022
Schaal: zie aanzicht

Opdrachtgever:
Installatietechniek
Adres bouwplaats:
Wolfstraat

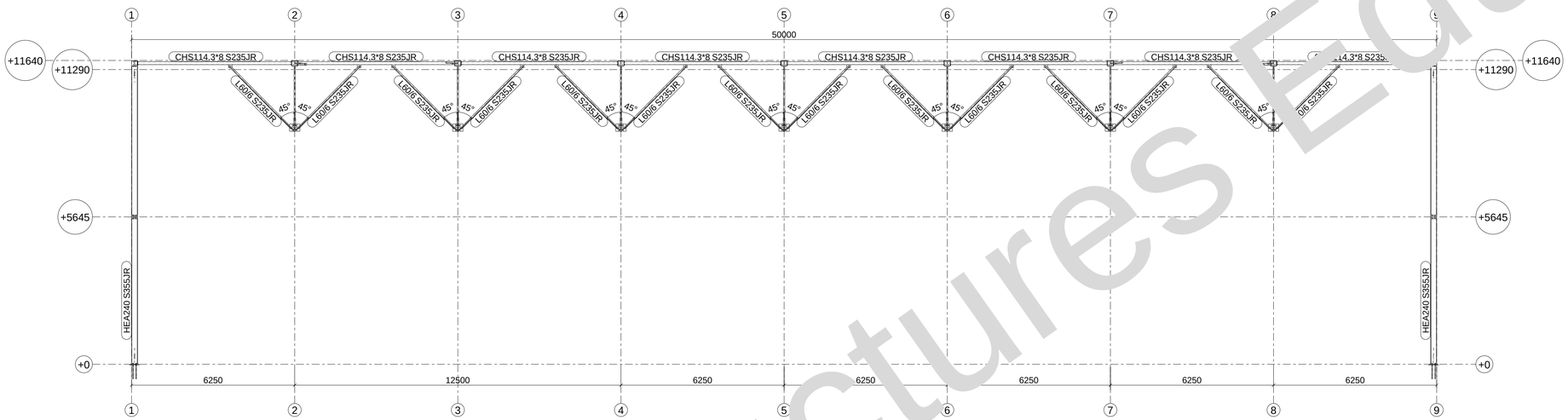
CE
1231-CPR-1090-1-2013-A-199-2

IZV ROOFING & CLADDING
Industrial Building Systems b.v.
Hof te Zandeplein 11 Postbus 30
4587 ZG Kloosterzande
tel: +31(0) 114 687200
fax: +31(0) 114 682964
www.ibs-hallenbouw.nl

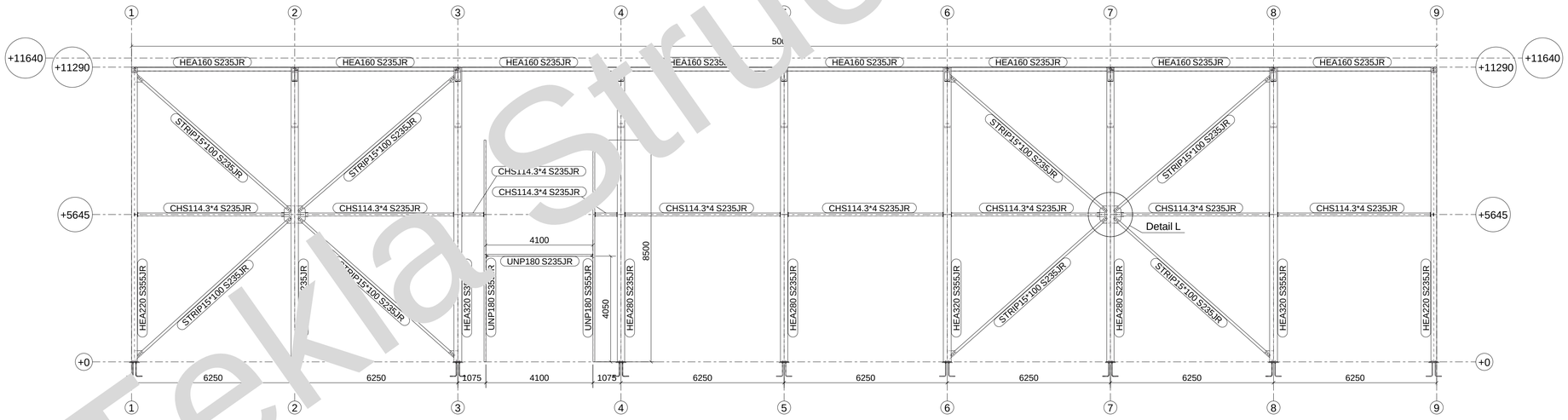
Project:
13520202
Tekening:
G [7]
Formaat:
A0
Status:
Ter goedkeuring



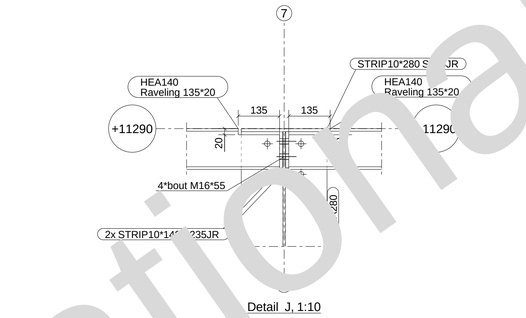
Aanzicht as A
1:100



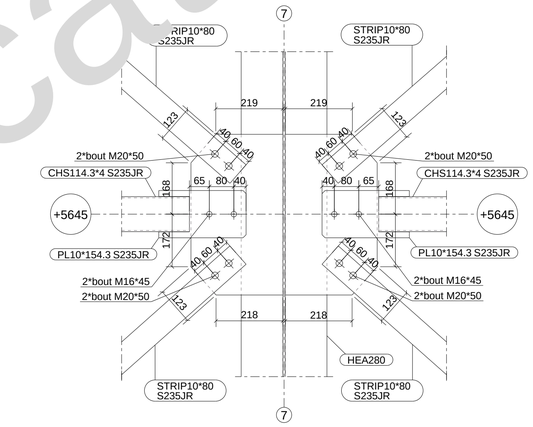
Aanzicht as D
1:100



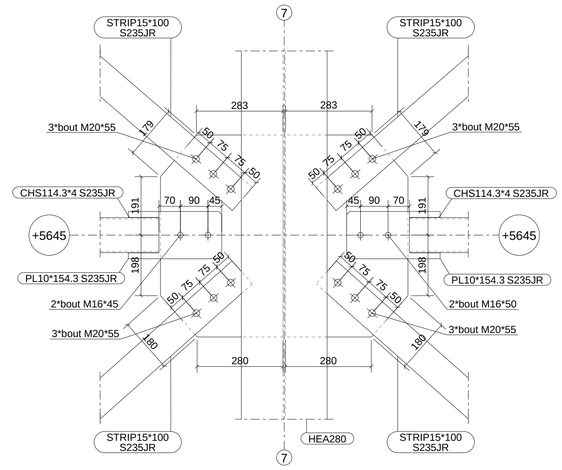
Aanzicht as G
1:100



Detail J, 1:10



Detail K, 1:10



Detail L, 1:10

Projectleider:

Bouten: (indien niet anders aangegeven):
kwaliteit 8.8 thermisch verzinkt; Boutverbindingen na fixeren **MARKEREN**
Conservering: Natlak

Fabricage en montage volgens NEN-EN 1090-2:2008+A1:2011
Uitvoeringsklasse: XXX
Functionele tolerantie klasse: XXX

Materiaalsoorten en kwaliteiten (indien niet anders aangegeven):
Platen en profielen: S235JR volgens NEN-EN 10025-2
Buis- en kokerprof.: S275J0H vlgs NEN-EN 10210-1 (warmvervaardigd), S235JRG2 vlgs NEN-EN 10219-1 (koudvervaardigd)

Lassen (indien niet anders aangegeven):
a= 1/2t (bij 2-zijdige hoeklas) en min. a=4
vlgs nen-en-iso 2553:2014
kokers: a=1,1t rondom

Werk:
IZV Roofing and Cladding - IBS Staalbouw
Onderwerp:
Aanzichten per as

Getekend: Mick Wullems
Datum: 17.06.2022
Schaal: zie aanzicht

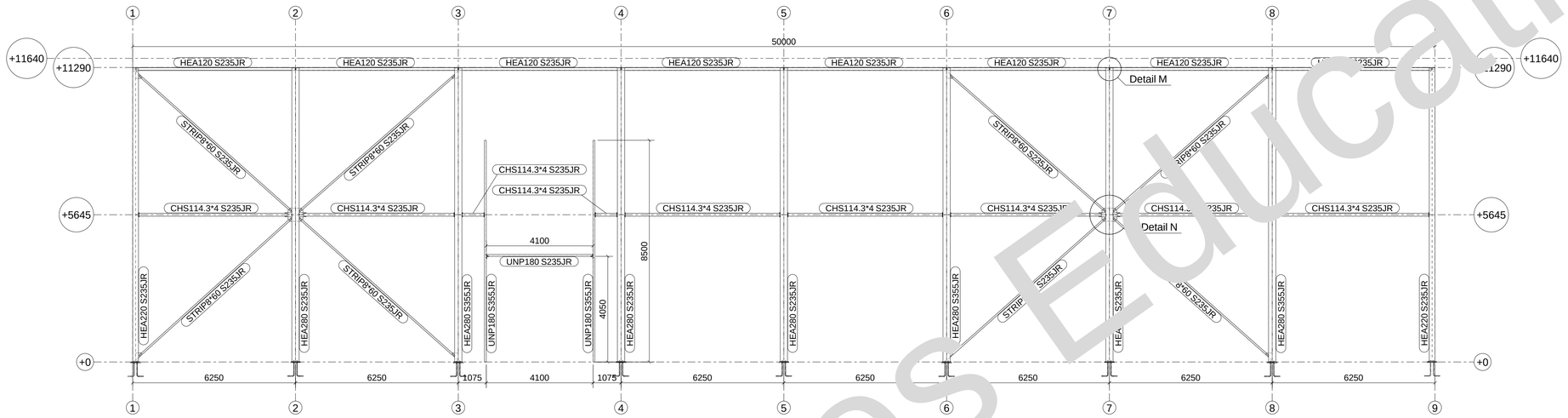
Opdrachtgever:
Installatietechniek
Adres bouwplaats:
Wolfstraat

CE
1231-CPR-1090-1-2013-A-199-2

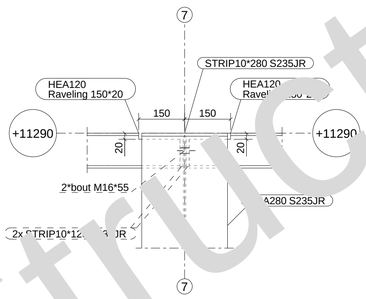
IZV ROOFING & CLADDING
Industrial Building Systems b.v.
Hof te Zandeplein 11 Postbus 30
4587 ZG Kloosterzande
tel: +31(0) 114 687200
fax: +31(0) 114 682964
www.ibs-hallenbouw.nl

Project: 1352022
Tekening: G [8]
Formaat: A1
Status: Ter goedkeuring

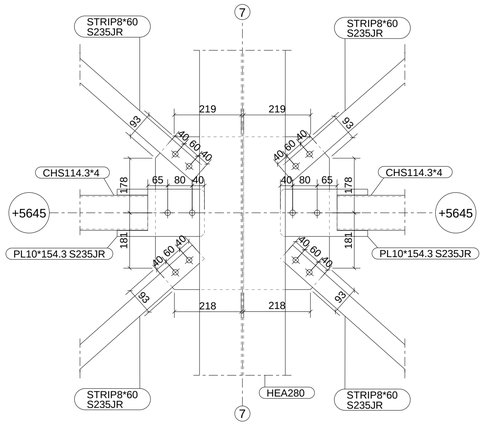
Tekla Structures Educational
Tekla Structures
Tekla Structures model 'Industriehal Hulst' afgedrukt op 17.06.2022



Aanzicht as K
1:100



tail M, 1:10



Detail N, 1:10

Projectleider:

Bouten: (indien niet anders aangegeven):
kwaliteit 8.8 thermisch verzinkt; Boutverbindingen na fixeren **MARKEREN**
Conservering: Natlak

Fabricage en montage volgens NEN-EN 1090-2:2008+A1:2011
Uitvoeringsklasse: XXX
Functionele tolerantie klasse: XXX

Materiaalsoorten en kwaliteiten (indien niet anders aangegeven):
Platen en profielen: S235JR volgens NEN-EN 10025-2
Buis- en kokerprof.: S275J0H vlgs NEN-EN 10210-1 (warmvervaardigd), S235JRG2 vlgs NEN-EN 10219-1 (koudvervaardigd)

Lassen (indien niet anders aangegeven):
a= 1/2t (bij 2-zijdige hoeklas) en min. a=4
vlgs nen-en-iso 2553:2014
kokers: a=1,1t rondom

Werk:
IZV Roofing and Cladding - IBS Staalbouw
Onderwerp:
Aanzichten per as

Getekend: Mick Wullems
Datum: 17.06.2022
Schaal: zie aanzicht

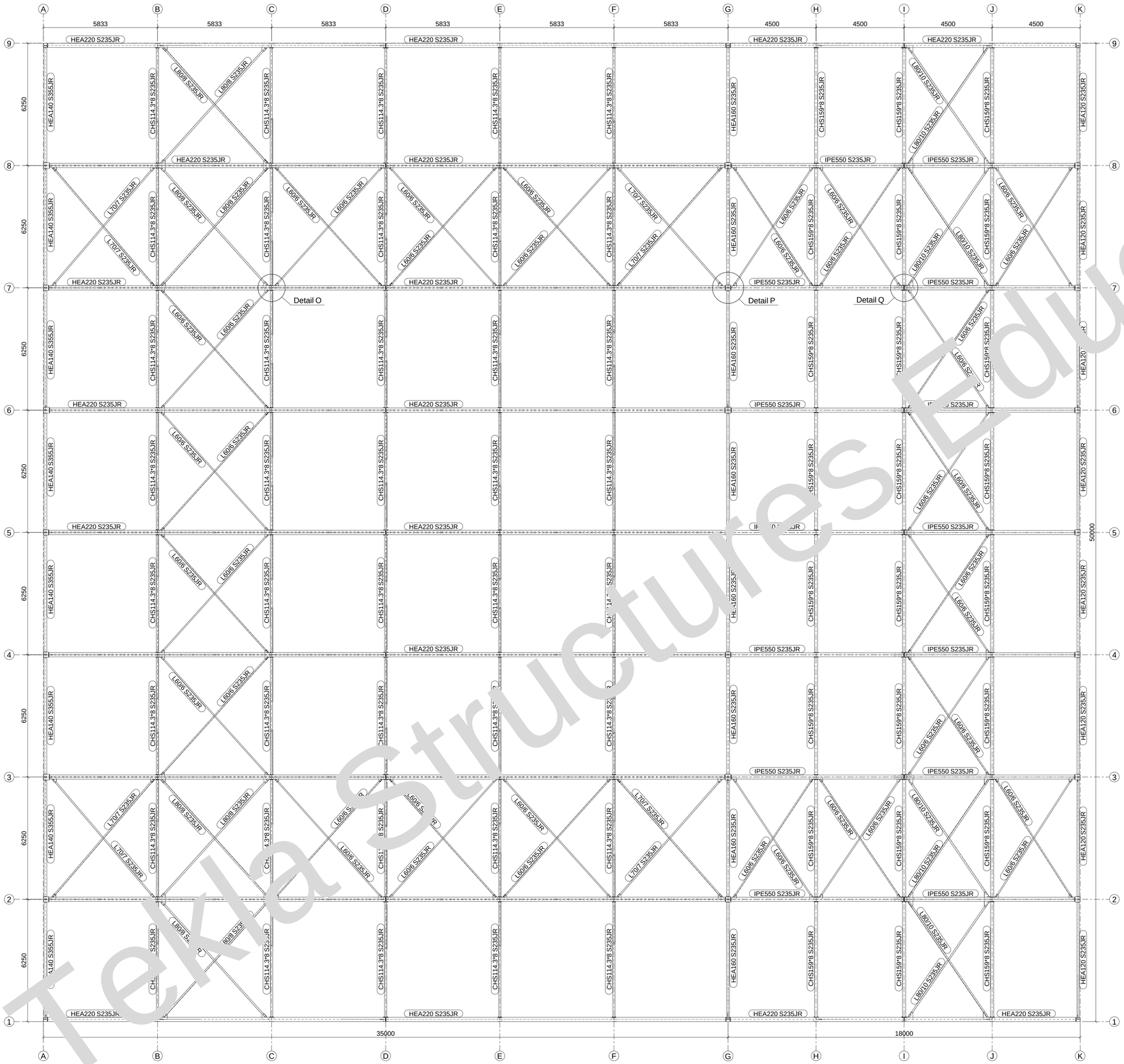
Opdrachtgever:
Installatietechniek
Adres bouwplaats:
Wolfstraat

CE
1231-CPR-1090-1-2013-A-199-2

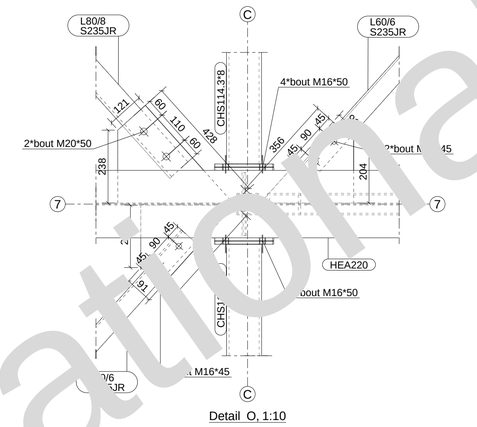
IZV ROOFING & CLADDING
Industrial Building Systems b.v.
Hof te Zandeplein 11 Postbus 30
4587 ZG Kloosterzande
tel: +31(0) 114 687200
fax: +31(0) 114 682964
www.ibs-hallenbouw.nl

Project: 1352022
Tekening: G [9]
Formaat: A1
Status: Ter goedkeuring

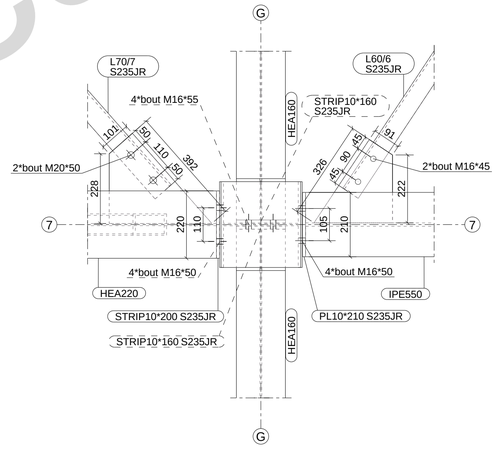
Tekla Structures Educational
Tekla Structures



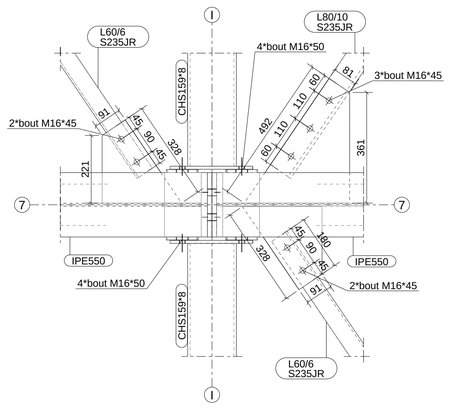
Bovenaanzicht
1:100



Detail O, 1:10



Detail P, 1:10



Detail Q, 1:10

Projectleider:	
Bouten: (indien niet anders aangegeven): kwaliteit 8.8 thermisch verzinkt; Boutverbindingen na fixeren **MARKEREN** *Conservering:* Natlak	Fabricage en montage volgens NEN-EN 1090-2:2008+A1:2011 Uitvoeringsklasse: XXX Functionele tolerantie klasse: XXX
Materiaalsoorten en kwaliteiten (indien niet anders aangegeven): Platen en profielen: S235JR volgens NEN-EN 10025-2 Buis- en kokerprof.: S275J0H vlgs NEN-EN 10210-1 (warmvervaardigd), S235JRG2 vlgs NEN-EN 10219-1 (koudvervaardigd)	*Lassen (indien niet anders aangegeven):* a= 1/2t (bij 2-zijdige hoeklas) en min. a=4 vlgs nen-en-iso 2553:2014 kokers: a=1,1t rondom
Werk: IZV Roofing and Cladding - IBS Staalbouw Onderwerp: Bovenaanzicht	Getekend: Mick Wullems Datum: 17.06.2022 Schaal: zie aanzicht
Opdrachtgever: Installatietechniek Adres bouwplaats: Wolfstraat	CE 1231-CPR-1090-1-2013-A-199-2
IZV ROOFING & CLADDING Industrial Building Systems b.v. Hof te Zandeplein 11 Postbus 30 4587 ZG Kloosterzande tel: +31(0) 114 687200 fax: +31(0) 114 682964 www.ibs-hallenbouw.nl	Project: 1352022 Tekening: G [10] Formaat: A1 Status: Ter goedkeuring

Tekla Structures Educational

Bijlage Z: Logboek

Gegevens

Naam: Mick Wullems

Onderwijsinstelling: HZ University of Applied Sciences

Studentnummer: 00078059

Bedrijf: IZV Roofing & Cladding / IBS Staalbouw

Functie: stagiair

Datum	Van	Tot	Uren	Activiteit	Geraadpleegde bronnen
7-2-2022	8.00 13.00	12.20 17.10	8,5	Bij binnenkomst heb ik een werkplek toegewezen gekregen van Sjaak Sturm. Ik heb de beschikking tot een computer, zodat ik toegang heb tot de database. Tevens heb ik een aantal brochures en tabellenboeken beschikbaar gekregen om de keuze voor bepaalde dak- en gevelbekleding te onderbouwen met voor- en nadelen. Als de dak- en gevelbekleding is bepaald kan met de maximale overspanning de stramienafstand worden bepaald. Dit resulteert in een stramienenplan en dit is het beginpunt van de constructieberekeningen. Voordat ik definitief van start ga met dit project, heb ik een rondleiding gekregen van Sjaak Sturm in het bedrijf. Daarbij heb ik kennis gemaakt met verschillende medewerkers.	› IBS Staalbouw. (z.d.). Over ons. IBS Hallenbouw. Geraadpleegd op 28 januari 2022, van https://www.ibs-hallenbouw.nl/over-ons › Barendsz, M. A., Blauwiekel, N., Hamerlinck, A. F., Den Hollander, J.-P., Huisman, R., Knüwer, G. J., Oosterveen, L., Pauw, M. C., Regtop, B., De Ridder, R., Timmerman, G. H. R., & Vreede, P. (2010). *Geprofileerde staalplaat voor daken en gevels*. Bouwen met staal. › Bouwen met staal. (z.d.-a). *Gevel- en daksystemen	Bouwen met staal*. Geraadpleegd op 7 februari 2022, van https://www.bouwenmetstaal.nl/themas/dak-en-gevelsystemen/ › Dakisolatie-advies.nl. (2019, 5 februari). *Koud dak:*

					opbouw en nadelen. Geraadpleegd op 7 februari 2022, van https://www.dakisolatie-advies.nl/koud-dak#:%7E:text=Het%20voordeel%20hiervan%20is%20dat,extra%20druk%20op%20de%20dakconstructie. › Durieux. (2020, 25 juni). *Voordelen van een warm dak tegenover een koud dak*. Geraadpleegd op 7 februari 2022, van https://dakwerkendurieux.be/voordelen-van-een-warm-dak-tegenover-een-koud-dak/ › Euro-build in Steel. (2008). *Voorbeelden in staalbouw* (The Steel Construction Institute, Red.; Bouwen met staal, Vert.). Steel Construction Institute.
8-2-2022	8.00 13.00	12.20 17.10	8,5	Verder gewerkt aan het onderzoek naar de dak- en gevelbekleding. Tevens zijn er aanpassingen verricht aan de tekeningen van de industriehal.	› Dakplaten.be. (2019, 2 mei). Dakbedekking: 5 voordelen van dakplaten voor je dakbedekking | dakplaten.be. Dakplaten. Geraadpleegd op 8 februari 2022, van https://dakplaten.be/2019/05/02/dakbedekking/#:%7E:text=Een%20dakplaat%20is%20een%20geprofileerde,eenvoudig%20tegen%20regen%20en%20wind.
9-2-2022	8.00 13.00	12.20 17.10	8,5	Verder gewerkt aan het onderzoek naar de dak- en gevelbekleding. Dit onderzoekje is voor nu afgerond met een conclusie. Vervolgens ben ik begonnen met het berekeningen van de windbelastingen, zodat ik dit kan gebruiken bij het bepalen van de profielen voor de binnendoos. De doelstellingen voor morgen zijn het opstellen van een planning, het maken van de tekeningen en het bepalen van profielen voor de binnendoos.	› General Services Holland bv. (2018, 20 september). Thermische isolatie. GSH | Industrial projects. Geraadpleegd op 9 februari 2022, van https://gshbv.nl/producten-en-diensten/isolatie/thermische-isolatie/ › Isoleren-expert.nl. (2021, 4 maart). PUR Isolatieplaten: Voordelen, Eigenschappen & Prijs. Geraadpleegd op 9 februari 2022, van https://isoleren-expert.nl/isolatieplaten/pur/ › Isover. (z.d.-b). Isover - Isover Cladipan 31 / Insulation Solutions. Insulation Solutions. Geraadpleegd op 9

					februari 2022, van https://www.insulationsolutions.nl/producten/isover/isover-cladipan-31/ › Knauf Insulation. (z.d.). Minerale wol van. Geraadpleegd op 9 februari 2022, van https://www.knaufinsulation.nl/producten/minerale-wol-van-knauf-insulation › Mijzen, D. T. (2021, 1 december). Rc-waarde Berekenen en Uitleg | Scheidingsconstructie | HBA B.V. Handelbouwadvies. Geraadpleegd op 9 februari 2022, van https://www.handelbouwadvies.nl/rc-waarde-berekenen/ › Online Bouwbesluit. (2022, 1 februari). Online Bouwbesluit. Geraadpleegd op 9 februari 2022, van https://www.onlinebouwbesluit.nl/ › Solvari BV. (2020, 14 december). Rotswol isolatie. Isolatie-info.nl. Geraadpleegd op 9 februari 2022, van https://www.isolatie-info.nl/isolatiemateriaal/rotswol › Solvari BV. (2021a, juni 10). Cellenglas isolatie. Isolatie-info.nl. Geraadpleegd op 9 februari 2022, van https://www.isolatie-info.nl/isolatiemateriaal/cellenglas › Solvari BV. (2021b, november 25). Soorten isolatie. Isolatie-info.nl. Geraadpleegd op 9 februari 2022, van https://www.isolatie-info.nl/soorten-isolatie

					› Verdouw. (z.d.). Wat is glaswol? - Verdouw Bouwproducten. Geraadpleegd op 9 februari 2022, van https://www.verdouw.nu/wat-is-glaswol
10-2-2022	8.00 13.00	12.20 17.10	8,5	Begonnen met het maken van de planning. Daaruit kan ik afleiden dat het lastig wordt om alles binnen de deadline af te ronden, dus er moet tempo gemaakt worden. Daarna bij ik verder gegaan met het verbeteren/aanscherpen van de windbelastingen.	-
11-2-2022	7.50 13.00	12.40 17.10	9	De planning afgerond en het portaal ingevoerd in Diamonds BuildSoft. Tevens zijn toevoegingen en aanpassingen gedaan aan de windbelastingen en de bepaling van de profielen voor de gevels en de daken. Ten slotte zijn er aanpassingen gedaan aan de inhoud van de inleiding.	-
14-2-2022	8.30 13.00	12.30 17.00	8	Windbelastingen aangepast. Tevens heb ik een portaal ingevoerd in Diamonds BuildSoft met de windbelastingen.	-
15-2-2022	9.30 13.00 20.30	12.30 17.30 22.30	9,5	Een online bespreking gehouden met afstudeerdocent J. de Keijzer en Sjaak Sturm. Later heb ik de windbelastingen aangepast door de inwendige drukcoëfficiënt toe te voegen aan de berekening en te koppelen aan de resultaten van Diamonds BuildSoft. De windbelasting is daarmee afgerond. Tevens ben ik verder gegaan met de bouwkundige tekeningen.	› De Lepper, R. (2022, 14 januari). Is een constructieberekening verplicht? BouwadviesShop.nl. Geraad-pleegd op 15 februari 2022, van https://bouwadvies-shop.nl/verbouw-tips/constructieberekening/is-een-constructieberekening-verplicht/
16-2-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De sneeuwbelastingen en wateraccumulaties uitgewerkt met handberekeningen. De belastingen in Diamonds BuildSoft zijn aangepast volgens de waarden uit deze berekeningen. Tevens zijn de windbelastingen aangepast en er is voor een eerste keer gekeken wat de resultaten zijn.	› Europese Commissie voor Normalisatie. (2011). NEN-EN 1991–1-3+C1 - Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1–3: Algemene belastingen - Sneeuwbelasting. NEN-EN 1991–1-3+C1 - Eu-rocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1–3: Algemene belastingen - Sneeuwbelasting, 2011, 16–24.

					› Nederlands Normalisatie-instituut. (2011). NEN-EN 1991–1-3+C1 (nl) - Eurocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1–3: Algemene belastingen - Sneeuwbelasting. NEN-EN 1991–1-3+C1 (nl) - Eu-rocode 1: Belastingen op constructies - Deel 1–3: Algemene belastingen - Sneeuwbelasting, 2011, 4.
17-2-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De laatste hand gelegd aan de sneeuwbelastingen en wateraccumulaties. Omdat er veel voortgang is gemaakt in deze eerste weken heb ik het rapport verder opgeschoond en opnieuw gestructureerd. Er zijn tevens een aantal toevoegingen en aanpassingen gedaan aan de uitgangspunten, randvoorwaarden en de gewichten die gerekend worden voor de buitenschil van de industriehal.	-
18-2-2022	8.15 13.00 20.00	12.45 17.00 22.00	10,5	De gewichten van de dakconstructie opnieuw bepaald volgens de aanwijzingen van Sjaak. Het soortelijk gewicht van glaswol varieert veel. Daarna zijn verschillend rekenmodellen gemaakt in Diamonds BuildSoft voor wind en sneeuw met HEA, IPE en kokerprofielen. De constructiedelen zijn door het rekenprogramma geoptimaliseerd.	-
21-2-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De profielen van het binnendoossysteem opnieuw bepaald. Voor een isolatiedikte van 150 mm is een SAB B90/500 nodig, geen SAB B140/600. De bepaling van de profielen is opnieuw gedaan. De permanente belastingen zijn opnieuw berekend en opnieuw ingevoerd in de modellen in Diamonds BuildSoft.	› Hardeman van Harten. (2021, 19 januari). Binnendozen. Geraadpleegd op 21 februari 2022, van https://hardeman-vanharten.nl/profielplaten-opbouwsystemen/binnendozen/ › Insulation Solutions. (z.d.). Recticel - RECTICEL Powerdeck / Insulation Solutions. Geraadpleegd op 21 februari 2022, van https://www.insulationsolutions.nl/producten/recticel/recticel-powerdeck/

					› Isover. (z.d.-a). CLADIPAN 32. Geraadpleegd op 21 februari 2022, van https://www.isover.nl/producten/cladipan-32 › Kingspan Group. (z.d.). Sandwichpanelen. Geraadpleegd op 21 februari 2022, van https://www.kingspan.com/nl/nl-nl/producten/geisoleerde-sandwichpanelen/kenniscentrum/voordelen-van-sandwichpanelen/wat-zijn-sandwichpanelen › Qwinpro dak- en wandpanelen B.V. (2021, 9 december). Wat is een sandwichpaneel? Waarom zou je sandwichpanelen gebruiken? Qwinpro. Geraadpleegd op 21 februari 2022, van https://www.qwinpro.nl/wat-is-een-sandwichpaneel/ › Reisiger, A. (2020, 28 september). Wat is een sandwichpaneel? Janjp.nl - Bouwmaterialen webshop. Geraadpleegd op 21 februari 2022, van https://www.janjp.nl/wat-is-een-sandwichpaneel/#:%7E:text=Een%20sandwichpaneel%20bestaat%20uit%20twee,wordt%20door%20de%20twee%20buitenplaten. › SAB-profiel - A Tata Steel Enterprise. (z.d.). Talloze mogelijkheden met SAB Binnendozen. Geraadpleegd op 21 februari 2022, van https://www.sabprofiel.nl/producten/binnendozen.html › Webmaster Lekkageservice. (2020, 14 juli). Wat is een koudebrug en wat kun je eraan doen? Lekkage-service. Geraadpleegd op 21 februari 2022, van

					https://www.lekkageservice.nl/nieuws/wat-is-een-koudebrug/
22-2-2022	8.20 13.00 20.30	12.30 17.20 22.45	10,75	Het rapport uitgeprint voor Sjaak. Tevens is er verder gewerkt aan het stappenplan voor de invoer in Diamonds BuildSoft. Op advies van Sjaak is het toch beter om te kiezen voor 200 mm glaswolisolatie, omdat er koudebruggen kunnen ontstaan en daardoor de isolatiewaarde van de gevels minder wordt. Door de extra dikte wordt het verlies aan warmte weerstand gecompenseerd. Dat betekent dat de aanpassingen van gisteren moeten worden herstelt naar wat het voorheen was. Verder is het detail van de gevels en het dak getekend, zodat duidelijk is hoeveel hoogte er over blijft voor het vakwerk.	› Driessen, K. (2021, 29 juni). Is PIR isolatie brandbaar? PIR isolatie XL. Geraadpleegd op 22 februari 2022, van https://www.pirisolatiexl.nl/blog/is-pir-isolatie-brandbaar › Essent. (z.d.). Wat is een koudebrug en hoe los je het op? | Essent. Geraadpleegd op 22 februari 2022, van https://www.essent.nl/kennisbank/isolatie/hoe-werkt-isolatie/koudebrug
23-2-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De feedback van Sjaak verwerkt in het rapport, waarbij ook extra toevoegingen gedaan zijn aan de motivatie voor de keuze van PIR-panelen in het dak.	-
24-2-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De wateraccumulaties voor het midden van het dak opnieuw berekend en aangepast in het rapport. Tevens zijn er nieuwe rekenmodellen gemaakt met kokerprofielen voor wind en sneeuw, bij 20, 18 en 16 velden vakwerkspanten.	-
25-2-2022	8.20 13.00	12.30 17.05	8,25	Een stroomdiagram gemaakt die de methode van het project visualiseert. Daarnaast is er toevoeging gedaan aan de berekeningen met betrekking tot wateraccumulaties.	› NedZink. (2021, 1 december). Capaciteit HWA berekenen - HWA buizen & dakgoten. Geraadpleegd op 25 februari 2022, van https://www.nedzink.com/nl/hemelwaterafvoer/capaciteit-hwa-berekenen/
26-2-2022	15.00	17.00	2	Rekenmodellen in Diamonds BuildSoft gemaakt, aangepast en geoptimaliseerd.	-

27-2-2022	15.00	17.00	2	Rekenmodellen in Diamonds BuildSoft gemaakt, aangepast en geoptimaliseerd.	-
28-2-2022	8.20 13.00	12.40 17.25	8,75	Rekenmodellen in Diamonds BuildSoft gemaakt, aangepast en geoptimaliseerd.	-
1-3-2022	8.20 13.00	12.40 17.25	8,75	Advies gekregen van Sjaak hoe ik de rekenmodellen in Diamonds BuildSoft moet opbouwen. Daarnaast heb ik de verkeerde vrije hoogte aangehouden van 10,20 m, maar dit moet minimaal 9,00 m zijn. Hierdoor kan mijn vakwerk een stuk hoger worden dan ik in eerste instantie dacht. Het resultaat hiervan is dat ik alle rekenmodellen opnieuw moet opbouwen.	-
2-3-2022	8.20 13.00	12.40 17.25	8,75	Nieuw advies gekregen van Sjaak hoe ik de rekenmodellen in Diamonds BuildSoft moet invoeren. Ik mistte bijvoorbeeld nog een steunpunt. De analyses zijn opnieuw uitgevoerd en later deze week kunnen dan de waarden die voortkomen uit de optimalisatie worden gebruikt voor de toetsingen.	-
3-3-2022	8.20 13.00	12.40 17.25	8,75	Onderzoek gedaan naar de maatgevende momenten, dwarskrachten en normaalkrachten in Diamonds BuildSoft. De maatgevende staven zijn bepaald en in tabellen worden de bijbehorende waarden ingevoegd. Tevens is er onderzoek gedaan naar vakwerken en welke typen er voorkomen. Op basis van argumentatie met voor- en nadelen is gekozen voor een Pratt vakwerk (N-ligger). Verder is de Teams meeting van volgende week ingepland.	› InfoNu. (2013). Wat zijn constructief sterke vormen? Geraadpleegd op 3 maart 2022, van https://weten-schap.infonu.nl/techniek/114062-wat-zijn-constructief-sterke-vormen.html

4-3-2022	8.20 13.00	12.15 17.05	8	Sterkte en stabiliteitstoetsingen gemaakt van het vakwerk met 16 velden, met zonnepanelen en windbelasting. Tevens zijn de momenten, dwarskrachten en normaalkrachten van een vakwerk met 12 velden in tabellen gezet, zodat dezelfde toetsing gemaakt kan worden. Als de profielen bepaald zijn kan definitief worden gekozen voor een bepaald vakwerk.	-
7-3-2022	11.00 15.00 20.00	13.00 18.20 21.40	7	De keuze voor het huidige vakwerk is niet goed onderbouwd. Om die reden voeg ik een hoofdstuk toe over vakwerken met allerlei algemene informatie. Door bij mijn keuze terug te gaan naar het begin laat ik zien dat er onderzoek is gedaan naar het beste resultaat.	-
8-3-2022	11.00 15.00 20.00	13.00 18.20 21.40	7	Verder gewerkt aan de achtergrond met betrekking tot vakwerken. Er zijn tevens rekenmodellen gemaakt voor Warren, Pratt en Howe vakwerken. Het beste resultaat wordt gekozen.	-
9-3-2022	11.00 15.00 20.00	13.00 18.20 21.40	7	De rekenmodellen zijn afgerond. In alle modellen van Warren, Pratt of Howe worden dezelfde profielen gebruikt voor bovenrandstaven, onderrandstaven, diagonalen en verticalen. Nu blijkt dat de staven opnieuw moeten worden geanalyseerd. Dit werk zet ik morgen verder voort.	-
10-3-2022	15.00 20.00	18.15 22.30	5,75	Begonnen met de theoretische achtergrond voor raatliggers en plaatliggers. De ‘afgeronde’ rekenmodellen van gisteren bevatten nieuwe fouten. Deze ga ik morgen eruit filteren.	-

11-3-2022	15.00 20.00	18.15 22.30	5,75	Een aantal problemen uit de rekenmodellen kunnen filteren, maar niet allemaal. De bevindingen na de optimalisatie zijn anders dan voorheen en ik kan niet achterhalen waardoor dit wordt veroorzaakt.	-
13-3-2022	15.00	18.00	3	Extra toevoegingen gedaan aan de achtergrond met betrekking tot raatliggers.	› Grünbauer, J. (z.d.-b). *Slim construeren met raatliggers . . ..* Grünbauer BV. Geraadpleegd op 13 maart 2022, van http://www.grunbauer.nl/ned/inhoud1.htm › Joostdevree.nl. (z.d.-b). raatligger. Geraadpleegd op 13 maart 2022, van https://www.joostdevree.nl/shtmls/raatligger.shtml › Mouw Hoedliggers. (z.d.). Raatliggers. Geraadpleegd op 13 maart 2022, van https://compositesteelbeams.com/nl/onze-liggers/raatliggers
14-3-2022	8.15 13.00 20.00	12.45 17.15 23.30	12,25	Nieuwe optimalisaties uitgevoerd ter voorbereiding op de keuze voor een vakwerkligger. Dit, nadat de fouten in de rekenmodellen werden achterhaald. Tevens is verdere theoretische achtergrond verzameld met betrekking tot raatliggers en plaatliggers. Daarmee wil ik bereiken dat de theoretische achtergrond zo compleet mogelijk is voor het einde van deze week.	› Joostdevree.nl. (z.d.-a). plaatligger. Geraadpleegd op 14 maart 2022, van https://www.joostdevree.nl/shtmls/plaatligger.shtml › Nederlandse Bruggenstichting. (z.d.-a). Plaatligger. Geraadpleegd op 14 maart 2022, van https://bruggenstichting.nl/plaatligger#:%7E:text=Voor%201950%20werden%20die%20liggers,aan%20de%20lijfplaten%20worden%20gelast. › Structural Guide. (2020, 26 oktober). Plate Girder. Geraadpleegd op 14 maart 2022, van https://www.structuralguide.com/plate-girder/
15-3-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	Optimalisaties definitief afgerond. De handberekeningen van de sterkte en stabiliteitscontrole zijn afgerond. De	› Grünbauer, J. (z.d.-a). Raatliggers met ronde openingen (patrijspoortliggers). Grünbauer BV. Geraad-pleegd op

				keuze voor een vakwerkligger is definitief gemaakt. Nu ga ik dit vakwerk verder optimaliseren met HEA of IPE profielen en ga ik achterhalen wat de effecten op het eigengewicht zijn.	15 maart 2022, van http://www.grunbauer.nl/ned/patrijspoort.htm › Joostdevree.nl. (z.d.-c). verstijvingsligger. Geraadpleegd op 15 maart 2022, van https://www.joostdevree.nl/shtmls/verstijvingsligger.shtml
16-3-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	Verder gewerkt aan de optimalisatie met HEA-profielen. De uitwerking is op papier gezet. De rest van de dag heb ik de handleiding van Tekla Structures doorgenomen.	-
17-3-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 22.30	10	De Tekla Structures die ik heb gedownload heeft niet de beschikking over een dataset met standaardprofielen. Daarom moet ik gebruikmaken van de Tekla Structures op de kantoorcomputer. Ik ben verder gegaan met het doornemen van de handleiding. Daarnaast heb ik een poster gemaakt en inlevert op OnStage. 's Avonds heb ik het projectvoorstel verder afgewerkt, zodat het een goed beeld geeft van de inhoud van de afstudeeropdracht.	-
18-3-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	Verder gegaan met de tekeningen in Tekla Structures. Het is gelukt om een eerste opzet te maken van het portaal met een vakwerkligger. Later kan worden overwogen om andere profielen toe te kennen aan de verschillende staven.	-
19-3-2022	15.00	18.00	3	De keuze voor de vakwerkligger wil ik nader toelichten met een onderzoekje naar drie soorten vakwerkliggers. Daarvoor moet ik eerst weten welke soorten vakwerkliggers er allemaal zijn, zodat ik daaruit een selectie van drie liggers kan halen. Dit stuk tekst is vandaag opgezet.	› Nederlandse Bruggenstichting. (z.d.-b). Vakwerkbrug. Geraadpleegd op 19 maart 2022, van https://bruggenstichting.nl/vakwerkbrug

21-3-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	Er zat een fout in de rekenmodellen. Een aantal staven hadden een andere zwaardere staalkwaliteit, waardoor deze slanker waren dan de staven in S235 staal. Deze fout is aangepast en de analyses zijn opnieuw uitgevoerd.	-
22-3-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	Mijn begeleider vertelde mij dat buisprofielen vooral uit S275 staal bestaan. Dat betekent dat ik de vakwerkliggers voor de analyse moet aanpassen en opnieuw optimaliseren in Diamonds BuildSoft. Dat heb ik vandaag gedaan en de gegevens opnieuw verzameld.	-
23-3-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De handberekeningen voor sterkte en stabiliteit opnieuw uitgevoerd voor alle vakwerkliggers en ook de definitieve, nadat de keuze voor één vakwerkligger werd vastgelegd. De handberekeningen heb ik ook meteen digitaal gemaakt, zodat deze in de bijlage kunnen.	-
24-3-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De gewichten van de verschillende vakwerkliggers berekend. Nu blijkt dat een Pratt vakwerkligger het lichtste in gewicht is. Voorheen was dit een Howe vakwerkligger. De verschillen zijn zo klein, dat iedere verandering de conclusie kan veranderen. Daarna is een begin gemaakt aan de analyse van de raatligger met een rekenmodel in Diamonds BuildSoft.	-
25-3-2022	8.20 13.00	12.30 17.00	8	De stramienafstanden van de kopgevels zijn enige tijd geleden aangepast. Nu bleek dat de windbelastingen hier nog niet op zijn aangepast. Dat heb ik als eerste gedaan. Vervolgens heb ik de wijzigingen van het projectvoorstel doorgevoerd naar het afstudeerrapport. Het rapport heb ik	-

				doorgestuurd naar begeleider Sjaak Sturm. Daarna ben ik verdergegaan met de raatligger.	
26-3-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	Een agenda voorbereidt voor de tussentijdse vergadering van morgen. Tevens heb ik wat andere delen van het rapport uitgeprint. Later die dag heb ik nieuwe feedback mogen ontvangen van Sjaak Sturm met betrekking tot het afstudeerrapport. Wat ik ook heb gedaan is een laatste bewerking doen aan de windbelastingen.	-
27-3-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 22.00	10,5	Afstudeerdocent Joachim de Keijzer mogen ontvangen op het stageadres. We hebben een bespreking gehouden van ongeveer een uur over de ervaring en de voortgang tot nu toe. Ook hebben we het gehad over hoe het vanaf hier verder zal gaan. Later die ochtend hebben we een rondleiding gekregen in de werkplaats van IZV en IBS van Sjaak Sturm. Later die dag ben ik verder gegaan met het uitwerken van de plaatligger en het aanpassen van de rekenmodellen in BuildSoft wat betreft de kniklengtes.	-
28-3-2022	8.20 13.00 18.00	12.30 17.20 18.30	9	De kniklengtes aangepast voor lengtes die niet gereduceerd zijn, dus 100% de lengte van iedere maatgevende staaf. De handmatige stabiliteitsberekening is aangepast en ook de sterkte berekening, omdat de bovenrandstaaf veranderde van een HEA 200 naar een HEA 220 in S235. Later heb ik gewerkt aan de bepaling van de zeeghoogte voor de plaatligger. Een zeeghoogte is nodig om doorbuiging te kunnen compenseren en bij maximale doorbuiging nog	-

				steeds te voldoen aan het minimale afschot voor wateraf-voer.	
29-3-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.00 22.00	10	Verder gewerkt aan het dimensioneren van verschillende plaatliggers. Waar ik achter ben gekomen is dat de plaat-dikten van de plaatligger zo minimaal mogelijk moeten zijn, zodat de hoogte en de breedte moet toenemen om vol-doende traagheidsmoment te bereiken. Tegelijkertijd wordt de ligger ook lichter als het gaat om het eigenge-wicht. Tevens is de notulen afgerond van de tussentijdse vergadering. Deze is ingeleverd samen met het evaluatie-formulier.	-
4-4-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	Gestart met het bijwerken van dit logboek. Daarna ben ik verder gegaan met het verwerken van de feedback van Sjaak Sturm. Voornamelijk heb ik gewerkt aan het 3D mo-del in SketchUp om het ontwerp van de hal meer tot leven te brengen. Dit model kan ook worden gebruikt om duide-lijker te maken waar de windrichtingen zich bevinden.	-
5-4-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	Beeldmateriaal gehaald uit het SketchUp-model om te ge-bruiken in het rapport en de presentaties. Daarnaast is er verder gewerkt aan de raatligger en de plaatligger.	› Pelecon B.V. (2020, 20 december). De toekomst: duur-zaamheid met staal – pelecon. DE TOEKOMST: DUUR-ZAAMHEID MET STAAL. Geraadpleegd op 5 april 2022, van https://pelecon.nl/de-toekomst-duurzaamheid-met-staal/
6-4-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	Definitief een raatligger bepaald om te worden toegepast in de overspanning van 35,00 m. Daarnaast is ook een raat-ligger bepaald voor de overspanning van 18,00 m. Er is be-gonnen met de kipstabiliteit van beide raatliggers.	-

7-4-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	Verder gewerkt aan de kipstabiliteit van beide raatliggers. Daarnaast is een nieuwe doorsnede gemaakt van de plaatligger met een slanker lijf en een dikkere flens. Ook van deze plaatligger ben ik begonnen met de kipstabiliteit.	-
8-4-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	3D-model in SketchUp verder aangevuld met details. Het model is verder afgerond en klaar om te worden gebruikt voor illustraties in de presentie bij de terugkomdag. Verder ben ik verder gegaan met de aanvullingen aan de berekeningen van kipstabiliteit. Alles zou nu moeten kloppen.	-
9-4-2022	15.00	17.00	2	Voorbereidingen getroffen voor de terugkomdag.	-
11-4-2022	9.00 13.00	12.30 16.30	7	Presentaties bijgewoond van medestudenten. Om 14.20u heb ik ook zelf een presentatie gegeven over de voortgang tot nu toe.	-
12-4-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De berekeningen van kipstabiliteit gecontroleerd en onderzoek gedaan naar kipsteunen in de dakplaat. Hierover is weinig te vinden, dus moet Sjaak Sturm hierover raadplegen. Verder heb ik een plooiberekening gemaakt. Deze blijkt niet helemaal te kloppen, dus morgen een nieuwe poging.	-
13-4-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De raatligger voldeed niet aan het aantal kipsteunen. Voor het vergelijk is het beter om het aantal kipsteunen hetzelfde te houden als bij de vakwerkligger. Daarom is een nieuwe doorsnede gemaakt van de raatligger met een UNP 400 om de onderflens te versterken.	-
14-4-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De plaatligger voldeed niet aan het aantal kipsteunen. Voor het vergelijk is het beter om het aantal kipsteunen	-

				hetzelfde te houden als bij de vakwerkligger. Daarom is een nieuwe doorsnede gemaakt van de plaatligger met een UNP 400 om de onderflens te versterken.	
15-4-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De profielen van de kipsteunen berekend en verwerkt in een tekening die ik later opmaak tot een calculatietekening.	-
19-4-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	Calculatietekeningen gemaakt van de vakwerkligger, raatligger en plaatligger. Deze tekeningen ga ik gebruiken voor het maken een calculatie die de verschillen in kosten laat zien van de verschillende overspanningsconstructies. Dit bepaald voor een deel de variantenstudie.	-
20-4-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De linker buitenkolom bepaald en berekend volgens NEN-EN 1993-1-1.	-
23-4-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 23.30	12	De rechter buitenkolom en de middenkolom bepaald en berekend volgens NEN-EN 1993-1-1.	-
24-4-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 23.30	12	Begonnen met het maken van een schets voor windliggers en de windbokken. In de uitgangspunten werd gesproken over een vierzijdig geschoorde constructie, dus in het dak komen één of twee windliggers en in iedere gevel komt minimaal één windbok te zitten. Verder is materiaal verzameld dat ik nodig zal hebben bij het berekenen van de windverbanden.	-
25-4-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De eerste uitwerking gemaakt van de belastingen op windliggers A en B. Hierbij is een schema gemaakt van de belasting afdracht naar de windligger en zijn de puntlasten	-

				bepaald. Dit schema is ingevoerd in Diamonds BuildSoft en de trekkrachten in de staven zijn bepaald. Er is een selectie gemaakt van de staven die worden berekend.	
26-4-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	Windliggers A is ingevoerd in Diamonds BuildSoft en doorgerekend. De resultaten hieruit zijn verwerkt in het verslag en gebruikt in de berekening van de windverbanden. Voor de dimensionering van de staalprofielen in van de windligger is al rekening gehouden met gataftrek en de boutverbindingen.	-
27-4-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	Windliggers B is ingevoerd in Diamonds BuildSoft en doorgerekend. De resultaten hieruit zijn verwerkt in het verslag en gebruikt in de berekening van de windverbanden. Voor de dimensionering van de staalprofielen in van de windligger is al rekening gehouden met gataftrek en de boutverbindingen.	-
30-4-2022	8.30 13.00	12.30 17.00	8	Windliggers C/D is ingevoerd in Diamonds BuildSoft en doorgerekend. De resultaten hieruit zijn verwerkt in het verslag en gebruikt in de berekening van de windverbanden. Voor de dimensionering van de staalprofielen in van de windligger is al rekening gehouden met gataftrek en de boutverbindingen.	-
2-5-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 23.30	12	Windbokken A is ingevoerd in Diamonds BuildSoft en doorgerekend. De resultaten hieruit zijn verwerkt in het verslag en gebruikt in de berekening van de windverbanden. Voor de dimensionering van de staalprofielen in van de	-

				windligger is al rekening gehouden met gataftrek en de boutverbindingen.	
3-5-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 23.30	12	Windbokken B is ingevoerd in Diamonds BuildSoft en doorgerekend. De resultaten hieruit zijn verwerkt in het verslag en gebruikt in de berekening van de windverbanden. Voor de dimensionering van de staalprofielen in van de windligger is al rekening gehouden met gataftrek en de boutverbindingen.	-
4-5-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	Windbokken C is ingevoerd in Diamonds BuildSoft en doorgerekend. De resultaten hieruit zijn verwerkt in het verslag en gebruikt in de berekening van de windverbanden. Voor de dimensionering van de staalprofielen in van de windligger is al rekening gehouden met gataftrek en de boutverbindingen.	-
5-5-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	Windbokken D is ingevoerd in Diamonds BuildSoft en doorgerekend. De resultaten hieruit zijn verwerkt in het verslag en gebruikt in de berekening van de windverbanden. Voor de dimensionering van de staalprofielen in van de windligger is al rekening gehouden met gataftrek en de boutverbindingen.	-
6-5-2022	8.30 13.00	12.30 17.00	8	Windbokken E is ingevoerd in Diamonds BuildSoft en doorgerekend. De resultaten hieruit zijn verwerkt in het verslag en gebruikt in de berekening van de windverbanden. Voor de dimensionering van de staalprofielen in van de windligger is al rekening gehouden met gataftrek en de boutverbindingen.	-

9-5-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 23.30	12	De laatste hand gelegd aan de uitwerkingen van de windverbanden. Van alle windverbanden is een schets gemaakt van de boutverbinding die als uitgangspunt wordt genomen voor de berekening van de afschuifweerstand en het stuiken van het plaatmateriaal.	-
10-5-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 23.30	12	Tussen de windliggers en windbokken worden verticalen aangebracht die belast worden met drukkracht. Deze zogenaamde koppelstaven zijn gedimensioneerd op grond van de drukkracht die het windverband veroorzaakt in de staven. Over de volledige lengte van de desbetreffende gevel of dak worden deze staven aangebracht. Vandaag zijn de koppelstaven voor de kopgevels berekend.	-
11-5-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De koppelstaven van windbokken C, D en E berekend met de krachten uit de rekenmodellen in Diamonds BuildSoft. Er is tevens gestart met het maken van de variantenstudie.	› Bouwen met staal. (z.d.-b). *Kosten in perspectief	Bouwen met staal*. Geraadpleegd op 11 mei 2022, van https://www.bouwenmetstaal.nl/themas/kosten/kosten-in-perspectief/ › De Koninggroep. (2019, 9 februari). Staal conserveren: voorkom corrosie! Geraadpleegd op 11 mei 2022, van https://dekoninggroep.nl/diensten/staal-conserveren/#gref › Van der Meer, T. (2022, 20 april). MTL lanceert digitaal magazine •. Metaal Magazine. Geraadpleegd op 11 mei 2022, van https://www.metaalmagazine.nl/nieuws/mtl-metaal-magazine-lanceert-digitaal-magazine/91715/
12-5-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De koppelstaven van windliggers A, B en C/D berekend met de krachten uit de rekenmodellen in Diamonds BuildSoft.	-

13-5-2022	8.30 13.00	12.30 17.00	8	Enkele weken geleden heb ik de calculatie ontvangen van directeur Bob Compiet. Vandaag is de tekst geschreven van de variantenstudie.	
16-5-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 23.30	12	De tekst van de variantenstudie is uitgeprint en doorgenomen door Sjaak Sturm. Verder zijn de scores en wegingen toegekend en berekend volgens de omschreven berekenmethode.	-
17-5-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 23.30	12	De laatste hand gelegd aan de variantenstudie. De tekst is verwerkt in het rapport. Tevens is een start gemaakt met de missende bout- en lasverbindingen. De boutverbindingen in het midden van de vakwerkligger zijn gedimensioneerd en berekend/beredeneerd. Hierbij is rekening gehouden met hijswerkzaamheden en hoe de vakwerkligger op locatie wordt aangebracht. De conclusie is dat de vakwerkligger alleen in de gebruiksfase (na de bouwfase) het zwaarste wordt belast en dat dit voldoende is om gebruiken bij het dimensioneren.	-
18-5-2022	9.30	17.30	8	StudentenSTAALdag 2022 van Bouwen met staal bijgewoond in Rotterdam.	-
19-5-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	Verder gewerkt aan de kolom-ligger boutverbindingen aan weerskanten van de vakwerkligger. Met het minimale aantal bouten van het kleinste type is deze verbinding te maken, dus het berekenen van de kolom-ligger boutverbinding voor de IPE 550 is niet nodig. Deze verbinding wordt belast met een nog kleinere afschuifkracht. Tevens is de kolomvoetplaatverbinding berekend en daarmee zijn de	-

				meeste verbindingen bepaald. Omwille van de tijd ga ik na vandaag verder met afwerking van het conceptrapport.	
20-5-2022	8.30 13.00	12.30 17.00	8	De conceptversie van het rapport en het bijlagenboek afgewerkt. Verder zijn de planning en het logboek up-to-date gemaakt. Wat nu nog mist zijn de tekeningen. Dit staat voor de komende weken op de planning.	-
23-5-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 23.30	12	De huidige opzet in Tekla Structures bestaat uit een stramienenplan. De staalconstructie is repetitief, dus één portaal met alle liggers, kolommen en verbindingen kan via een array van objecten worden gekopieerd. Om het Tekla model overeen te laten komen met AutoCAD kunnen aanzichten uit AutoCAD worden gerefereerd in Tekla Structures. Daarom worden eerste de tekeningen in AutoCAD definitief gemaakt.	-
24-5-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 23.30	12	Verder gewerkt aan de AutoCAD tekening van het portaal, voorgevel, achtergevel en langsgevels.	-
25-5-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De AutoCAD tekeningen afgerond en gerefereerd in het Tekla Structures model. De profielen van de kolommen, vakwerkligger en IPE 550 zijn getekend in Tekla. Eveneens zijn alle profielen gefit, zodat lasverbindingen ingevoegd konden worden en zijn de kolom-ligger boutverbindingen al gemaakt.	-
26-5-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De resterende boutverbindingen zijn aangebracht in het portaal met uitzondering van de momentvaste boutverbinding in het midden van de IPE 550. Onder de kolommen	-

				zijn voetplaten aangebracht met de ankers, zoals berekend in bijlage X.4 en X.5. Het volledige portaal is gecontroleerd en in een zevenvoud aangebracht met een array en een tussen afstand van 6250 mm. Zo staan bijna alle portalen al in het model.	
27-5-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De kolommen van de kopgevels zijn nog niet bepaald. Daarom is een model gemaakt in Diamonds BuildSoft. De profielen die hieruit volgens zijn getekend in Tekla Structures. Of op alle punten de kolommen en liggers toegepast kunnen worden is niet duidelijk; soms zijn de profielen te smal om goed te verbinden.	-
30-5-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 23.30	12	De kolommen op de hoeken worden verzwaard om het windverband goed te laten aansluiten. Tevens worden alle liggers in de kopgevels aangepast naar HEA-profielen; de dikkere flens maakt het makkelijker om te verbinden met de kolommen.	-
31-5-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 23.30	12	Alle verbindingen in de kopgevel worden aangebracht. Er wordt standaard gebruik gemaakt van 4x M16 bouten per verbinding. Er worden ook sluifgaten aangebracht met een lengte van 20 mm om tolerantie te krijgen in de constructie.	-
1-6-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De kopgevel gecontroleerd en gespiegeld aan de achterzijde van de industriehal. Na wat aanpassing is ook de achtergevel afgerond. Tevens zijn vandaag de eerste windverbanden in de langsgevels erin getekend aan de hand van het AutoCAD referentiemodel.	-

2-6-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	Verder gewerkt aan de windverbanden. Tevens zijn de drukstaven opnieuw berekend aan de hand van de kip-krachten in de kolommen. Door de veranderde configura-tie van de verticale windverbanden treedt in de drukstaaf geen drukkracht meer op uit het windverband. Voor alle langsgevels zijn dezelfde drukstaven berekend.	-
3-6-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	Ook voor de kopgevels zijn de drukstaven herberekend. Eveneens zijn de windverbanden in de kopgevels getekend. Alle bout- en lasverbindingen zijn aangebracht.	-
6-6-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 23.30	12	Tekla Structures maakt het mogelijk om het model op te delen in verschillende fasen. Ik heb het hele model tot dus-ver opgedeeld in 5 fasen: voetplaten/ankers, kolommen, windverbanden, vakwerkligger en standaard ligger (IPE 550).	-
7-6-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 23.30	12	Begonnen met het tekenen van de drukstaven in het dak. Tevens zijn de eerste hoekstalen van de windverbanden getekend in de dakvlakken. Deze zijn ook verbonden met boutverbindingen.	-
8-6-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De resterende hoekstalen van de windliggers getekend in het dakvlak, inclusief de boutverbindingen. Tot dusver zijn alle verbindingen centrisch, maar op aanwijzing van Sjaak Sturm en collega Arjen Seghers zijn kleine excentriciteiten aangebracht om alle staven goed te kunnen verbinden.	-
9-6-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De kipsteunen van de vakwerkligger zijn aangebracht in het model. In de onderrandstaven zijn schotten aangebracht met een dikte van 10 mm. Het hoekstaal is onder een hoek	-

				van 45 graden verbonden met het schot en de drukstaaf in het dakvlak. Dit is gedaan voor alle vakwerkliggers.	
10-6-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	8,5	De drukstaven zijn in de nokken lastig te verbinden vanwege de koppeling. Hierdoor zijn handmatig gesplitste koppelplaten aangebracht om een dubbele koppelplaatverbinding mogelijk te maken. Met de functies om te kopiëren is deze verbinding meermaals toegepast in de nok van de vakwerkligger. Ook bij de IPE 550 is een soortgelijke verbinding gemaakt. Vanwege de hoogte van de ligger steunt de koppelplaat af op aangelaste plaatjes met eveneens een dikte van 10 mm.	-
13-6-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 23.30	12	Gestart met het maken van aanzichten voor de technische tekeningen. Aan de hand van de fasen zijn isometrische 3D-tekeningen gemaakt die in 5 stappen de opbouw van de industriehal laten zien.	-
14-6-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 23.30	12	In de aanzichten zijn diverse leaders en is de nodige bemating aangebracht. Eveneens zijn doorsneden en details gemaakt van het aanzicht.	-
15-6-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 23.30	12	Er zijn nieuwe aanzichten gemaakt. In de aanzichten zijn diverse leaders en is de nodige bemating aangebracht. Eveneens zijn doorsneden en details gemaakt van het aanzicht.	-
16-6-2022	8.20 13.00 20.00	12.30 17.20 1.00	13,5	Er zijn nieuwe aanzichten gemaakt. In de aanzichten zijn diverse leaders en is de nodige bemating aangebracht. Eveneens zijn doorsneden en details gemaakt van het aanzicht.	-
17-6-2022	8.20 13.00	12.30 17.20	12	De laatste details zijn voorzien van de nodige informatie en bemating. Na afronding van de opmaak zijn de	-

	20.00	23.30		documenten afgedrukt naar PDF en toegevoegd aan de bijlage van deze afstudeeropdracht. Alles is hierna samengevoegd en gereed gemaakt voor inleveren. Met succes zijn alle stukken op 17-6-2022 ingeleverd.	
Totaal			853 uur 45 minuten		