

# Toepassen van deuvolverbindingen in een houten kolom-liggersysteem voor hoogbouw

---

Een studie binnen Arcadis met als basis het project  
'Kenniskwartier' te Amsterdam



## ABSTRACT

Een onderzoek naar houten kolom-ligger verbindingen voor toepassing binnen het Kenniskwartier en een onderzoek naar de invloed van de verschillende parameters van een deuvolverbinding

Roel Majoor

Maarten Schoen

Afstudeerrapport



---

|                |                                                                                  |                                                                    |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------|
| Auteur         | Maarten Schoen                                                                   | Roel Majoor                                                        |
| Studentnummer  | 0863287                                                                          | 0855026                                                            |
| E-mail         | <a href="mailto:maartenschoen@gmail.com">maartenschoen@gmail.com</a>             | <a href="mailto:roelmajoor@hotmail.com">roelmajoor@hotmail.com</a> |
| Telefoon       | 06 33 389 230                                                                    | 06 25 137 696                                                      |
|                |                                                                                  |                                                                    |
| Bedrijf        | Arcadis                                                                          |                                                                    |
| Begeleider     | Gerard van Engelen                                                               |                                                                    |
| E-mail         | <a href="mailto:gerard.vanengelen@arcadis.com">gerard.vanengelen@arcadis.com</a> |                                                                    |
| Telefoon       | 06 27 060 412                                                                    |                                                                    |
|                |                                                                                  |                                                                    |
| Leerinstelling | Hogeschool Rotterdam                                                             |                                                                    |
| Studie         | Civiele Techniek                                                                 |                                                                    |
| Studiejaar     | 2016 – 2017                                                                      |                                                                    |
| Begeleider     | Sven van Rosmalen                                                                |                                                                    |

## Voorwoord

Dit rapport is het resultaat van het afstudeeronderzoek 'Hoogbouw in hout'. Het onderzoek is onder begeleiding van Arcadis uitgevoerd door Roel Majoor en Maarten Schoen, studenten aan de Hogeschool Rotterdam, opleiding Civiele Techniek.

Het onderwerp sprak ons aan omdat er nog niet veel hoogbouw in hout gerealiseerd is, maar dit wel steeds meer in opkomst is. Doordat tijdens de opleiding weinig over bouwen met hout behandeld is, is dit een extra uitdaging.

Wij willen Gerard van Engelen en Pieter Timmermans bedanken voor de afstudeerbegeleiding tijdens het onderzoek vanuit Arcadis. Tevens willen wij Sven van Rosmalen bedanken voor de afstudeerbegeleiding vanuit school.

# Inhoud

|                                                 |    |
|-------------------------------------------------|----|
| Voorwoord .....                                 | 2  |
| Samenvatting .....                              | 5  |
| Summary .....                                   | 7  |
| 1. Inleiding .....                              | 9  |
| 1.1. Bestaande hoogbouw in hout .....           | 9  |
| 1.2. Kenniskwartier, Ontwerp Arcadis .....      | 11 |
| 1.3. Onderzoek .....                            | 11 |
| 1.4. Doelstelling .....                         | 12 |
| 1.5. Onderzoeksvragen .....                     | 12 |
| 2. Vooronderzoek .....                          | 13 |
| 2.1. Ontwerpeisen Arcadis, Kenniskwartier ..... | 13 |
| 2.2. Anisotropie .....                          | 14 |
| 2.3. Stabiliteit .....                          | 14 |
| 2.4. Trillingen .....                           | 15 |
| 2.5. Brand .....                                | 15 |
| 2.6. Verbindingen .....                         | 15 |
| 2.6.1. Verbinding 1: Van der Berkmortel .....   | 16 |
| 2.6.2. Verbinding 2: Treet .....                | 16 |
| 2.6.3. Verbinding 3: Kolb .....                 | 17 |
| 2.7. Vraagstellingen .....                      | 17 |
| 3. Deuvelverbinding .....                       | 19 |
| 3.1. Inleiding .....                            | 19 |
| 3.2. Theoretische achtergrond .....             | 20 |
| 3.3. Stuksterkte hout .....                     | 22 |
| 3.4. Meervoudige deuvelverbinding .....         | 22 |
| 3.5. Slankheid ratio .....                      | 24 |
| 3.6. Splijtsterkte .....                        | 24 |
| 3.6.1. Eurocode .....                           | 25 |
| 3.6.2. Splijtsterkte modellen .....             | 26 |
| 3.7. Varianten .....                            | 28 |
| 3.7.1. Variant 1 .....                          | 28 |
| 3.7.2. Variant 2 .....                          | 29 |
| 3.7.3. Overige overwegingen .....               | 30 |
| 3.8. Onderzoek .....                            | 31 |
| 3.9. Conclusies .....                           | 32 |
| 4. Resultaten .....                             | 34 |



|        |                                                                  |    |
|--------|------------------------------------------------------------------|----|
| 4.1.   | Verandering aantal deuvelds in een rij .....                     | 34 |
| 4.1.1. | Parallel aan de vezelrichting .....                              | 34 |
| 4.1.2. | Veranderen tussenafstand $a_1$ .....                             | 34 |
| 4.1.3. | Loodrecht op de vezelrichting .....                              | 35 |
| 4.2.   | 1 staalplaat in de ligger .....                                  | 35 |
| 4.2.1. | Verandering deuveldiameter .....                                 | 35 |
| 4.2.2. | Verandering dikte staalplaat .....                               | 35 |
| 4.3.   | 2 staalplaten in de ligger .....                                 | 36 |
| 4.3.1. | Verandering deuveldiameter .....                                 | 36 |
| 4.3.2. | Verandering dikte staalplaat parallel aan de vezelrichting ..... | 36 |
| 4.3.3. | Verandering dikte staalplaat loodrecht op de vezelrichting ..... | 36 |
| 4.4.   | 3 staalplaten in de ligger .....                                 | 37 |
| 4.4.1. | Verandering deuveldiameter .....                                 | 37 |
| 4.4.2. | Verandering dikte staalplaat parallel aan de vezelrichting ..... | 37 |
| 4.4.3. | Verandering dikte staalplaat loodrecht op de vezelrichting ..... | 37 |
| 4.5.   | Vergelijking tussen 1,2 en 3 staalplaten in de ligger .....      | 37 |
| 4.5.1. | Parallel .....                                                   | 37 |
| 4.5.2. | Loodrecht .....                                                  | 38 |
| 4.6.   | Veranderen deuveldsterkte .....                                  | 38 |
| 4.7.   | Splijten .....                                                   | 39 |
| 5.     | Conclusie en aanbevelingen .....                                 | 42 |
| 5.1.   | Conclusie onderzoek .....                                        | 42 |
| 5.1.1. | Invloed parameters .....                                         | 42 |
| 5.1.2. | Splijtsterkte .....                                              | 43 |
| 5.2.   | Aanbevelingen .....                                              | 44 |
| 5.2.1. | Aanbevelingen .....                                              | 44 |
| 5.2.2. | Optimaal ontwerp .....                                           | 44 |
| 5.3.   | Tekeningen .....                                                 | 49 |
|        | Figuren .....                                                    | 51 |
|        | Tabellen .....                                                   | 52 |
|        | Bibliografie .....                                               | 53 |
|        | Bijlagen .....                                                   | 56 |

## Samenvatting

### Gebruik van hout in het Kenniskwartier

Voor een hoogbouwproject van 92m te Amsterdam genaamd het Kenniskwartier is het de bedoeling om hout toe te passen als hoofddraagconstructie. Hiervoor is gekozen omdat dit een doeltreffend alternatief lijkt om de CO<sub>2</sub>-uitstoot te verlagen ten opzichte van bouwen met staal en/of beton.

Tot op heden zijn geen houten hoogbouwprojecten gerealiseerd met eenzelfde hoogte of hoger dan het Kenniskwartier. Het hoogste houten gebouw is momenteel ~50m hoog. Momenteel zijn er veel lopende projecten en onderzoeken om hoger te bouwen met hout. Dit wekt de indruk dat het mogelijk is om hout toe te passen als hoofddraagconstructie voor het Kenniskwartier. In het vooronderzoek zijn meerdere problemen naar voren gekomen die hoogbouw in hout beperken. De eis van Arcadis was geen gebruik te maken van beton in verbindingsmiddelen. Men is daarom aangewezen op het gebruik van staal. Dit wordt gedaan door middel van staalplaten en pen verbindingen. Bij grootschalige verbindingen wordt in dat geval gebruik gemaakt van deuvels als pen. In dit onderzoek ligt de focus op de deuvelverbinding omdat dit type verbinding doorgaans parallel aan de vezel wordt belast, wat binnen het ontwerp Kenniskwartier niet het geval is. Bij belasting loodrecht op de vezel treedt namelijk vroegtijdige splijting op, onder andere doordat hout loodrecht op de vezel 10 tot 20 keer minder sterk is.

### Vooronderzoek

Aan de hand van het onderzoek naar de problemen in de verbindingen zijn twee varianten ontwikkeld die de meeste problemen het hoofd bieden. Van beide varianten heeft variant twee veel mogelijkheden tot optimalisatie. Bij deuvelverbindingen hebben veel parameters invloed op het optimaal ontwerp, namelijk:

- Eindafstand van de verbinding in de ligger;
- Horizontale en verticale tussenafstanden;
- Deuvel diameter;
- Breedte en lengte verbinding;
- Verst belaste randafstand tot de deuvel;
- Aantal staalplaten

Afhankelijk van de samenstelling van de verbinding dient rekening gehouden te worden met de volgende verdere problemen:

- Bros bezwijken;
- Brandbescherming

Daarnaast is een extra uitdaging dat de verbindingen binnen het Kenniskwartier onder een andere hoek dan 90 graden met de kolommen aansluiten.

### Onderzoek deuvelverbindingen

Dit rapport omvat een nader onderzoek naar de invloed van de verschillende parameters van een deuvelverbinding. Door de benodigde toetsingen van de deuvelverbinding te automatiseren met behulp van Excel, kan gemakkelijk een bepaalde parameter worden aangepast en tevens kunnen grafieken worden gemaakt en zo gemakkelijk constatering worden gedaan.

Het onderzoek geeft inzicht in de invloed per parameter in een deuvelverbinding. Met behulp van deze studie is het mogelijk een optimaal ontwerp te bepalen voor een deuvelverbinding in het algemeen en voor het Kenniskwartier in het bijzonder.

## **Splijtsterkte**

Een verdiepend literatuuronderzoek is gedaan naar de verschillende methoden voor het berekenen van de splijtsterkte. De splijtsterkte blijkt namelijk onbetrouwbaar vastgelegd in de Eurocode wat heeft geresulteerd in de ontwikkeling van verschillende andere methoden tot het berekenen hiervan. Deze methoden zijn voornamelijk gebaseerd op testresultaten waarbij de verbinding in het midden van een ligger is aangebracht, wat binnen het ontwerp van het Kenniskwartier echter niet het geval is.

Omtrent de splijtsterkte zijn de uitkomsten van de acht gevonden methoden tot het berekenen van de splijtsterkte vergeleken met de testresultaten van het onderzoek van Martin Uhre Pedersen. Dit is de enige test met een scharnierende deuvelverbinding aan het uiteinde van de ligger, welke vergelijkbaar is met het ontwerp van de verbinding binnen het Kenniskwartier.

De uitkomsten van de acht verschillende methoden lopen erg uiteen. Daarnaast komt geen enkele uitkomst overeen met de testresultaten. Ook wordt met de methoden 1 tot en met 7 de eindafstand van de verbinding niet meegenomen, wat wel een belangrijke parameter is volgens methode 8. Daarom kan geen goede uitspraak worden gedaan over de splijtsterkte voor de verbinding binnen het Kenniskwartier.

## **Conclusie**

Op basis van de parameterstudie kan een optimaal ontwerp worden opgesteld voor een deuvelverbinding in het algemeen, echter kan dit niet worden getoetst op splijtsterkte. Dit optimale ontwerp moet daarom worden getest voordat dit kan worden toegepast binnen een constructie. Voor het Kenniskwartier in het bijzonder is een optimaal ontwerp voorgesteld dat getest moet worden op splijtsterkte.

## Summary

Arcadis has come up with the idea to use wood as primary building material for a new high-rise project in Amsterdam, named 'Kenniskwartier'. It's about a tower of 92 meters high which needs to serve as an office building. The choice for wood as primary material has been made because it seems to be an effective manner to reduce the CO<sub>2</sub>-emissions compared to the use of steel or concrete.

To date there are no high-rise timber projects realized with a height greater than 50 meters. There are multiple ongoing projects and studies which tend to reach greater heights. This suggests that it would be possible to use timber for the main construction within the design of the Kenniskwartier. With a preliminary investigation multiple problems came forward when applying wood as main material in high-rise. Because Arcadis doesn't want to use concrete within the connections one is designated to the use of steel. There are multiple types of steel fasteners, but with large scale connections especially dowels are used with the combination of steel plates. When dowels are used, connections are mainly loaded parallel to the woodgrain. This isn't the case within the design of the Kenniskwartier, because of which the focal point of this research is on the use of a dowel-type connection within a high-rise project. This is because timber is an anisotropic material, which means it doesn't have the same characteristics in all directions. For wood this means that perpendicular to grain it's 10 to 20 times as weak compared to when it's loaded parallel to grain.

### Preliminary investigation

Based on a research of the problems with regard to connections, two alternatives have been developed which face most of these problems. Alternative one uses a simple imposition, whereas alternative two uses dowel-type fasteners. For this reason alternative two has the most opportunities for optimization. For dowel-type connections multiple parameters have an impact to the ideal consistency of the connection:

- End distance of the connection within the supporting beam;
- Horizontal and vertical distances between the different dowels;
- Dowel diameter;
- Connection length and width;
- Furthest loaded edge distance to dowel;
- Number of steel plates used

Dependent of the consistency of the dowel-type connection the following other problems are needed to take account of:

- Brittle failure of the connection;
- Fire protection

On top of that, because of the design of the Kenniskwartier, the supporting beams are installed at a different angle than 90 degrees, which is an extra challenge.

### Main study

This dowel study includes a research on the influence of the different parameters inside a dowel-type fastener which are mentioned above. By computerizing the necessary verifications to validate the strength of a dowel-type fastener with the use of Excel the input of different parameters can easily be changed. Also different diagrams can be made based on the results, in which way it's easier to take note of the influence of the different parameters.

The study shows the influence of the different parameters and with the help of this study it's possible to determine an optimal design for a dowel-type connection in general and particularly for the Kenniskwartier.

### **Splitting strength**

This report also contains a literature study towards the calculation of the splitting strength. The splitting strength appears to be unreliable when calculated according to Eurocode 5. This has resulted in the development of multiple other methods to calculate the splitting strength. These methods are mainly based on test results where the connection is placed in the middle of a supporting beam. However, this is not the case within the design of the Kenniskwartier.

Only one test setup comparable to the connection within the design of the Kenniskwartier was found. A test from Martin Uhre Pedersen where the dowel-type connection was placed at the end of a supporting beam which was also hinging. A total of eight methods to calculate the splitting strength, including Eurocode 5, were found. The outcome of these methods were compared with the test results of Martin Pedersen's test.

The outcome of the different methods for Martin Pedersen's test vary a lot. Aside from the variation in the results no outcome appeared similar to the test results of Martin Pedersen's test. Also the end distance of the connection within the supporting beam is not taken into account by 7 methods, but is appears to be important by the 8<sup>th</sup> method. Based on these results it's not possible to say anything reliable about the splitting strength.

### **Conclusion**

Based on the parameter study it's possible to determine an optimal design for a dowel-type connection, however this optimal design cannot be validated for the splitting capacity. Therefore it's necessary to test the connections splitting capacity prior to implementing the connection in the construction design. An optimal design for a dowel-type connection meant for testing and implementing within the design of the Kenniskwartier is proposed.

## 1. Inleiding

Arcadis is wereldwijd een van de meest toonaangevende ontwerp- en consultancy organisaties. De laatste jaren neemt de interesse en ontwikkeling van hoogbouw in hout toe. Desondanks is bij Arcadis relatief weinig bekend over hoogbouw met hout doordat, onder andere in Nederland, dit nog weinig wordt toegepast. Binnen Nederland geldt de term 'hoogbouw' wanneer volgens het Bouwbesluit een lift nodig is, dit is vanaf vijf verdiepingen. In Nederland wordt nog niet veel gedaan met houten hoogbouw. Nederland is geen bosrijke omgeving en van oudsher wordt met stenen en beton gebouwd. Desondanks groeit ook in Nederland de interesse naar hoogbouw in hout. Onlangs is in Amsterdam een gebouw gerealiseerd, 'Patch 22', met 6 houten verdiepingen met een hoogte van 30 meter.

Staal en beton dragen 5% bij aan de totale wereldwijde CO<sub>2</sub>-uitstoot (Cement & Beton Centrum, 2016). Uit verschillende studies blijkt dat hout in vergelijking met staal of beton als constructiemateriaal een mogelijk alternatief kan zijn om de uitstoot van CO<sub>2</sub> te reduceren. De voornaamste redenen die hiervoor worden gegeven zijn: CO<sub>2</sub>-opname tijdens de groei van het hout en de levensduur van de constructie, hoge isolatiewaarde van het hout zelf, minder CO<sub>2</sub>-uitstoot tijdens het verwerkingsproces en een hoge sterkte-gewicht verhouding. (Stora Enso, 2016), (Spickler, 2016), (Structulam, 2016).

Arcadis heeft de opdracht gekregen om een ontwerp uit te werken voor een kavel binnen het Kenniskwartier te Amsterdam. Het gaat om een toren van 92 meter hoog met als functie kantoorruimten en een restaurant op de 14<sup>e</sup> verdieping. De opdrachtgever en Arcadis hebben beiden de wens om het gebouw zo duurzaam mogelijk te realiseren. Vanwege de verminderde CO<sub>2</sub>-uitstoot bij hoogbouw in hout ten opzichte van staal en beton zou dit het gebouw duurzamer maken. Daarnaast nemen de ontwikkelingen op het gebied van hoogbouw in hout gestaag toe, wat de indruk wekt dat het mogelijk is om hout als voornaamste constructiemateriaal te gebruiken bij het Kenniskwartier.

Binnen het ontwerp wordt gebruik gemaakt van een kolom-liggerstructuur. De stabiliteit wordt ontleend aan een betonnen kern door middel van schijfwerking van de verdiepingsvloeren. Uitdagingen binnen het ontwerp van Arcadis zijn de vorm en de hoogte. Huidige gerealiseerde hoogbouwconstructies zijn relatief simpele rechthoekige gebouwen. Bovendien is tot op heden nog geen houten hoogbouw gerealiseerd hoger dan 50 meter. Voor Arcadis is het noodzakelijk te onderzoeken wat de knelpunten zijn, wat de redenen zijn dat er nog geen gebouwen van 90 meter in hout gerealiseerd zijn en wat mogelijkheden zijn voor het nieuwe project binnen het Kenniskwartier.

### 1.1. Bestaande hoogbouw in hout

In landen met een bosrijke omgeving wordt al gebruik gemaakt van hout voor laagbouw. De ontwikkeling in houten hoogbouw vindt eveneens voornamelijk plaats in bosrijke landen, zoals bijvoorbeeld: Treet, in Bergen (Noorwegen), Wooden Skyscraper, Stockholm (Zweden) & WIDC, Prince George (Canada). Uitzonderingen hierop zijn Dalston Lane, Londen (Engeland) en Patch 22, Amsterdam (Nederland), waar hout geen veelvoorkomende natuurlijke grondstof is.

In tabel 1 is een overzicht gegeven van een aantal gerealiseerde en nog in ontwikkeling zijnde hoogbouwprojecten waarbij gebruik is gemaakt van hout als voornaamste constructiemateriaal in de hoofd draagconstructie. De drie gebouwen: Treet, Brock Commons en Lifecycle Tower 1 worden besproken omdat binnen deze ontwerpen belasting loodrecht op de vezel is vermeden. Zie bijlage 1 voor een meer uitgebreide beschrijving.



Tabel 1 – Houten hoogbouw projecten

| Naam gebouw/<br>ontwikkelaar | Stad          | Land      | Hoogte | Aantal<br>houten<br>verdiepingen | Type draagconstructie                    | Maximale<br>overspanning<br>binnen gebouw | Opleveringsjaar |
|------------------------------|---------------|-----------|--------|----------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|
| Dalston Lane                 | London        | Engeland  | 33m    | 7                                | Cross Laminated Timber (CLT)             | 5m                                        | 2016/17         |
| Murray Grove                 | London        | Engeland  | 30     | 8                                | Cross Laminated Timber (CLT)             |                                           | 2009            |
| WIDC                         | Prince George | Canada    | 27,5m  | 8                                | Combinatie kolom-ligger & massief hout   | 9,5                                       | 2014            |
| T3                           | Minneapolis   | VS        | 30     | 7                                | Kolom-ligger                             |                                           | 2016            |
| Patch 22                     | Amsterdam     | Nederland | 30m    | 7                                | Kolom-ligger                             | 9,5m                                      | 2016            |
| LifeCycle tower 1            | Dornbirn      | Australië | 27m    | 8                                | Kolom-ligger combinatie van beton & hout | 9,4m                                      | 2012            |
| Treet                        | Bergen        | Noorwegen | 53m    | 14                               | Kolom-ligger i.c.m. beton & CLT          | 8                                         | 2016            |
| Brock Commons                | Vancouver     | Canada    | 53     | 17                               | Kolommen i.c.m. CLT                      | 4                                         | 2016            |

### **Treet, Bergen (Noorwegen)**

De Stabiliteit en lastenafdracht vindt plaats via een houten vakwerkconstructie aan de buitenzijde. Om de vijf verdiepingen is een betonvloer toegepast. De verdieping opbouw tussen deze betonvloeren bestaat uit CLT-modulen. Door de betonvloer wordt belasting loodrecht op de vezel vermeden en worden de CLT-modulen ontlast. Tevens wordt de vakwerkconstructie door het beton verzwaaard.



Figuur 1 – Treet  
(Bron: timberdesignandtechnology.com)

### **Brock Commons, Prince George (Canada)**

De opbouw van Brock Commons bestaat uit kolommen met daar overheen CLT-vloerpanelen. Binnen de constructie zijn daarom geen liggers nodig. De CLT-vloerpanelen zijn opgelegd tussen de kolommen, belasting wordt voorkomen door een stalen element tussen de kolommen. De stabiliteit wordt vervolgens ontleend aan een betonnen kern.



Figuur 2 – Brock Commons  
(Bron: actonostry.ca)

### **LifeCycle Tower 1, Dornbirn (Australië)**

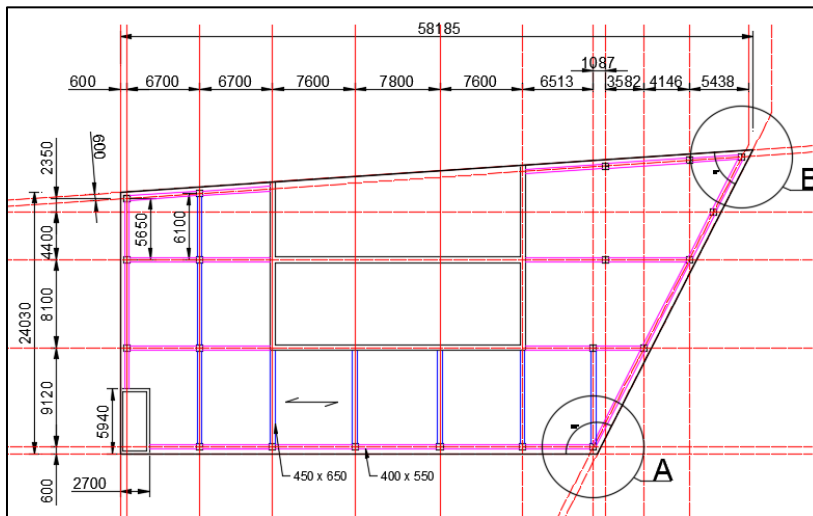
Binnen dit ontwerp wordt de stabiliteit ook verkregen door middel van een betonnen kern. De verdiepingsoopbouw bestaat uit prefab panelen, bestaand uit beton in combinatie met houten liggers ter ondersteuning van de betonvloer in langs richting. In dwarsrichting zijn betonnen liggers toegevoegd aan het prefab element, op dit gedeelte wordt het prefab element opgelegd op de kolommen. Belasting loodrecht op de vezel wordt vermeden door middel van beton.



Figuur 3 - LifeCycle Tower 1  
(Bron: hermann-kaufmann.at)

## 1.2. Kenniskwartier, Ontwerp Arcadis

Het ontwerp voor het Kenniskwartier van Arcadis bestaat uit een asymmetrische vorm. In figuur 4 staat een typische plattegrond van de toren weergegeven.



Figuur 4 - Verdiegingsplattegrond Kenniskwartier (maten in millimeters)

Binnen het ontwerp wordt gebruik gemaakt van een kolom-liggerstructuur gezien de kantoorfunctie van het gebouw. De stabiliteit wordt ontleend aan een betonnen kern. Door middel van schijfwerking van de vloeren wordt de windbelasting vanuit de gevel overgebracht naar de betonnen kern. Voor de vloeren wordt gebruik gemaakt van CLT-panelen.

## 1.3. Onderzoek

Op basis van het vooronderzoek wordt een verdiepend onderzoek verricht naar de invloed van de verschillende parameters van een deufelverbinding met als doel het opstellen van een optimaal ontwerp van de verbinding. Dit wordt op basis van de voorgeschreven berekeningen van Eurocode 5 gecontroleerd. De berekening volgens Eurocode 5 is in een Excel spreadsheet uitgewerkt, waardoor de parameters eenvoudig aangepast kunnen worden. De berekening die opgesteld is in Excel is gecontroleerd met een handberekening. Houtverbindingen van het formaat zoals bij het Kenniskwartier zijn zelden toegepast. Daarom wordt middels literatuuronderzoek gekeken of de toetsing van de Eurocode toepasbaar is voor de verbinding van het Kenniskwartier.



#### 1.4. Doelstelling

Het doel van dit onderzoek is het inzichtelijk maken welke problemen optreden bij hoogbouw in hout in het algemeen en binnen het ontwerp van het Kenniskwartier in het bijzonder. Vervolgens wordt geïnterviewd welke mogelijkheden verbindingen bieden die omgaan met deze problemen, welk van de varianten het meest geschikt is om toe te passen binnen het Kenniskwartier en wat het optimale ontwerp van de desbetreffende variant is.

#### 1.5. Onderzoeksvragen

**Hoofdvraag:**

Wat is de meest geschikte houten kolom-liggerverbinding om toe te passen binnen het houten hoogbouwproject Kenniskwartier?

**Deelvragen:**

Wat zijn de afmetingen van de te verbinden elementen?

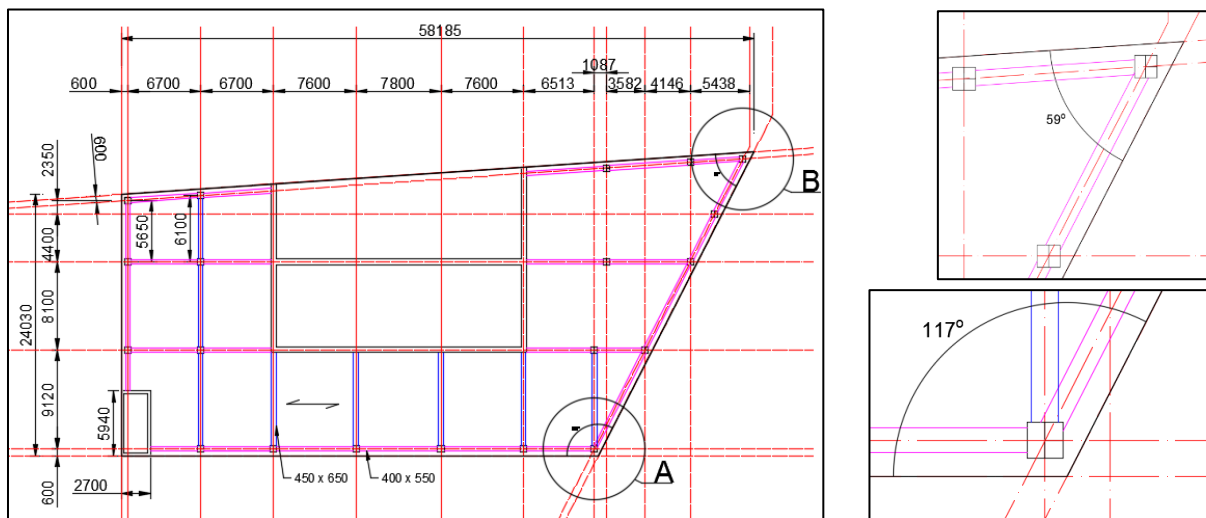
Wat is de invloed van de verschillende onderdelen van de deuvelfverbinding?

## 2. Vooronderzoek

Uit de ontwerpen van de LifeCycle Tower 1, Treet en Brock Commons blijkt dat het mogelijk is om hoogbouw in hout te realiseren tussen de 30 en 50 meter. Bij LifeCycle Tower 1 wordt gebruik gemaakt van beton in de verbindingen. Arcadis vindt het echter interessant om te kijken welke verbindingen mogelijk zijn indien niet met beton wordt gewerkt.

### 2.1. Ontwerpeisen Arcadis, Kenniskwartier

Bij het onderzoek naar en het ontwerpen van de verbindingen moet rekening worden gehouden met een aantal eisen. Zo wordt binnen het ontwerp gebruik gemaakt van een kolom-liggerstructuur in combinatie met een stabiliserende betonnen kern. De kolom-liggerverbindingen zullen daarom scharnierend moeten zijn, zodat de horizontale lastafdracht via de vloer zal plaatsvinden op de betonnen kern.



Figuur 5 – Verdiepingsplattegrond Kenniskwartier (links), Detail A (rechts onder), Detail B (rechts boven)

Een ander punt van belang is de hoeken, anders dan 90 graden, in de verdiepingsplattegrond. De hoeken waarmee rekening gehouden dient te worden binnen de constructie zijn  $117^\circ$  en  $59^\circ$ . Zie hiervoor figuur 5 voor de verdiepingsplattegrond van het gebouw. De verbinding moet daarom onder een hoek anders dan 90 graden mogelijk zijn.

Doordat de kruip van hout aanzienlijk meer is ten opzichte van beton, en dit ook langer door gaat, moet hier rekening mee worden gehouden in de constructie. Bij gelijke lengte in het begin zal de betonnen kern uiteindelijk langer zijn dan de omliggende houten constructie. Daarom zal de houtconstructie bijvoorbeeld in eerste instantie hoger moeten worden dan de betonnen kern om dit zo te compenseren. Bij het ontwerp van de verbinding kolom-kolom zal daar rekening mee gehouden moeten worden. Een zo efficiënt mogelijk gebruik van de kolomdoorsnede is daarom van belang en binnen de koppeling dient doorsnede van de kolom zo min mogelijk gereduceerd te worden.

## 2.2. Anisotropie

Binnen de houtbouw zijn drie constructie mogelijkheden te onderscheiden, namelijk:

- Houtskeletbouw
- Houtmassiefbouw
- Kolom-liggerstructuur

De constructie opbouw voor laagbouw met hout bestaat voornamelijk uit houtskeletbouw met een maximum van zes tot zeven verdiepingen. Van der Berkmortel (2009) geeft in zijn onderzoek aan dat houtskeletbouw niet geschikt blijkt voor hoogbouw omdat er (te)veel belasting loodrecht op de vezel ontstaat na zes verdiepingen. De oorzaak daarvan binnen de constructie opbouw is de koppeling van de vloeren en de wanden. Deze worden gekoppeld door middel van onder- en boven regels aan de wanden, hierdoor ontstaat er (te)veel belasting loodrecht op de vezel, in welke richting hout aanzienlijk minder sterk is.

Van der Berkmortel behandelt hier specifiek de platformmethode. Bij de balloon methode wordt het probleem van anisotropie ontweken doordat de wanden doorlopen over twee verdiepingen. Hierbij kan in hoogbouw de stijfheid een probleem worden. Dat houtskeletbouw niet geschikt is voor hoogbouw is terug te leiden naar het feit dat hout anisotroop is. De eigenschappen van hout verschillen in de richting van het materiaal, zoals Van der Berkmortel beschreef. Houtmassiefbouw ondervindt ditzelfde probleem, echter doordat de wanden massief zijn, wordt de belasting beter verspreid en kan dit iets meer hebben.

## 2.3. Stabiliteit

Behalve de belasting loodrecht op de vezelrichting blijkt tevens de stijfheid een probleem. De oorzaak hiervan ligt voornamelijk bij de verbindingen in combinatie met het relatief lage gewicht van een houtconstructie. Dit wordt aangegeven in verschillende literatuur:

*“Bij houten gebouwen wordt de hoogte beperkt door horizontale stijfheid. Een houten gebouw heeft een lagere buig- en afschuifstijfheid dan stalen of betonnen gebouwen. Daardoor is de windbelasting nog belangrijker voor de maximale hoogte van het gebouw”* (Van den Berkmortel, 2009)

*“Verbindingen zijn belangrijk bij houten gebouwen. Over het algemeen gelden ze als de zwakke plekken van de constructie. En zijn mede bepalend voor de totale stijfheid van het gebouw, vanwege de speling die vaak optreedt bij traditionele verbindingsmiddelen.”* (Van den Berkmortel, 2009)

*“Traditional timber joints with mechanical fasteners, particular dowel type fasteners, such as bolts exhibit a low strength and an unreliable stiffness and ductility caused by the presence of hole clearance and the unpredictable splitting of timber.”* (Leijten, Locally reinforced timber joints with expanded tube fasteners)

Bovenstaand wordt bevestigd door een onderzoek van Dias (2005) naar beton-houtverbindingen. Uit zijn onderzoek blijkt dat in bijna alle gevallen de verbindingen voldoen qua sterkte. Echter wordt de capaciteit beperkt door de optredende slip, speling op de verbinding. Voornamelijk voor de momentcapaciteit. Dias concludeert dat het gedrag van de deugelverbinding voornamelijk afhankelijk is van de bevestiging en de inbeddingseigenschappen van het hout, en dat de invloed van de eigenschappen van beton nihil is.

Speling treedt onder andere op doordat een deuvel niet te strak in een gat mag passen, omdat anders eerder splijten van het hout op zal treden of zelfs al tijdens de montage van de verbinding. Daarbij ondervindt een gebouw uit hout door het relatief lage gewicht een grotere dynamische werking. Meerdere kleine deuvels bieden daarom over het algemeen een betere oplossing dan een kleiner aantal met een grotere diameter. De speling op de verbinding speelde ook een rol bij het gebouw Treet, waar ook gebruik is gemaakt van deuvelverbindingen. Doordat de verbinding met nauwkeurig CNC-frees apparatuur is gemaakt, is de speling op de verbindingen beperkt.

#### 2.4. Trillingen

Voor de bruikbaarheidsgrenstoestand is het belangrijk dat de trillingen in acht worden genomen. Dit heeft gevolgen voor de afmetingen van de vloerpanelen waarvan binnen het ontwerp gebruik gemaakt wordt. Dit resulteert in een hogere belasting op de liggers, daarom wordt dit meegenomen met de berekening.

#### 2.5. Brand

Ondanks dat hout brandbaar is zal een dikker houten constructie-element niet zo snel branden. Dit komt doordat hout een lage warmtegeleidingscoëfficiënt heeft. De binnenkant van de balk wordt langzaam warm, waardoor het ontbrandingspunt lang uitgesteld wordt. Dit wordt mede uitgesteld door vocht dat zich in de balk bevindt. Bij een brand zal de buitenkant van de balk verkolen, dit resulteert in een isolerende laag op het hout. Bovendien heeft hout een lage warmte-uitzettingscoëfficiënt, waardoor constructie weinig uit zal zetten bij brand. Dikke houten draagconstructies kunnen gemakkelijk voldoen aan de gestelde brandeisen.

Wanneer bij houtverbindingen gebruik gemaakt wordt van stalen verbindingselementen zullen deze maatgevend zijn voor de sterkte tijdens brand. Hierbij zet staal meer uit dan het hout wanneer het warm wordt.

#### 2.6. Verbindingen

Op basis van de verschillende gebouwen, als besproken onder paragraaf 1.1, waarbij hout als voornaamst constructiemateriaal is gebruikt, zijn de problemen bij houten hoogbouw geïnventariseerd. Binnen houten hoogbouw zijn weinig opties wanneer kolommen en liggers verbonden dienen te worden in combinatie met een stabiliserende betonnen kern en geen gebruik gemaakt mag worden van beton in de verbinding. Gezien de verbindingen in het geval van een betonnen kern scharnierend moeten zijn, kan uitsluitend gebruik gemaakt worden van verbindingen door middel van staalplaten en deuvels. Hiervoor is verdere literatuur specifiek voor verbindingen onderzocht, waaruit drie verbindingen volgen.

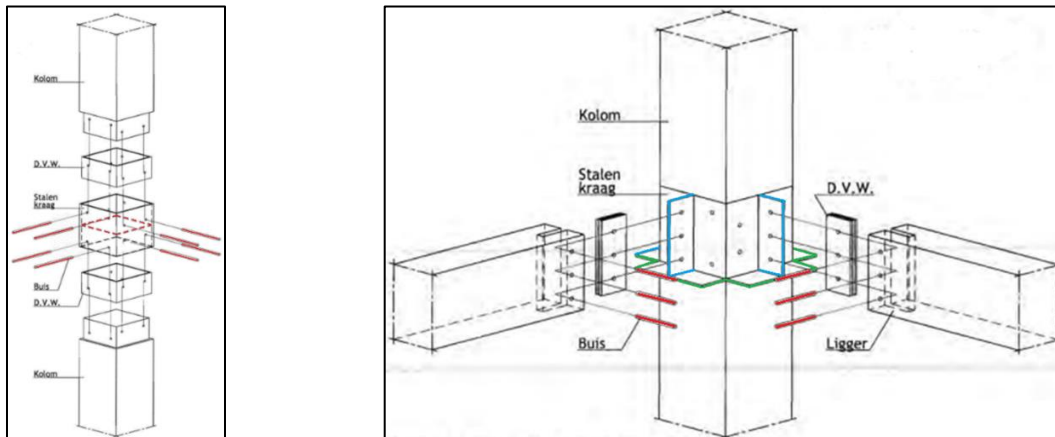
- Verbinding 1: Van der Berkmortel;
- Verbinding 2: Treet;
- Verbinding 3: Kolb

Een uitgebreidere beschrijving van de verbindingen 1, 2 en 3 is in bijlage 2 toegevoegd. Tevens zijn hierbij nog andere mogelijke verbindingen beschreven welke afvallen door het gebruik van beton.

Op basis van deze drie verbindingen zijn twee varianten opgesteld voor de toepassing binnen het Kenniskwartier: 'variant 1' en 'variant 2', welke behandeld worden in paragraaf 3.7.

### 2.6.1. Verbinding 1: Van der Berkmortel

Onderlinge koppeling van de kolommen en koppeling met de liggers door middel van een stalen koker aan de buitenzijde van de kolom in combinatie met buizen of deuvels. Een ontwerp van Van der Berkmortel.

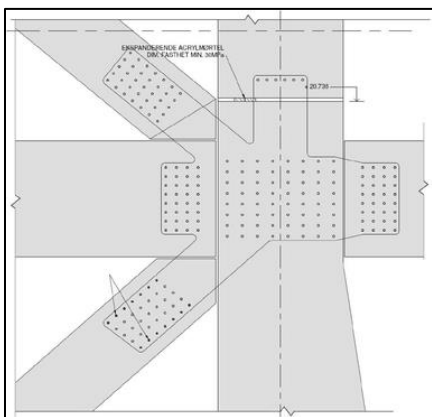


Figuur 6 – Koppeling kolom-kolom (links) en koppeling kolom-ligger (rechts) (Van den Berkmortel, 2009)

Dit type verbinding is geschikt voor de doorkoppeling van kolommen en aankoppeling van liggers, de doorsnede van de kolom blijft volledig intact wat van belang is voor de opneembare normaalkracht van de kolom. Het voordeel van de horizontale staalplaat is dat de belasting loodrecht op de vezel beter verspreid wordt dan bij een deuvelverbinding, waardoor splijten minder snel optreedt. Doordat het staalement zich niet in het hout bevindt is dit niet beschermd tegen brand, daarom dient brandbescherming aangebracht te worden. Het voordeel hiervan is dat wanneer het staal uitzet het hout niet kapot gedrukt wordt, omdat het zich aan de buitenzijde bevindt.

### 2.6.2. Verbinding 2: Treet

Onderlinge koppeling van de kolommen en koppeling met de liggers door middel van één of in dit geval meerdere staalplaten, binnen in de liggers en kolom in combinatie met deuvels (Malo, Abrahamsen, & Bjertnaes, 2016). Dit type verbinding is gebruikt binnen de vakwerkconstructie van het gebouw Treet.

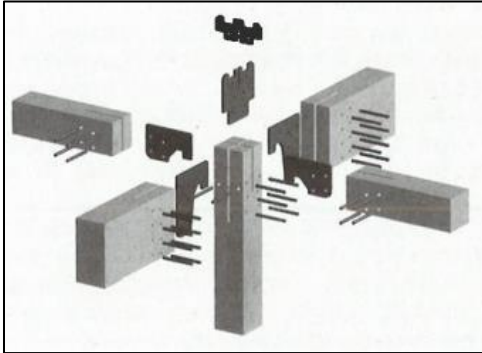


Figuur 7 – Zijaanzicht verbinding 2 (Malo, Abrahamsen, & Bjertnaes, 2016)

Een groot voordeel van dit type verbinding is de brandwerendheid van de verbinding omdat de staalplaten in de ligger worden aangebracht. Daarnaast is het voordelig dat de kolommen eventueel door kunnen lopen over meerdere verdiepingen. De verbinding in de huidige vorm is echter wel moment vast en niet handig in combinatie met een betonnen stabiliserende kern.

### 2.6.3. Verbinding 3: Kolb

Onderlinge koppeling van de kolommen niet duidelijk. Koppeling van de liggers door middel van stalen elementen en deuvels.



Figuur 8 – 3D weergave verbinding 3 (Kolb, 2008)

Dit type verbinding lijkt op verbinding 2: Treet. De doorkoppeling van de kolommen is niet geheel duidelijk, echter de verbinding met de liggers is in dit geval scharnierend wat de verbinding goed toepasbaar maakt in combinatie met de betonnen kern in het ontwerp. Hierbij is het staalement beschermd tegen brand omdat deze midden in de ligger is geplaatst.

### 2.7. Vraagstellingen

Op basis van het vooronderzoek wordt duidelijk dat bij het realiseren van hoogbouw in hout meerdere problemen naar voren komen:

Project specifieke problemen:

- Houtverbinding die aansluit onder een hoek met de kolom
- Wisselwerking houtconstructie met betonnen kern
- Anisotropie in de deuvelverbinding

Algemene problemen bij hout:

- (Horizontale) stijfheid van de gehele constructie
- Lichtgewicht
- Anisotropie
- Speling op de verbindingen
- Lage elasticiteitsmodules
- Brand

Overige algemene problemen bij hout, niet besproken of niet specifiek voor hoogbouw, zijn:

- Trillingen
- Kruip
- Grootte/afmetingen van de verbindingen

Van de bovenstaande problemen zijn niet alle van toepassing binnen het ontwerp van Arcadis. De horizontale stijfheid en het lichte gewicht van hout speelt bijvoorbeeld niet zozeer een rol doordat in het ontwerp van Arcadis gebruik wordt gemaakt van een stabiliserende kern van beton.

Binnen de anisotropie van hout kan een onderscheid gemaakt worden: doorstapeling van de liggers tussen de kolommen, met gevolgen voor de totale constructie en een reactiekracht loodrecht op de vezelrichting bij een verbindingselement met splijten tot gevolg.

De speling van de verbinding wordt meegenomen in de controle op de vervorming van de verbinding. Doordat de kolom-liggerverbinding scharnierend is uitgevoerd en de stabiliteit via de vloer wordt ontleend aan de betonnen kern, draagt de speling niet bij aan de horizontale vervorming van de totale constructie.

Trillingen worden voor de verbinding buiten beschouwing gelaten. Voor het bepalen van de vloerafmetingen spelen trillingen wel een rol, daarom moet een grotere vloerdikte aangehouden worden. Dit resulteert in een zwaarder belaste ligger en verbinding.

Verdere problemen die overblijven zijn de kruip en de lage elasticiteitsmodules waardoor een wisselwerking optreedt tussen de betonnen kern en de omliggende houten constructie. Doordat de houtconstructie meer vervormt dan de betonnen kern. Dit kan worden opgelost door de houtconstructie in eerste instantie hoger te bouwen dan de betonnen kern. Na verloop van tijd zal door de kruip de houtconstructie inzakken en op gelijke hoogte komen met de betonnen kern. Kruip in de kolommen heeft geen invloed op de verbinding, omdat deze scharnierend zijn.

Wanneer een uitkraging gerealiseerd moet worden dienen de liggers langs de kolom door te lopen om doorstapeling van de kolommen loodrecht op de vezelrichting van de liggers te voorkomen. Dit resulteert in grote verbindingen doordat de afmetingen van de kolommen en liggers in het ontwerp erg groot zijn vanwege een grote overspanning van de liggers. In het voorlopig ontwerp van het Kenniskwartier zitten geen uitkragingen, waardoor dit probleem niet optreedt.

Om zoveel mogelijk gebruik te maken van hout, waaronder ook het toepassen van houten liggers, moet een oplossing worden gevonden binnen de verbindingen. Dit blijkt onder andere uit het gebouw Brock Commons, waar gebruik is gemaakt van een stalen element in de koppeling tussen de kolommen en de vloer of uit de LifeCycle Tower 1 en het gebouw Treet, waar gebruik is gemaakt van beton om belasting loodrecht op de vezel uit te sluiten en te verlichten. De uitdaging hierbij zit in de vorm van het ontwerp van Arcadis, waarbinnen rekening gehouden moet worden met de grootte van de hoeken waaronder de liggers op de kolommen aansluiten.

Binnen het project worden niet alle problemen opgelost door het toepassen van een betonnen kern of het vermijden van doorstapeling van de liggers met behulp van de drie besproken verbindingsopties. De volgende problemen worden daarom onderzocht:

- Anisotropie van hout in de verbinding (splijten)
- Aansluiting van de houten liggers onder een hoek met de kolom
- Brand

Hieruit vloeien de hoofd- en deelvragen:

**Hoofdvraag:**

Wat is de meest geschikte houten kolom-liggerverbinding om toe te passen binnen het houten hoogbouwproject Kenniskwartier?

**Deelvragen:**

Wat zijn de afmetingen van de te verbinden elementen?

Wat is de invloed van de verschillende onderdelen van de deugelverbinding?



### 3. Deuvelverbinding

#### 3.1. Inleiding

Vanwege het feit dat binnen de verbindingen besproken onder paragraaf 2.6 uitsluitend gebruik gemaakt wordt van deuvelverbindingen wordt een verdiepend literatuuronderzoek gedaan naar de mogelijkheid om deze verbinding op grote schaal toe te passen in hoogbouw met hout.

In de literatuur worden drie hoofdproblemen beschreven voor een meervoudige deuvelverbinding: stijfheid, sterkte en splijtsterkte:

##### Stijfheid verbinding:

Uit de literatuur voor het huidige hoogste houten gebouw “Treet” bleek dat het bepalen van de stijfheid eigenschappen van een meervoudige deuvelverbinding gehinderd wordt door een gebrek aan betrouwbare gegevens. Hier viel op dat de richtlijnen in Eurocode 5 voorschrijven dat de stijfheid van de verbinding evenredig is aan het aantal deuvels en afschuifvlakken terwijl dit niet het geval blijkt te zijn.

*“It should be noted that an evaluation of the stiffness of connections for use in serviceability limit state is hampered by the lack of reliable data and the large variation.”*

(Malo, Abrahamsen, & Bjertnaes, 2016)

*“The Eurocode 5 (CEN 1995 2004) guidelines imply that the stiffness is proportional with the number of dowels and shear planes. However, it has been reported from experiments that the stiffness is not proportional to the number of dowels; it appears to be less (Siem 2014).”*

(Malo, Abrahamsen, & Bjertnaes, 2016)

##### Sterkte verbinding:

In een rapport van Zarnani en Quenneville (2013) wordt gewezen op het feit dat uit verschillende testen blijkt dat bij verbindingen met meerdere verbindingsmiddelen het bezwijken van het hout maatgevend kan zijn (bros bezwijken). Daarnaast wordt aangegeven dat het European Yield Model (EYM) goede voorspellingen biedt voor het taai bezwijken, echter wordt het bros bezwijken niet meegenomen.

*“Test results from various sources [2-12] demonstrate that for multi-fastener connections loaded either longitudinally or transversely, failure of wood can be the dominant mode. The design procedures for timber connections in most design codes are based mainly on the European Yield Model (EYM) originally proposed in 1949 by Johansen. While the EYM theory provides accurate predictions for connections that fail in ductile fashion, it does not take into account the failure of the connections due to the brittle rupture of wood.”* (Zarnani & Quenneville, Design procedure to determine the capacity of timber connections under potential brittle, mixed and ductile failure modes, 2013)

##### Splijtsterkte loodrecht op de houtvezel:

Tevens wordt in ander rapport van Zarnani en Quenneville gewezen op het feit dat de bepaling van de splijtcapaciteit van hout loodrecht op de vezelrichting nog in de ontwikkelingsfase zit.

*“Design techniques and procedures for dowel-type connections loaded perpendicular-to-grain are well understood for ductile behaviour. However, research into brittle splitting failures is still at the progressing stage [2,3].”* (Zarnani & Quenneville, Wood splitting capacity in timber connections loaded transversely: Riveted joint strength for full and partial width failure modes, 2013)



Samengevat zijn de drie hoofdproblemen:

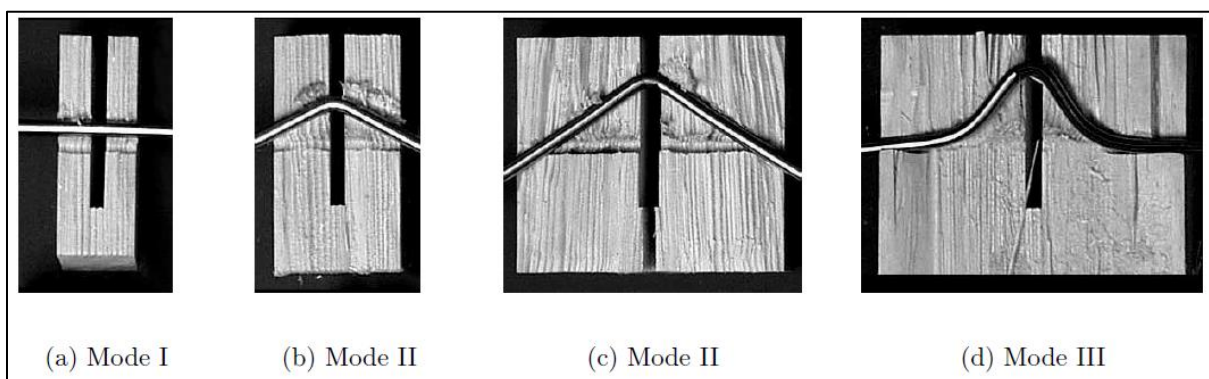
- De bepaling van de stijfheid van een meervoudige deuvelverbinding volgens Eurocode 5, wordt niet ondersteund door recente literatuur.
- Het EYM-model geeft een nauwkeurige voorspelling van meervoudige deuvelverbinding die taai bezwijkt, maar houdt geen rekening met brosse bezwijkmechanismen.
- De bepaling van de splijtcapaciteit bij loodrecht belaste liggers door een deuvelverbinding bevindt zich in de onderzoeksfase.

### 3.2. Theoretische achtergrond

De draagcapaciteit van een deuvel wordt per afschuifvlak bepaald aan de hand van de laagste uitkomst van verschillende bezwijkmechanismen waarvan de formules zijn vastgelegd. In het geval van verbinding 3 (par. 2.6.3) is de staalplaat in het midden van de ligger aangebracht, een deuvel heeft dan twee afschuifvlakken. De totale draagcapaciteit van een verbinding is als volgt opgebouwd:

$$[\text{Draagcapaciteit per afschuifvlak}] * [\text{aantal afschuifvlakken}] * [\text{aantal deuvels}]$$

Volgens Johansen (1949) hangt de totale draagcapaciteit van de verbinding af van de geometrie van de verbinding, de buigweerstand van de deuvel en de stuksterkte van het hout. Johansen (1949) geeft drie verschillende faalmechanismen voor hout – houtverbindingen in een dubbelsnede verbinding. Faalmechanisme I komt overeen met het bezwijken door inbedding spanningen voor een van de houten balken. Bij faalmechanisme II en III wordt, afgezien van de stuksterkte van hout, de buigcapaciteit van een deuvel bereikt. De faalmechanismen zijn weergegeven in figuur 9.



Figuur 9 – bezwijkmechanismen volgens Johansen  
Bron: (Pedersen, 2002)

De berekening van de draagcapaciteit van een deuvel is gebaseerd op een plastische ontwerpmethode. In dit model wordt ervan uitgegaan dat de deuvels en het hout zich gedragen als stijf-plastische materialen, dat houdt in dat er geen elastische vervorming optreedt in beide materialen. Met de plastische analyse is het alleen mogelijk te beschrijven wat het draagvermogen van de verbinding is wanneer geen vroegtijdige brosse breuk ontstaat. In de eurocode zijn minimale tussen- en randafstanden vastgesteld voor deuvels, met het doel brosse breuken te voorkomen. Brosse breuken zoals splijten of schijf- en blokafschuiving worden daarom niet meegenomen in de berekening van het draagvermogen van een deuvel. Ondanks dat aan deze rand- en tussenafstanden wordt voldaan kunnen bij meervoudige verbindingen brosse breuken optreden, zoals blijkt uit het rapport van Mischler (2000).

Volgens Mischler wordt aangeraden om houtverbindingen altijd taai te ontwerpen zodat bezwijken alleen na grote vervormingen plaats vindt.

*“In timber constructions, joints constitute the weak points of the construction. Therefore, joints should allways be designed of such a kind that their failure occurs only after great deformations (i.e. ductile).” (Mischler A. , 1997)*

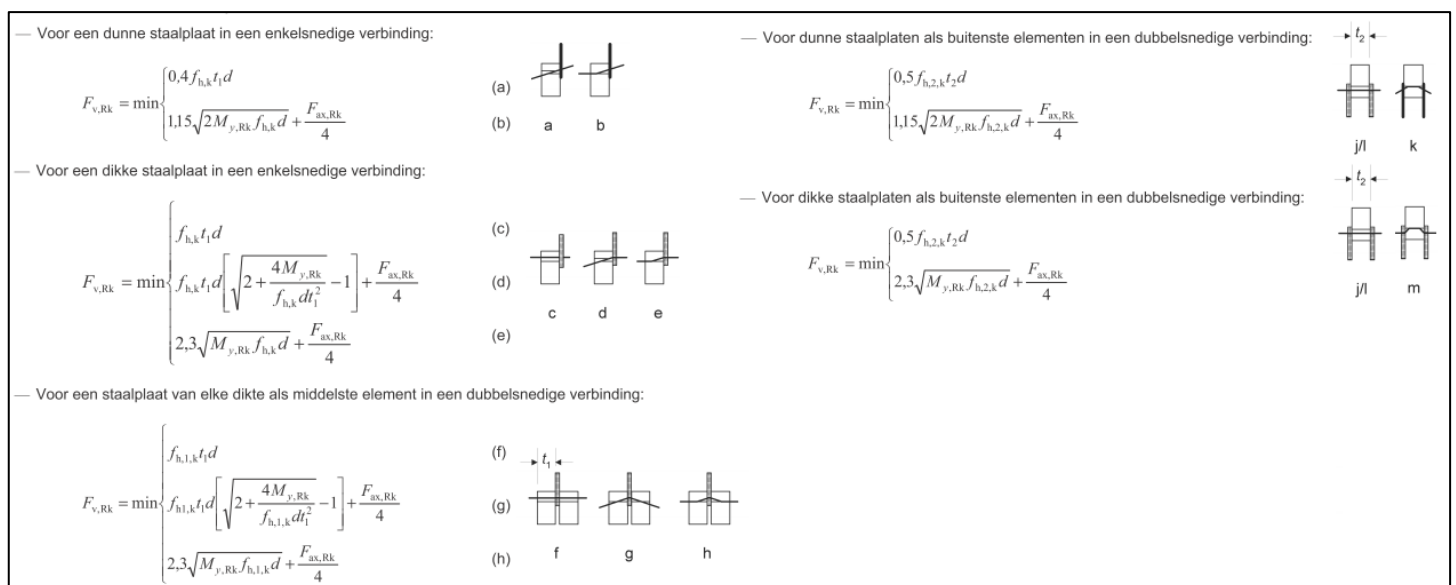
Het voordeel van het toepassen van taaie verbindingen is dat het door de vervorming mogelijk is om het bezwijken aan te zien komen. Daarnaast verdwijnen de spanningspieken door de vervorming in één deugel en wordt de belasting zo mogelijk opgenomen door de overige deugels (zie ook paragraaf 3.4.). Hout gedraagt zich extreem bros wanneer het belast wordt met trek. In het hout treden door de belasting van de deugel hoge spanningen op, die niet gereduceerd kunnen worden door plastische vervormingen vanwege de brosse eigenschap. Daardoor is een taaie verbinding in een houtconstructie alleen mogelijk als de deugel grote vervormingen ontwikkelt voordat de verbinding bezwijkt. Kairi (2004) geeft aan dat het doel is om het vloeimoment van de deugels te bereiken voordat het hout bezwijkt. Hierbij wordt aan de hand van de taaigheid ratio, ontwikkeld door Gheri, voor het realiseren van een goede verbinding een taaigheid ratio van  $D_s > 3$  aangeraden volgens Mischler.

*“The aim is to reach the yield point of the steel before failure of wood. Analysing the ductility of the joint Gehri (1996) has developed a concept for ratio of ductility  $D_s$ , figure 2. It is a ratio between the plastic and elastic displacement. Mischler (2000) recommend for a good connection the ratio of  $D_s > 3$ .” (Kairi, 2004)*

Jorissen geeft op zijn beurt aan dat de verbinding onder bezwijkmode III volgens Johansen dient te bezwijken om een taaie meervoudige deugelverbinding te realiseren.

*“The investigations made by Jorissen [1996] prove that a multiple fastener joint shows a ductile failure only under condition that mode III according to Johansen is reached.” (Jørgen Larsen & Munch-Andersen, 2011)*

Bezwijkmode III van Johansen (figuur 9) komt overeen met bezwijkmechanisme ‘e’, ‘h’ en ‘m’ uit eurocode 5 (figuur 10). Het verschil tussen de bezwijkmechanismen ‘e’, ‘h’ en ‘m’ is het aantal hout



Figuur 10 – Bezwijkmechanismen deugelverbinding volgens NEN-EN 1995-1-1 (2011)

inbeddingen of het aantal staalplaten. De deuvel bezwijkt echter op dezelfde manier, waarom de formule hetzelfde is. Het maatgevende bezwijkmechanisme bij de berekening volgens de eurocode moet 'e', 'h' of 'm' zijn voor een taai bezwijken. In eurocode 5 wordt gebruik gemaakt van meerdere bezwijkmechanismen, afgeleid van het werk van Johansen (zie figuur 10). Bij de berekening van Eurocode 5 is onderscheid gemaakt tussen enkel- en dubbelsnedige verbindingen, dunne en dikke staalplaten en staalplaten als binnenste of buitenste element. De classificatie van de staalplaat hangt samen met de diameter van de deuvel en wordt berekend met de volgende formule:

$$\text{dun als: } t \leq 0,5d \text{ \& dik als: } t \geq d$$

Af te leiden uit figuur 10 is dat wanneer een enkele staalplaat wordt toegepast slechts bezwijkmechanisme 'f', 'g' of 'h' maatgevend kan zijn. Wanneer gebruik wordt gemaakt van twee staalplaten aan de buitenzijde van de verbinding speelt de classificatie van de staalplaat mee en is de laagste uitkomst van bezwijkmechanismen 'j/l' en, afhankelijk van de classificatie van de staalplaat, 'k' of 'm' maatgevend. Wanneer de diameter van de deuvel in het tussengebied valt wordt de staalplaat geclassificeerd als zijnde 'tussen', de draagcapaciteit per afschuifvlak moet dan bepaald worden middels interpolatie tussen de uitkomsten van bezwijkmechanisme 'k' en 'm'. Wanneer de terugkoppeling wordt gemaakt naar de opmerking van Mischler en de opmerking van Jorissen, is het ideale geval dat een taai bezwijken optreedt. In het ontwerp van de verbinding (paragraaf 3.7) wordt gebruik gemaakt van een dubbelsnedige verbinding, dit betekent dat in de berekening volgens Eurocode 5 bezwijkmechanisme 'h' of 'm' maatgevend dient te zijn voor een taaie verbinding.

### 3.3. Stuksterkte hout

Uit een onderzoek door Sawata & Yasumara (2000) blijkt dat de stuksterkte van hout zowel parallel als loodrecht op de vezel in relatie staat met een toenemende hout dichtheid. Daarnaast bleek uit het onderzoek dat de maximale stuikspanning parallel aan de vezel bij een toenemende dikte van de deuvel gelijk bleef. Daarentegen treedt in de richting loodrecht op de vezel een afname van de maximale stuikspanning op bij een toenemende deuveldiameter. Dit is terug te zien in de formule van de eurocode waar een  $k_{90}$ -factor, welke afhankelijk is van de dikte van de deuvel wordt toegevoegd aan de stuksterkte loodrecht op de vezel.

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 d & \text{for softwoods} \\ 1,30 + 0,015 d & \text{for LVL} \\ 0,90 + 0,015 d & \text{for hardwoods} \end{cases}$$

Figuur 11 - bepaling  $k_{90}$  volgens NEN 1995-1-1

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * \rho_k$$

$$f_{h,a,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 a + \cos^2 a}$$

### 3.4. Meervoudige deuvelverbinding

Bij een verbinding waar meerdere deuvels in een rij geplaatst worden is de draagcapaciteit vaak lager dan de som van de individuele draagcapaciteit van een deuvel (Blaß, 1995). Hetzelfde geldt voor de stijfheid van de verbinding (Jorissen, 1999). De lagere draagcapaciteit hangt af van verschillende factoren namelijk, de slankheidsratio, sterkte van de deuvel, tussen- en eindafstanden deuvels en fabricatie toleranties (Mischler & Gheri, 1999). Daarnaast blijkt dat een overgang tussen taai en bros bezwijken zal ontstaan bij een toename van het aantal deuvels in een rij. Zoals eerder aangegeven concludeerde Mischler ook dat brosse breuken kunnen ontstaan bij meervoudige deuvelverbindingen terwijl aan de minimale tussen- en randafstanden van de eurocode wordt voldaan.

De afname van de draagcapaciteit van een meervoudige deuvolverbinding wordt mede veroorzaakt door een ongelijke verdeling van de belasting over de deuvels. Mischler geeft aan dat kleine fabricage toleranties negatieve invloed op de draagcapaciteit van een meervoudige verbinding heeft.

*“The disadvantage of this connection type is the difficult production: The timber and the steel plates have to be predrilled separately. Even small fabrication tolerances between the predrilled holes in the timber and in the steel plates have a negative impact on the load-carrying behavior of the connection.”* (Mischler A. , Multiple shear steel-to-timber connections with self-drilling dowels, 2001)

Fabricage onnauwkeurigheden leiden tot verschillende tolerantiewaarden per deugel. Wanneer de deugels in een lijn parallel zijn geplaatst in de richting van de belasting wordt deze ongelijk verdeeld over de deugels door het onderlinge verschil in initiële slip. De eurocode past daarom ten opzichte van het European Yield Model (EYM) parallel aan de vezelrichting een effectief aantal deugels toe:

$$n_{ef} = \min n \text{ of } n^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}}$$

Hierin is:

- n = aantal deugels in een rij
- a<sub>1</sub> = tussenafstand tussen de deugels
- d = diameter van de deugel

Het valt op dat n<sub>ef</sub> niet samenhangt met alle verschillende factoren die van invloed zijn op het taai bezwijken van de verbinding. Loodrecht op de vezelrichting wordt geen factor toegepast voor een effectief aantal deugels, omdat in deze richting wordt gecontroleerd op de splijtsterkte:

$$n_{ef} = n$$

Uit het rapport van Mischler, Prion & Lam (Z.J.) blijkt dat het aantal effectieve deugels van meer zaken afhangt dan die in Eurocode 5 meegenomen worden. De randafstand, sterkte van de deugel, fabricatie toleranties en de slankheid van de deugel zijn ook van invloed op het aantal effectieve deugels. Deze factoren worden echter niet meegenomen in de berekening volgens Eurocode 5. Bij een meervoudige deuvolverbinding die taai bezwijkt vervormen de deugels eerst, waardoor fabricage toleranties gecompenseerd worden en de belasting beter verdeeld is. Bij het bros bezwijken van het hout vervormen de deugels niet, waardoor sommige deugels zwaarder belast worden. Bij taai bezwijken kan worden gesteld dat de n<sub>ef</sub> hoger ligt dan bij bros bezwijken. In de onderstaande tabel is te zien dat het mogelijk is om met een taai verbinding een n<sub>ef</sub> te halen die gelijk is aan n terwijl dit in de Eurocode niet meegenomen wordt.

| Rows | Dowels in row | F <sub>u</sub> per dowel and shear plane | Coefficient of variation | Coeff. of Var. timber density | Number of tests | Timber tension stress [N/mm <sup>2</sup> ] |
|------|---------------|------------------------------------------|--------------------------|-------------------------------|-----------------|--------------------------------------------|
| 1    | 1             | 3.33 kN                                  | 0.10                     | 0.16                          | 25              |                                            |
| 2    | 3             | 3.67 kN                                  | 0.05                     | 0.05                          | 10              | 17.2 N/mm <sup>2</sup>                     |
| 4    | 3             | 3.32 kN                                  | 0.05                     | 0.09                          | 10              | 15.6 N/mm <sup>2</sup>                     |
| 7    | 3             | 3.31 kN                                  | 0.05                     | 0.09                          | 10              | 31.7 N/mm <sup>2</sup>                     |
| 4    | 4             | 3.28 kN                                  | 0.05                     | 0.09                          | 10              | 20.5 N/mm <sup>2</sup>                     |

Figuur 12 – Testresultaten van een meervoudige deuvolverbinding met een gemiddelde dichtheid van 560 kg/m<sup>3</sup> (Mischler, Prion, & Lam, Load-carrying behaviour of steel-to-timber dowel connections)

Dit verklaart waarom Zarnani & Quenneville (2013) tot de conclusie kwamen dat de eurocode de brosse bezwijkmechanisme onvoldoende behandelt. Het aantal effectieve deugels wordt niet goed bepaald bij meervoudige deuvolverbindingen. Gezien het feit dat hout loodrecht op de vezelrichting

aanzienlijk minder sterkt bezwijkt de verbinding eerder bros. Dit maakt het des te belangrijker loodrecht op de vezelrichting bij een meervoudige deuvolverbinding te voldoen aan de slankheidsratio en bezwijkmechanisme 'h' om een taaie verbinding te realiseren.

### 3.5. Slankheidsratio

De slankheidsratio geeft de verhouding tussen de dikte van de deugel en de breedte van het hout aan de hand van de volgende formule weer:

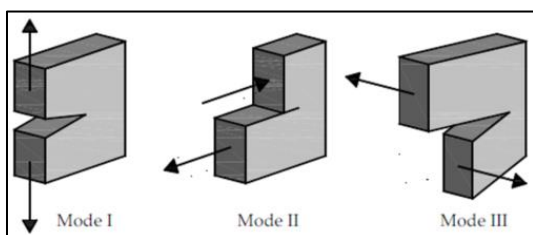
$$\lambda = \frac{t}{d}$$

Uit het rapport van Mischler, Prion & Lam (Z.J.) volgt dat de slankheidsratio van grote invloed is op de verdeling van de krachten in een meervoudige deuvolverbinding. In dit onderzoek werd het draagvermogen van een enkele deugel en een verbinding met twee rijen van 3 deugels met elkaar vergeleken onder verschillende slankheidsratio's. Bij een meervoudige deuvolverbinding met een slankheidsratio van 3 was een reductie van 28% op de draagcapaciteit ten opzichte van een enkele deuvolverbinding geobserveerd. Een reductie van 0% werd ondervonden bij een slankheidsratio van 6. Mischler geeft aan dat een taaie meervoudige deuvolverbinding alleen mogelijk is bij een slankheidsratio hoger dan 4. Gezien de stuksterkte loodrecht op de vezel zo'n 1,5 keer zo klein is ten opzichte van parallel aan de vezelrichting, kan in deze richting beter een slankheidsratio van 6 worden aangehouden.

### 3.6. Spleetsterkte

Bij een belasting loodrecht op de vezelrichting met een deuvolverbinding moet naast het controleren van het draagvermogen van de verbinding zelf (stuksterkte hout en vloeiesterkte deugels) de spleetsterkte van het hout gecontroleerd worden, zoals aangegeven onder 3.1. Het spleeten van hout wordt onderverdeeld in drie verschillende bezwijkmodi:

- Mode I (opening mode): Breuk door een trekkracht loodrecht op het breukvlak;
- Mode II (sliding mode): Breuk door een schuifspanning parallel aan het vlak en loodrecht op het breukvlak;
- Mode III (tearing mode): Breuk door een schuifspanning parallel aan het vlak en parallel op het breukvlak



Figuur 13 – Verschillende bezwijkmodi t.g.v. spleeten (Schoenmaker, 2010)

Bij de controle op de spleetsterkte van het hout treedt een combinatie van bezwijkmechanisme I en II op. Dit wordt veroorzaakt door de belasting loodrecht op de vezel van de deugels (mode I) en een moment in de ligger (mode II). Mode III treedt alleen op bij een zijdelingse kracht, dit is niet aanwezig binnen de liggers van het Kenniskwartier.

### 3.6.1. Eurocode

In de Eurocode wordt de splijtsterkte berekend aan de hand van een formule opgesteld door Van der Put en Leijten:

$$V_u = t * \sqrt{\frac{G G_c}{0,6}} * \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}}$$

Dit model is gebaseerd op lineair elastische breukmechanica. Hierin wordt de schijnbare breuk parameter berekend met:  $\sqrt{G G_c}$ , waarin G de afschuifmodulus en  $G_c$  de breukenergie weergeeft. De maximaal toelaatbare breukenergie  $G_c$  is voor hout verschillend tussen de verschillende bezwijkmoden. Gelamineerd naaldhout heeft een maximale breukenergie van:

$$G_c^I = 0,225 \text{ N/mm}^2 \quad G_c^{II} = 0,65 \text{ N/mm}^2$$

De maximale breukenergie staat in relatie tot de bezwijkmodus en ligt voor bezwijkmode II veel hoger dan bij bezwijkmode I. Doordat de ligger zowel op een moment belast wordt als loodrecht op de vezel door een deuvelverbinding treden beide bezwijkmechanisme op. Dit resulteert altijd in een combinatie van bezwijkmoden I en II. Het is echter nog niet bepaald wat de invloed van de verschillende bezwijkmoden zijn.

*“At this stage, it is impossible to estimate the influence of the failure mode of the fastener in relation with the apparent fracture parameter as test data taken from literature were not tailored to check this aspect” (Xu, Bouchaïr, Taazout, & Vega, 2009)*

Aangezien deze invloed nog niet is bepaald, is bij de formule van Van der Put & Leijten de ondergrenswaarde gebruikt van de schijnbare breuk parameter na het analyseren van de testgegevens. Voor het toepassen van deze formule in Eurocode 5 is de  $\sqrt{\frac{G G_c}{0,6}}$ -factor verhoogd naar 14 ten opzichte van een waarde van  $10 \text{ N/mm}^2$ , welke voorgesteld werd door van der Put & Leijten. Dit komt doordat uit ervaringen, onder andere in Noorwegen, blijkt dat de sterkte van het hout beter is en wordt onderschat. Dit resulteert in de volgende formule in Eurocode 5:

$$F_{90,Rk} = 14 * b * w * \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}}$$

Zoals op te maken valt uit de formule wordt alleen de hoogte, breedte, verste deuvelafstand vanaf de rand en een factor w meegenomen. De berekening van de Eurocode neemt de geometrie van de verbinding niet mee, terwijl deze van grote invloed blijkt te zijn op de splijtcapaciteit van de verbinding.

*“The use of the European design standard EN 1995-1-1:2004 for the prediction of the load capacity of dowel type connections loaded perpendicular to grain should be used very carefully because the effect of important parameters are not taken into account and in some case the load capacities were over predicted.” (Jørgen Larsen & Munch-Andersen, 2011)*

Daarnaast blijkt uit onderzoek van Ballerini (2004) dat de formule voor een ratio ( $h_e/h$ ) hoger dan 0,5 de splijtsterkte van de verbinding overschat.



De splijtsterkte van het hout laat zich niet makkelijk herleiden doordat deze beïnvloed wordt door veel verschillende parameters. Bovendien blijkt uit een analyse van gerapporteerde proefresultaten van Schoenmakers (2010) dat het bezwijkmechanisme in veel gevallen stuiken is, terwijl splijten het onderwerp van onderzoek was. De modellen geven in het algemeen een onnauwkeurige voorspelling van de splijtsterkte.

Verdere literatuur wijst uit dat er meerdere modellen of aanpassingen op de eurocode bestaan voor het berekenen van de splijtsterkte. Deze modellen worden onder 3.6.2 besproken.

### 3.6.2. Splijtsterkte modellen

#### **Het model van Ballerini:**

Ballerini heeft de formule die opgesteld is door Van der Put en Leijten vergeleken met verschillende onderzoeken naar de splijtsterkte van hout. Hieruit werd geconcludeerd dat Van der Put voor lage ( $h_e/h$ ) waarden de splijtsterkte onderschat en bij hoge waarden de splijtsterkte overschat. Aan de hand daarvan is de formule aangepast zodat deze beter overeenkomt met de testresultaten waar Ballerini naar heeft gekeken. Daarnaast blijkt dat de geometrie van de verbinding van invloed is op de splijtsterkte. Na analyse van de testresultaten heeft hij verschillende factoren toegevoegd die rekening houden met de afstand tussen verschillende verbindingen, lengte verbinding, hoogte verbinding en het aantal rijen. Tot slot is de breukparameter  $\sqrt{GG_c}$  verlaagd ter compensatie van de toegevoegde correctiefactoren.

#### **Duitse ontwerpcode (DIN):**

De Duitse code is afgeleid van het werk van (Ehlbeck, Görlacher, & Werner, 1989). In tegenstelling tot de Eurocode wordt gerekend met de treksterkte van het hout loodrecht op de vezel in plaats van de afschuivingsmodules in combinatie met de breukenergie. Verder wordt in deze methode rekening gehouden met de geometrie van de verbinding. Zo worden binnen de berekening verschillende factoren meegenomen, deze nemen de volgende eigenschappen van de verbinding in acht:

- Breedte;
- Afstand tot de verst belaste deuvel (aantal deuvels in een kolom);
- Lengte verbinding (aantal deuvels in een rij);
- Afstand tot elke belaste deuvel in plaats van alleen de meest ver belaste deuvel;
- Verhouding tussenafstand deuvels tot de hoogte

Voorwaarde voor het gebruik van de methode volgens de Duitse code is een  $h_e/h$  verhouding van maximaal 0,7.

#### **DIN met aanpassingen B. Franke en P. Quenneville:**

Bij de formule van de DIN wordt de lengte van de rij deuvels meegenomen, maar niet het aantal kolommen dat zich in de rijlengte bevindt. Uit het onderzoek van (Franke & Quenneville, Failure behaviour and resistance of dowel-type connections loaded perpendicular to grain, 2010) blijkt dat het aantal kolommen invloed heeft op de splijtsterkte bij een gelijkblijvende verbindinglengte. Daarom is een nieuwe factor voorgesteld die het aantal kolommen in rekening neemt. Daarnaast blijkt uit het onderzoek dat het effect bij een toename van het aantal rijen van de verbinding te veel meegenomen wordt. Aan de hand van de testresultaten is een andere formule opgesteld om de  $k_r$  factor te berekenen.

Na aanpassing van de formule blijkt dat de spreiding van de voorspelde waarden ten opzichte van de testresultaten dichter bij elkaar liggen. Echter wordt voor alle verbindingen de draagcapaciteit



onderschat. Door het toevoegen van een calibratiewaarde van ( $k = 1,5$ ) komen de testresultaten goed overeen met de voorspelde splijtcapaciteit volgens dit model.

#### **Model van Jensen:**

Het model van Jensen is op dezelfde wijze afgeleid als het model van Van der Put & Leijten, namelijk middels lineair elastische breukmechanica. Het verschil in dit model is dat een normaalkracht op de plaats van de scheur wordt meegenomen met de afleiding van de formule. De geometrie wordt daarom nog steeds niet goed mee genomen, echter geeft Jensen aan dat deze formule wel een betere indicatie geeft voor de splijtsterkte van de verbinding.

#### **Schoenmakers:**

Schoenmakers (2010) houdt de formule van de Eurocode aan en maakt hierop een aanpassing. In de Eurocode is de breukparameter al vastgelegd, echter is dit alleen voor naaldhout. Naar aanleiding van zijn onderzoek heeft Schoenmakers voor meerdere houtsoorten en typen verbindingen een specifieke breukparameter ( $G \cdot G_c$  waarde) bepaald. Vervolgens moet het eindantwoord worden vermenigvuldigd met 1 wanneer de verbinding aan het uiteinde van de ligger is geplaatst en met twee wanneer dit in het midden van een ligger is.

De methode van Schoenmakers houdt op deze manier meer rekening met het verbindingstype en de eindafstand van de verbinding in de ligger.

#### **B. Franke & P. Quenneville:**

Het model van B. Franke en P. Quenneville (Franke & Quenneville, Design approach for the splitting failure of dowel-type connections loaded perpendicular to grain, 2013) berekent de splijtsterkte aan de hand van de breukenergie van mode I en II. In dit model wordt in tegenstelling tot de Eurocode onderscheid gemaakt wat betreft de verhouding tussen bezwijkmode I en II, die allebei optreden bij de deuvelverbinding. Uit het onderzoek volgt dat de lengte, hoogte en  $h_e/h$  van invloed zijn op de verbinding, en de verhouding tussen de twee bezwijkmodi beïnvloed. Bij een lage  $h_e/h$  factor of  $\alpha_r$  neemt de invloed van  $G_c$  toe doordat deze waarde lager ligt.

Uit eerder onderzoek van Franke & Quenneville bleek dat de splijtsterkte toeneemt bij een toenemend aantal rijen. Deze toename zwakt af en de splijtsterkte zal uiteindelijk niet meer toenemen bij veel rijen deuvels. Hierdoor is een extra factor ( $k_r$ ) toegevoegd die rekening houdt met het aantal rijen in de verbinding.

#### **P. Zarnani; P. Quenneville Full split:**

In dit model wordt de eindafstand en de breedte van de verbinding meegenomen. Uit verschillende onderzoeken bleek dat de eindafstand invloed heeft op de totale draagcapaciteit van de verbinding. In dit model wordt een reductiefactor toegevoegd aan de hand van de effectieve splijtlengte van het hout. Voor gelamineerd hout is de effectieve splijtlengte bepaald op  $2,7h_e$ . Wanneer deze splijtlengte optreedt is de maximale splijtsterkte van hout bereikt. Mits aan beide zijden van de verbinding de eindafstand minimaal  $2,7h_e$  is, heeft het verplaatsen van de verbinding geen effect op de sterkte. Voor het verlies aan draagcapaciteit wordt de maximaal optredende splijtlengte gedeeld door de effectieve splijtlengte waarbij de splijtsterkte van de verbinding maximaal is. Hierbij wordt in de formule bij een eindafstand langer dan  $2,7h_e$  de maximale splijtlengte volgens  $2,7h_e$  ingevuld in plaats van de eindafstand.

### 3.7. Varianten

Op basis van de behandelde verbindingen onder 2.6.1 t/m 2.6.3 zijn twee varianten ontwikkeld. Meerdere afbeeldingen en aanzichten van deze varianten zijn bijgevoegd in bijlage 3.

#### 3.7.1. Variant 1

Variant 1 komt overeen met de verbinding van Van der Berkmortel, beschreven onder 2.6.1. Door middel van een stalen koker wordt de verbinding tussen de kolommen tot stand gebracht. Een horizontale plaat binnen in het midden van de koker zorgt voor de afdracht van de verticale krachten vanuit de ligger. De koppeling van de ligger wordt gemaakt door middel van een T-stuk dat op de koker wordt gelast. De ligger wordt op het horizontale gedeelte van het T-stuk gelegd. Door middel van een deuvel wordt de ligger gezekeerd tegen horizontale verplaatsingen. In het ontwerp van Arcadis wordt de stabiliteit aan een betonnen kern ontleend, daarom is één deuvel toegepast in plaats van drie zoals in het gevonden ontwerp van Van den Berkmortel (2009). Door het toepassen van een deuvel met voldoende speling wordt een scharnierende verbinding gerealiseerd. Het ontwerp bevat aan de binnenzijde van de uitsparing in de ligger Densified Veneer Wood (DVW).

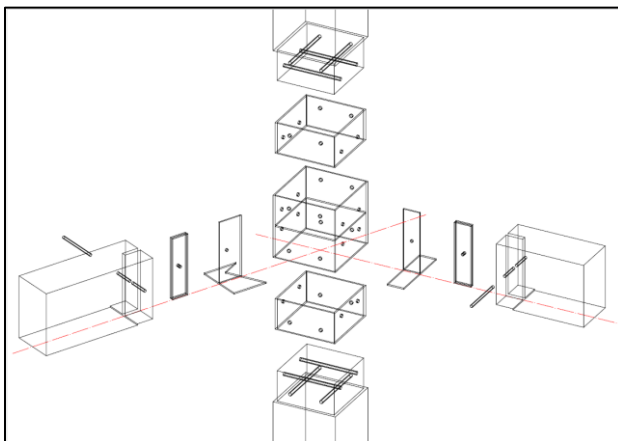
Dit type verbinding biedt goede mogelijkheden voor de verbindingen onder de hoeken van 90°, 59° en 117°. Door de horizontale plaat te verlengen en het verticale stuk te verlengen en onder een hoek te plaatsen is het voor elke hoek mogelijk om deze verbinding te gebruiken. Het verticale deel van het T-stuk werkt tegen in het uitbuigen van het horizontale stuk.

#### Voordelen

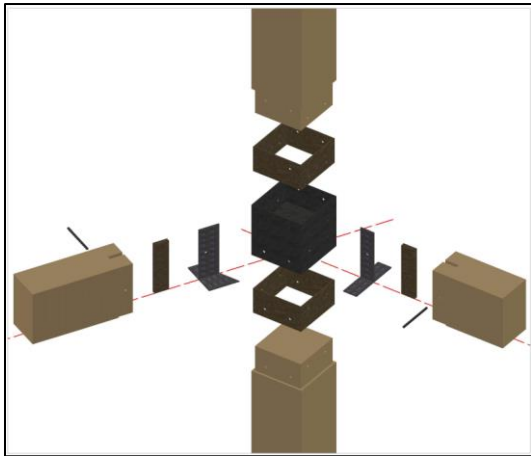
- Stalen element is volledig prefab te maken waardoor de houten elementen op de bouwplaats alleen gekoppeld dienen te worden met deuvels en stalen buizen. Dit resulteert in een snel en gemakkelijk bouwproces;
- De doorsnede van de kolom wordt niet gereduceerd, tenzij wordt gekozen om de stalen koker te verzinken in de kolommen;
- Goede mogelijkheden bij verbindingen onder de verschillende hoeken

#### Nadelen

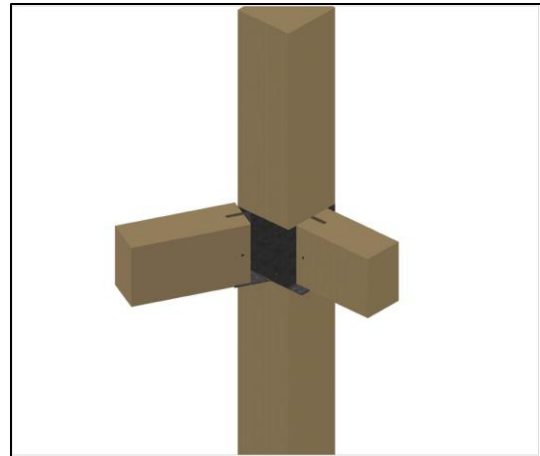
- De productie van het staalement luistert nauw qua afmetingen en het lokaliseren van de uitsparingen voor de deuvels;
- Het staal wordt niet beschermd, aanvullende maatregelen voor brandwerendheid zijn noodzakelijk. Een belangrijk punt hierbij is de oplegging door middel van staal die ook is blootgesteld.



Figuur 14 – 3D Exploded view wireframe variant 1



Figuur 15 - 3D Exploded view render variant 1



Figuur 16 – 3D view render variant 1

### 3.7.2. Variant 2

Variant twee is een combinatie van verbinding 1 en 3, waarbij de stalen opleg elementen uit de ligger van verbinding 3 gecombineerd worden met de stalen koker van verbinding 1. Door de combinatie van verbinding 3 met verbinding 1 wordt een betere spreiding van de lasten in de kolom verkregen en hoeven minder deuvels toegepast te worden dan bij verbinding 3, dit resulteert in een eenvoudiger en sneller uit te voeren verbinding en een betere doorkoppeling van de kolommen.

De kolommen worden doorverbonden door middel van een stalen element als bij variant 1 en worden gezeurd door stalen buizen. Bij deze variant is het bovenste gedeelte van de stalen koker weggelaten, de horizontale plaat is nu de bovenkant van de koker in plaats van het midden, zie figuur 18. Op deze horizontale plaat zijn twee nokken geplaatst (aangegeven met groen), die het uitschuiven van de ligger voorkomen. Om het stalen element aan de bovenliggende kolom te verbinden zijn twee staalplaten loodrecht op de horizontale plaat op de koker geplaatst (aangegeven met rood). Door middel van eenzelfde buis als voor de koppeling van de onderste kolom wordt de bovenste kolom aan deze staalplaten vastgezet. De koker valt over de verjonging van de onderste kolom als bij variant 1, de bovenste kolom heeft vervolgens twee sneden als uitsparing en valt zo over de opleg nokken als aangegeven met groen en rood.

De gelamineerde liggers worden met een stalen hoekplaat opgelegd op de horizontale plaat boven op de koker. Het stalen element in de ligger wordt bevestigd met deuvels. De bovenste kolom heeft uitgefreesde uitsparingen die over de stalen elementen van de verbinding heen vallen. Het ontwerp bevat ook DVW.

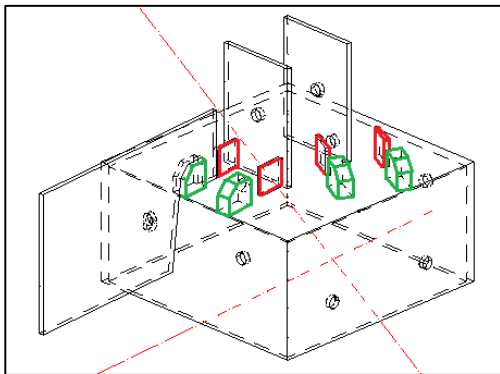
Het is van belang dat het hart van de ligger in één lijn ligt met het hart van de kolom, zodat geen excentriciteit in de kolom ontstaat. Wanneer dit wordt aangehouden kruisen de twee staalplaten uit de liggers elkaar ter plekke van de opleggingen bij een hoek van 59°. In deze hoek wordt daarom niet het hart van de kolom maar het hart van de rand van de kolom aangehouden. Voor de ligger is het van belang dat de twee staalplaten even lang zijn voor een parallelle werking.

#### Voordelen

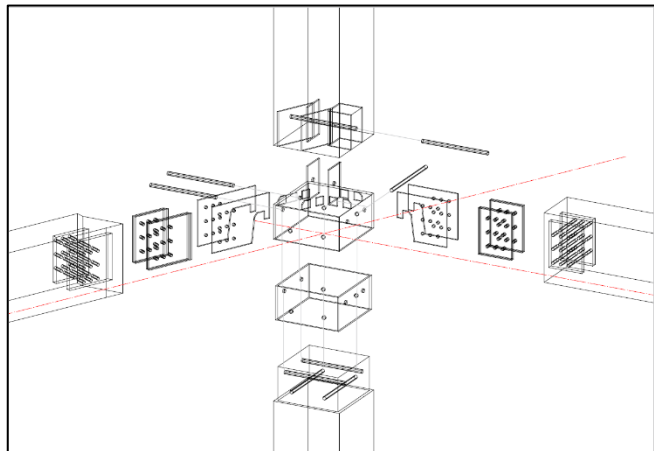
- Stalen element is tevens volledig prefab te maken wat resulteert in een snel en gemakkelijk bouwproces;
- Betere brandbestendigheid ten opzichte van variant 1 doordat het oplegpunt in de kolom valt en zo door de hout beschermd wordt;
- Minder staal benodigd ten opzichte van variant 1

## Nadelen

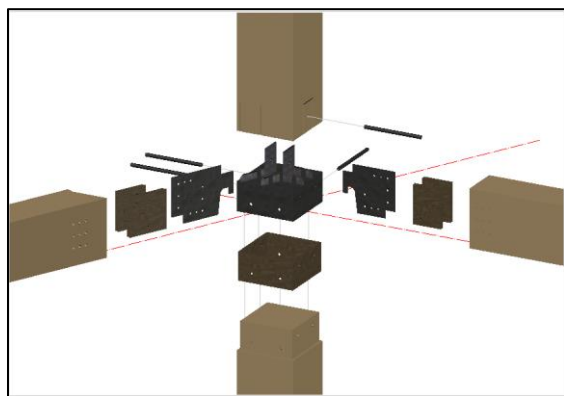
- Doordat het stalen element om de kolom valt zal een nauwkeurig productieproces nodig zijn
- Goede mogelijkheden bij verbindingen onder de verschillende hoeken echter een aanpassing nodig voor de hoek onder 59°



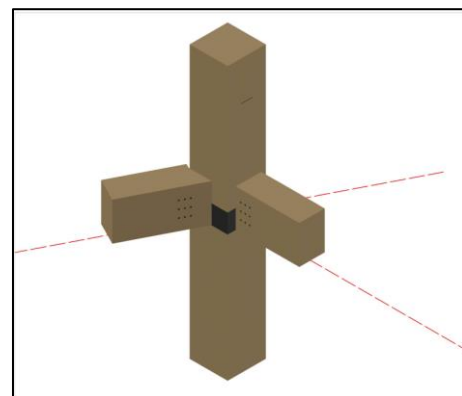
Figuur 18 - Stalen element bij twee ligger aansluitingen, variant 2



Figuur 17 – 3D exploded view variant 2, hoek van 117 graden



Figuur 19 – 3D Exploded render view variant 2



Figuur 20 – 3D render view variant2

### 3.7.3. Overige overwegingen

#### **Geen gebruik van liggers:**

De overspanningen binnen dit ontwerp laten het niet toe om CLT-vloerpanelen te gebruiken zonder het gebruik van liggers wegens de maximaal leverbare hoogte van 320mm.

#### **Stalen element:**

De overweging is gemaakt om het stalen element rond te maken zoals bij het gebouw Brock Commons. Doordat binnen deze constructie geen vloerpanelen kunnen worden toegepast zonder liggers, is een element als bij het gebouw Brock Commons niet mogelijk.

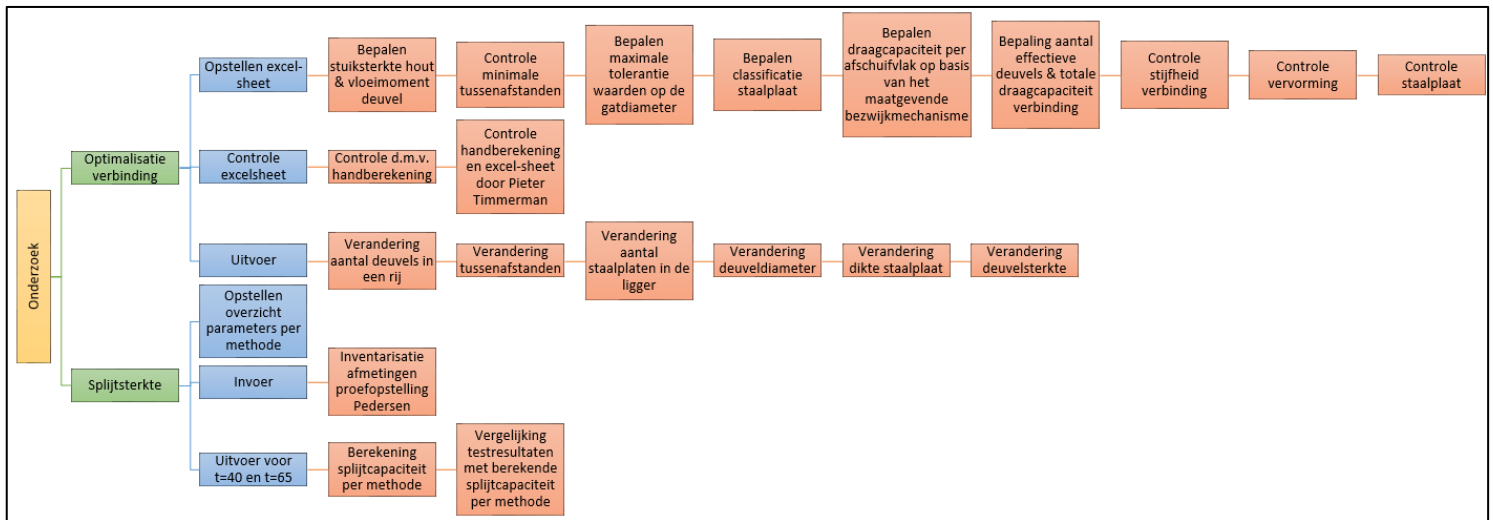
Het toepassen van een rond element bij variant 1 biedt geen voordelen ten opzichte van een vierkant element. Bij het gebruik van een vierkant element wordt minder gebruik gemaakt van staal en heeft daarom de voorkeur.

### 3.8. Onderzoek

Binnen variant één is weinig verder onderzoek mogelijk om een bepaald optimum te bereiken in het materiaal gebruik. De horizontale staalplaat moet groot genoeg zijn om de oplegspanning op te kunnen nemen en sterk genoeg om niet uit te buigen. Hier werkt het verticale deel in tegen. Verder zal de las de afschuiving ten gevolge van de oplegreactie aan moeten kunnen.

Bij variant twee daarentegen is het interessant te onderzoeken wat de invloed is van de verschillende parameters om een optimale verbinding te realiseren.

Het onderzoek kan worden ingedeeld in twee gedeelten, namelijk het onderzoek naar de invloed van de verschillende parameters binnen een deuvelverbinding en een onderzoek omtrent de meest geschikte methode tot het berekenen van de splijtcapaciteit van een meervoudige deuvelverbinding.



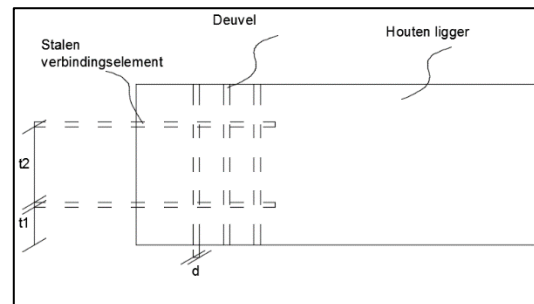
Figuur 21 - Matrix opbouw onderzoek

#### Optimalisatie verbinding

Om de verbinding te optimaliseren en aan de hand hiervan een ontwerp op te stellen is de toetsing van de deuvelverbinding geautomatiseerd door middel van een Excel spreadsheet. Wanneer verschillende parameters worden aangepast worden de waarden automatisch doorberekend, waarna de uitkomsten worden vergeleken door middel van grafieken. Deze spreadsheet is gevalideerd middels een handberekening. De Excel sheet en handberekening zijn toegevoegd in bijlage 7 en 8.

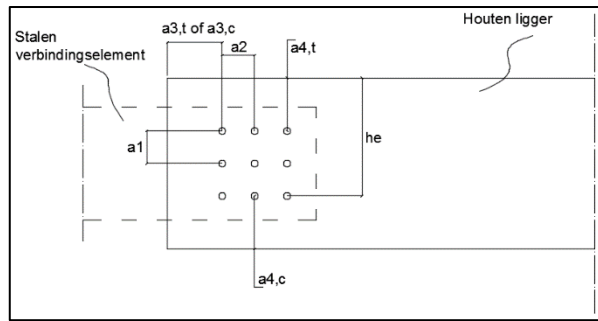
Uit deze resultaten kan vervolgens een optimum worden bepaald voor het ontwerp van de verbinding. De volgorde van verschillende toetsingen die wordt uitgevoerd is schematisch weergegeven in figuur 21.

Voor de verbinding binnen het ontwerp van Arcadis is de draagkracht parallel aan de vezelrichting niet van toepassing. De invloeden op de draagkracht parallel aan de vezelrichting worden wel behandeld om de vergelijking te maken met de draagkracht loodrecht op de vezelrichting en voor het geval wel een drukkracht in de ligger optreedt. De invloed van de volgende parameters worden, in beide richtingen, onderzocht:



Figuur 22 - Parameters deuvelverbinding 1/2

- Verandering van het aantal deuvels in een rij;
- Verandering van de tussenafstanden  
*De verandering van het aantal deuvels in een rij en de tussenafstanden wordt niet onderzocht in combinatie met de verandering van het aantal staalplaten omdat deze factoren niet afhankelijk zijn van het aantal staalplaten in de ligger.*



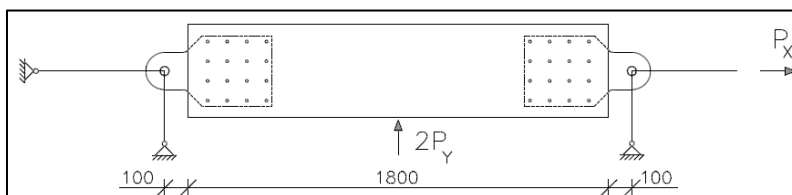
Figuur 23 - Parameters deuvolverbinding 2/2

Vervolgens is per aantal staalplaten de invloed van de volgende parameters onderzocht, gekozen is voor het toepassen van 1, 2 en 3 staalplaten omdat de inbedding in het hout anders te klein wordt.

- Verandering van de diameter van de deugel;
- Verandering van de dikte van de staalplaat;
- Verandering de sterkte van de deugel

### Splijsterkte

Om te bepalen welke methode het meest geschikt is voor de berekening van de splijtcapaciteit van een scharnierende verbinding aan het uiteinde van de ligger wordt de uitkomst van elke methode vergeleken met de testresultaten van een proefopstelling van Martin Pedersen. Deze proefopstelling komt overeen met de schematisatie van de variant binnen het Kenniskwartier, zie figuur 24



Figuur 24 – Schematische proefopstelling Martin Pedersen (links) & afmetingen verbinding (rechts)

### 3.9. Conclusies

Binnen houten hoogbouw zijn weinig opties wanneer kolommen en liggers verbonden dienen te worden in combinatie met een stabiliserende betonnen kern, en geen gebruik gemaakt mag worden van beton in de verbinding. Omdat de verbindingen in het geval van een betonnen kern scharnierend moeten zijn, kan uitsluitend gebruik gemaakt worden van verbindingen door middel van staalplaten en deuvels.

Voor de berekening met betrekking tot de sterkte van de deuvolverbinding kan de eurocode aangehouden worden. De bepaling van de splijtcapaciteit van meervoudige deuvolverbindingen is daarentegen onbetrouwbaar wanneer deze wordt berekend volgens de Eurocode, wegens het niet meenemen van de geometrie van de verbinding. Uit de literatuur bleken meerdere methoden opgesteld voor het berekenen van de splijtcapaciteit, deze methoden worden nader onderzocht. Het onderzoek moet uitwijzen of aan de hand van een van deze modellen de splijtcapaciteit goed bepaald kan worden voor de verbinding binnen het Kenniskwartier.

Daarnaast is het van belang dat de verbinding taai ontworpen wordt zoals Mischler aangaf met een taaiheid ratio van  $D_s > 3$ . Om dit te realiseren moeten de deuvels het vloei-moment bereiken voordat het hout bezwijkt. Hierdoor is het van belang dat de slankheidsratio van de deuvels groter dan 4 moet zijn zoals Mischler aangaf en geen hoge sterkte deuvels gebruikt worden. Naast de eis van een

minimale slankheidsratio van 4 moet volgens Jorissen de verbinding onder bezwijkmode III volgens Johansen bezwijken om een taaie verbinding te realiseren.

*The investigations made by Jorissen [1996] prove that a multiple fastener joint shows a ductile failure only under condition that mode III according to Johansen is reached. (Jørgen Larsen & Munch-Andersen, 2011)*

Bezwijkmode III van Johansen komt overeen met bezwijkmechanisme 'e', 'h' en 'm' uit eurocode 5. De maatgevende bezwijkmechanismen bij de berekening volgens de eurocode moet 'e', 'h' of 'm' zijn om een taaie verbinding te realiseren.



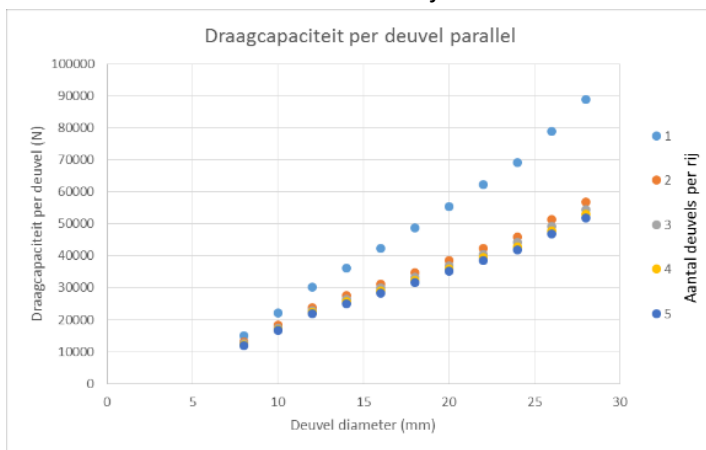
## 4. Resultaten

In dit hoofdstuk worden de resultaten van het onderzoek besproken aan de hand van de essentiële grafieken. In bijlage 4 zijn de exacte uitkomsten van het onderzoek in tabellen bijgevoegd, samen met extra grafieken ter ondersteuning.

### 4.1. Verandering aantal deuvels in een rij

#### 4.1.1. Parallel aan de vezelrichting

De totale draagcapaciteit van de verbinding neemt toe wanneer meerdere deuvels in een rij toegepast worden. Echter heeft het veranderen van het aantal deuvels bij een gelijkblijvende tussenafstand  $a_1$  een negatieve invloed op de draagcapaciteit per deuvel, deze neemt af. Dit komt doordat de factor  $n_{ef}$  naar verhouding afneemt bij een toename van het aantal deuvels in een rij. Dit is af te leiden uit de formule waarbij het aantal deuvels in een rij tot de macht 0,9 berekend wordt:



Figuur 25 – Draagcapaciteit per deuvel parallel aan de vezelrichting

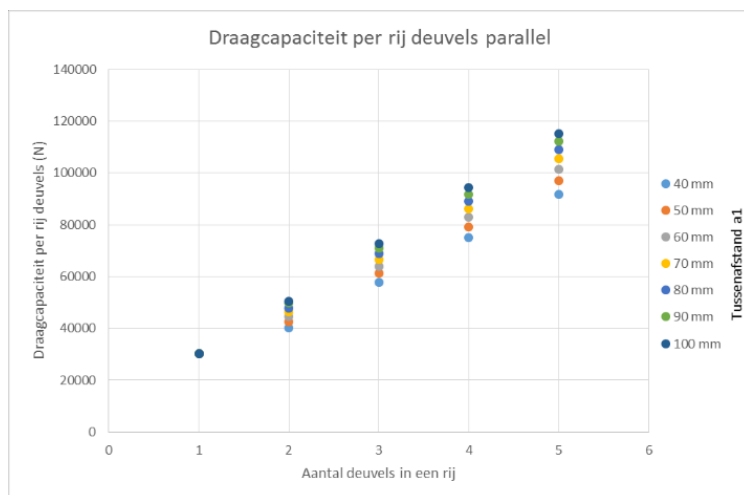
$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right.$$

Figuur 26 - Formule aantal effectieve deuvels parallel aan de vezelrichting  
(Bron: NEN-EN 1995-1-1+C1+A1:2011)

Het verschil in  $n_{ef}$  is in het begin het grootst en neemt asymptotisch af, het verschil wordt daarom uiteindelijk verwaarloosbaar.

#### 4.1.2. Veranderen tussenafstand $a_1$

De tussenafstand  $a_1$  is in de berekening van de hoeveelheid effectieve deuvels verwerkt. Uit het onderzoek blijkt dat de invloed van de tussenafstand  $a_1$  gering is. Met een gelijkblijvend aantal deuvels in een rij en het toenemen van de tussenafstand, neemt de draagcapaciteit per deuvel toe. Deze toename is echter beperkt, waardoor het beter is om een kleine tussenafstand tussen de deuvels toe te passen. In de onderstaande tabel is een voorbeeld gegeven waaruit blijkt dat een hogere draagcapaciteit bereikt wordt met kleine tussenafstanden bij een gelijkblijvende rijlengte. Hieruit volgt dat beter een extra deuvel kan worden toegepast dan de tussenafstand te vergroten. Dit helpt tevens mee voor het taai maken van de verbinding waarvoor beter een groter aantal kleinere deuvels kan worden toegepast dan een kleiner aantal grote deuvels.



Tabel 2 – Overzicht bij verschillende tussenafstanden

|                                   |          |          |
|-----------------------------------|----------|----------|
| Tussenafstand $\alpha_1$          | 80mm     | 40mm     |
| Aantal deuvels in een rij         | 2        | 3        |
| Totale rij lengte                 | 80mm     | 80mm     |
| Totale draagcapaciteit verbinding | 47791,7N | 57886,4N |

Figuur 27 – Draagcapaciteit per deuvel parallel aan de vezelrichting

#### 4.1.3. Loodrecht op de vezelrichting

Bij een toename van het aantal deuvels in een rij neemt de draagcapaciteit van de gehele deuvelverbinding evenredig toe. Dit komt, omdat er in de richting loodrecht op de vezelrichting geen reductiefactor wordt toegepast wat is op te maken uit de onderstaande formule:

$$n_{ef} = n$$

Figuur 28 - Formule aantal effectieve deuvels parallel aan de vezelrichting (Bron: NEN-EN 1995-1-1+C1+A1:2011)

Het lijkt opmerkelijk dat in deze richting geen reductiefactor meegenomen wordt, echter is in de richting loodrecht op de vezel de splijtsterkte in dit onderzoek doorgaans maatgevend.

#### 4.2. 1 staalplaat in de ligger

##### 4.2.1. Verandering deuveldiameter

Het vergroten van de deuveldiameter resulteert in een toename van de draagcapaciteit van de verbinding. Deze toename is afhankelijk van welk bezwijkmechanisme maatgevend is. Wanneer loodrecht op de vezelrichting wordt gekeken verandert het bezwijkmechanisme dat maatgevend is tussen de 26 en 28mm deuveldiameter. Het gevolg hiervan is zichtbaar in de grafiek in bijlage 4 waar de toename van de grafiek minder wordt. Wat verder opvalt is dat bij een deuvel sterkte van 400N/mm het maatgevende bezwijkmechanisme parallel aan de vezel niet verandert terwijl dit loodrecht op de vezel wel gebeurt. Dit is te wijten aan het feit dat de stuiksterkte parallel aan de vezel groter is en hierdoor langer het bezwijken volgens mechanisme (h) plaatsvindt. Overigens resulteert deze hogere stuiksterkte ook in een grotere draagcapaciteit parallel aan de vezel mits niet meerdere deuvels in een rij geplaatst worden, dan treedt immers de  $n_{ef}$  in werking.

##### 4.2.2. Verandering dikte staalplaat

Het veranderen van de dikte van de staalplaat heeft geen invloed op de draagcapaciteit van de deuvelverbinding. Dit komt doordat de formules van het maatgevende bezwijkmechanismen ('f', 'g' of 'h') die gebruikt worden bij het berekenen van een hout-staal-hout verbinding, niet afhankelijk zijn van de dikte van de staalplaat. Echter zal de staalplaat gecontroleerd moeten worden op sterkte en kan niet zomaar een dun exemplaar worden gebruikt. Wanneer meerdere staalplaten in de ligger worden toegepast is de minimale uitkomst uit bezwijkmechanismen 'f', 'g' en 'h' en 'l' en m'(dikke staalplaten) of 'j/l' en 'k'(dunne staalplaten) maatgevend. De dikte van de staalplaat speelt dan wel een rol.

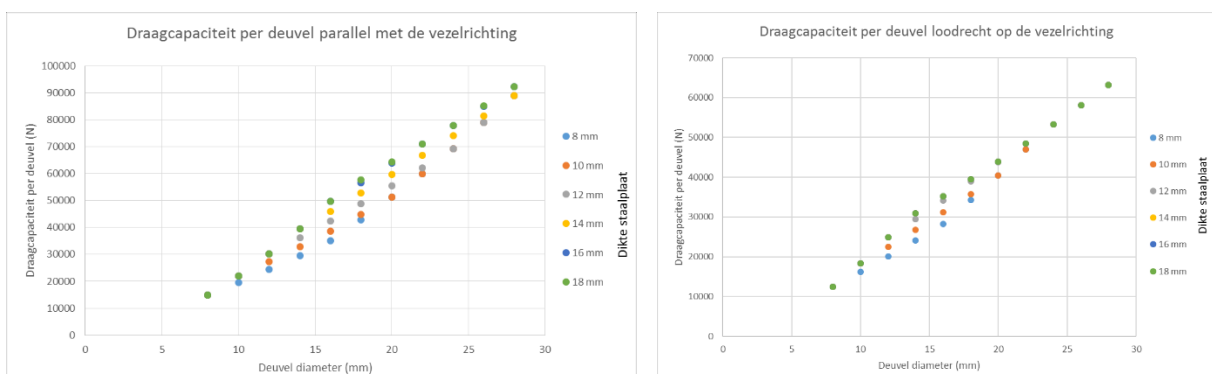
### 4.3. 2 staalplaten in de ligger

#### 4.3.1. Verandering deuveldiameter

Het vergroten van de deuveldiameter resulteert in een toename van de draagcapaciteit van de verbinding. Bij het toepassen van 2 staalplaten in de ligger wordt het houtoppervlak waarover de deuvel werkt in de breedte richting kleiner. Door het verkleinen van de inbedding in het hout vervormt de deuvel minder snel. Dit resulteert in het eerder veranderen van het maatgevende bezwijkmechanisme ten opzichte van 1 staalplaat in de ligger. Ook bij deze verbinding is te zien dat loodrecht op de vezelrichting eerder een verandering in het bezwijkmechanisme plaatsvindt dan parallel aan de vezelrichting.

#### 4.3.2. Verandering dikte staalplaat parallel aan de vezelrichting

Het veranderen van de dikte van de staalplaat heeft in tegenstelling tot 1 staalplaat in de ligger wel invloed op de draagcapaciteit van de verbinding. Dit komt doordat de draagcapaciteit bij staalplaten die niet in de classificatie 'dik' vallen berekend moet worden met bezwijkmechanisme 'k' waarvan de uitkomst lager ligt. Bij een classificatie van 'dik' is het maximale draagvermogen van de verbinding bereikt. Op het moment dat de classificatie in het tussengebied komt wordt de uitkomst van de interpolatie tussen de uitkomsten van bezwijkmechanismen 'k' en 'm' maatgevend. De draagcapaciteit van de verbinding neemt minder toe zoals te zien is in figuur 29 bij deuveldiameter 10 en een staalplaat dikte van 8mm ten opzichte van een deuveldiameter van 10 met een staalplaat dikte van 10 of 12t/m18. Het verdikken van de staalplaat heeft effect tot maximaal 18mm. Bij deze staalplaat dikte vindt een overgang plaats tussen bezwijkmechanisme 'h/m' en 'g'. De interpolatie tussen 'k' en 'm', die een lagere waarde genereert, wordt hierdoor overgeslagen waardoor het dikker maken van de staalplaat geen effect meer heeft. Het punt waarop bezwijkmechanisme 'h/m' overgaat naar bezwijkmechanisme 'g' ligt tussen deuveldiameter 16mm en 18mm. Doordat de draagcapaciteit die nu berekend wordt met bezwijkmechanisme 'g' minder steil oploopt als de berekende draagcapaciteit volgens bezwijkmechanisme 'k' bij dünnere staalplaten wordt het verschil in draagcapaciteit kleiner na een deuveldiameter van 16mm. Uiteindelijk vindt bij dunne staalplaten een overgang plaats van maatgevend bezwijkmechanisme 'k' naar 'g' en is de draagcapaciteit hetzelfde. Dit is alleen bij grote deuveldiameters. Bij deze verbinding is de maximale draagcapaciteit bereikt voor elke deuveldiameter bij een staalplaat dikte van 18mm.



Figuur 29 – Draagcapaciteit per deuvel parallel aan de vezelrichting (links) en loodrecht op de vezelrichting (rechts)

#### 4.3.3. Verandering dikte staalplaat loodrecht op de vezelrichting

Loodrecht op de vezelrichting treedt hetzelfde effect op als bij een verandering van de dikte van de staalplaat parallel aan de vezel. Door de lagere stuiksterkte van het hout is eerder bezwijkmechanisme 'g' maatgevend. Hierdoor gaat het verlies in draagcapaciteit eerder teruglopen en wordt de maximale draagcapaciteit bij een deuveldiameter van zowel 8 als 24, 26 en 28mm

gehaald. Tevens wordt bij een dunnere staalplaatdikte het maximale draagvermogen van de verbinding bij elke deuveldiameter bereikt. Parallel aan de vezel geldt dit alleen voor een staalplaat dikte van 18mm, loodrecht geldt dit voor een staalplaat dikte van 14, 16 en 18mm. Bij een verbinding met 2 staalplaten is de maximale draagcapaciteit bereikt als de classificatie dik is of bezwijkmechanisme 'g' bereikt wordt.

#### 4.4. 3 staalplaten in de ligger

##### 4.4.1. Verandering deuveldiameter

Het vergroten van de deuveldiameter resulteert in een toename van de draagcapaciteit van de verbinding. Het houtoppervlak waarover de deugel werkt wordt bij 3 staalplaten in de ligger nog kleiner. Dit zorgt ervoor dat de draagcapaciteit al snel wordt berekend aan de hand van bezwijkmechanisme 'g'.

##### 4.4.2. Verandering dikte staalplaat parallel aan de vezelrichting

Bij het vergroten van de dikte van de staalplaat treedt hetzelfde verschijnsel op als bij twee staalplaten in de ligger. Echter doordat bij deze verbinding bezwijkmechanisme 'g' eerder maatgevend is parallel aan de vezel ligt het punt waarop het verdikken van de staalplaat geen effect meer heeft al bij een staalplaat dikte van 10mm. Daarnaast is het verlies aan draagcapaciteit minder bij een afnemende staalplaat dikte.

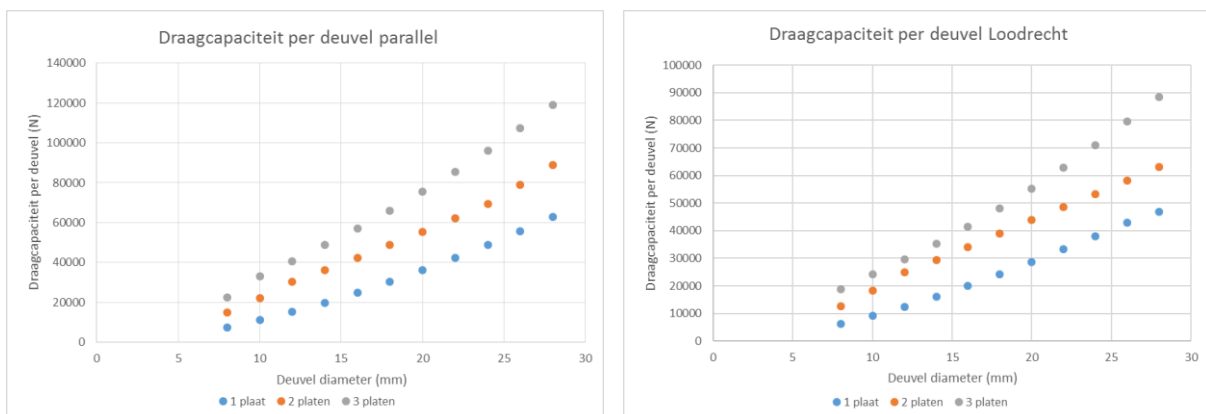
##### 4.4.3. Verandering dikte staalplaat loodrecht op de vezelrichting

Voor de richting loodrecht op de vezel geldt hetzelfde verhaal. In deze richting ligt het punt waarop bezwijkmechanisme 'g' bereikt wordt nog eerder, waardoor het verdikken van de staalplaat geen effect meer heeft bij een staalplaat dikte van 8mm.

#### 4.5. Vergelijking tussen 1,2 en 3 staalplaten in de ligger

##### 4.5.1. Parallel

Bij een toename van het aantal staalplaten in de ligger neemt het maximale draagvermogen bij een gelijkblijvende deuveldiameter toe. Dit komt doordat de deugel meer afschuifvlakken heeft en daardoor meer oppervlak van het hout benut. Het gevolg hiervan is dat het hout eerder maximaal belast wordt waardoor bezwijkmechanisme 'g' sneller maatgevend is. Het toepassen van meerdere staalplaten in de verbinding bevordert de draagcapaciteit van de verbinding, maar vraagt extra aandacht voor het realiseren van een taaie verbinding.



Figuur 30 – Draagcapaciteit per deugel parallel aan de vezelrichting (links) en loodrecht op de vezelrichting (rechts)

#### 4.5.2. Loodrecht

In de richting loodrecht op de vezel is ongeveer dezelfde lijn in het draagvermogen van de verbinding te zien als bij de richting parallel op de vezel. Doordat de stuiksterkte loodrecht op de vezel lager ligt treedt nog eerder bezwijkmechanisme 'g' op, waardoor het realiseren van een taaie verbinding lastiger wordt.

#### 4.6. Veranderen deuvelsterkte

Het effect van het vergroten van de deuvelsterkte is berekend bij de verbinding met 1 staalplaat in de ligger. Door het vergroten van de treksterkte van de deuvel wordt het draagvermogen van de verbinding groter. Door het toepassen van een hele sterke deuvel is het zelfs mogelijk om met 1 staalplaat in de ligger dezelfde draagcapaciteit van de verbinding met 2 of 3 staalplaten in de ligger te bereiken. Dit resulteert echter in het feit dat bezwijkmechanisme 'g' eerder maatgevend is. Aangezien bij 2 en 3 staalplaten in de ligger bij veel deuveldiameters bezwijkmechanisme 'g' al maatgevend is heeft het vergroten van de treksterkte van de deuvel daar weinig effect.

Tabel 3 – Maatgevende bezwijkmechanismen parallel t.o.v. loodrecht op de houtvezelrichting

| Bezwijkmechanisme parallel |                    |     |      |      | Bezwijkmechanisme Loodrecht |                    |     |      |      |
|----------------------------|--------------------|-----|------|------|-----------------------------|--------------------|-----|------|------|
|                            | Treksterkte deuvel |     |      |      |                             | Treksterkte deuvel |     |      |      |
|                            | 400                | 800 | 1200 | 2000 |                             | 400                | 800 | 1200 | 2000 |
| Diameter deuvel            |                    |     |      |      | Diameter deuvel             |                    |     |      |      |
| 8                          | h                  | h   | h    | h    | 8                           | h                  | h   | h    | h    |
| 10                         | h                  | h   | h    | h    | 10                          | h                  | h   | h    | h    |
| 12                         | h                  | h   | h    | h    | 12                          | h                  | h   | h    | h    |
| 14                         | h                  | h   | h    | h    | 14                          | h                  | h   | h    | g    |
| 16                         | h                  | h   | h    | g    | 16                          | h                  | h   | g    | g    |
| 18                         | h                  | h   | h    | g    | 18                          | h                  | h   | g    | g    |
| 20                         | h                  | h   | h    | g    | 20                          | h                  | g   | g    | g    |
| 22                         | h                  | h   | g    | g    | 22                          | h                  | g   | g    | g    |
| 24                         | h                  | h   | g    | g    | 24                          | h                  | g   | g    | g    |
| 26                         | h                  | g   | g    | g    | 26                          | h                  | g   | g    | g    |
| 28                         | h                  | g   | g    | g    | 28                          | g                  | g   | g    | g    |

#### 4.7. Splijten

De modellen om de splijtsterkte van het hout te berekenen zijn afhankelijk van veel verschillende parameters, waarbij onderling verschil is tussen welke parameters gebruikt worden. In tabel 4 is een overzicht gegeven van welke parameters per methode worden meegenomen.

Tabel 4 – Overzicht van parameters per methode tot berekening van de splijtsterkte

| Parameters per methode                | Methoden |           |     |                    |              |             |                     |                      |
|---------------------------------------|----------|-----------|-----|--------------------|--------------|-------------|---------------------|----------------------|
| Parameters                            | EC5      | Ballerini | DIN | DIN met aanpassing | Model Jensen | Schoenmaker | P. Franke; P. Quene | Methode 8 full split |
| Belaste randafstand                   | v        | v         | v   | v                  | v            | v           | v                   | v                    |
| Verhouding belaste randafstand/hoogte | v        | v         | -   | -                  | v            | v           | v                   | v                    |
| Breedte ligger                        | v        | v         | v   | v                  | v            | v           | v                   | v                    |
| Hoogte ligger                         | v        | v         | v   | v                  | v            | -           | v                   | v                    |
| Verbindingsbreedte                    | -        | v         | v   | v                  | -            | -           | v                   | -                    |
| Aantal kolommen                       | -        | -         | -   | v                  | -            | -           | -                   | v                    |
| Tussenafstand kolommen                | -        | -         | -   | -                  | -            | -           | -                   | v                    |
| Aantal rijen                          | -        | v         | v   | v                  | -            | -           | v                   | -                    |
| Verbindingshoogte                     | -        | v         | -   | -                  | -            | -           | -                   | -                    |
| Tussenafstand rijen                   | -        | -         | v   | -                  | -            | -           | -                   | -                    |
| Eindafstand ligger links              | -        | -         | -   | -                  | -            | -           | -                   | v                    |
| Eindafstand ligger rechts             | -        | -         | -   | -                  | -            | -           | -                   | v                    |
| Splijtlengte                          | -        | -         | -   | -                  | -            | -           | -                   | v                    |
| Elasticiteitsmodules                  | -        | -         | -   | -                  | v            | -           | -                   | -                    |
| Afschuivingsmodules                   | -        | -         | -   | -                  | v            | -           | -                   | -                    |

Het verschil in gebruik van parameters tussen de modellen laat zien dat er nog geen eenduidige richtlijn is welke parameters meegenomen moeten worden en wat de invloed ervan is op de verbinding. Het is wel duidelijk dat de belangrijkste factoren de belaste randafstand, hoogte, breedte en verbindingsbreedte zijn voor de splijtcapaciteit.

(Xu, Bouchair, Taazout, & Vega, 2009) hebben onderzoek verricht naar de splijtsterkte van het hout in het midden van de ligger. In dit onderzoek zijn verschillende verbinding samenstellingen getest, waarvan de uitkomsten vergeleken zijn met de berekende splijtsterkte volgens verschillende modellen. De modellen die vergeleken zijn: EC5; Van der Put/Leijten; Canadese standaard; Larsen and Gustaffson; Elbeck and Görlacher (DIN) en Ballerini. Het model van Ballerini bleek het meest overeenkomend met de testresultaten, echter is meer theoretisch en experimenteel onderzoek nodig om de beschikbare analytische modellen te verbeteren voor een goede voorspelling van de splijtsterkte.

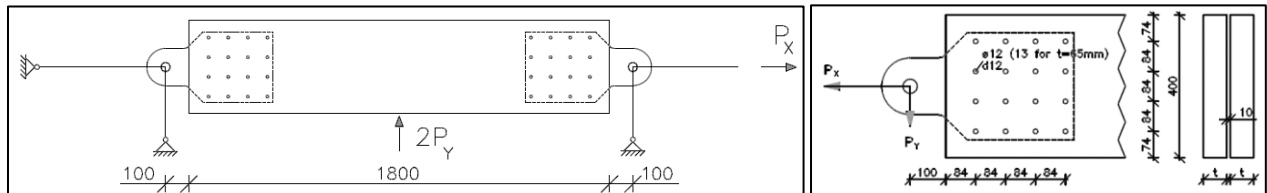
Bovenstaand werd tevens benadrukt door Jensen:

*“Only recently, a number of simple analytical models based on fracture mechanics have been proposed for prediction of brittle failure, but none has yet gained wide acceptance.”* (Jensen J., 2005)

Het is duidelijk dat op dit moment nog geen goede voorspelling van de splijtsterkte van hout gegeven kan worden. Recentere modellen zoals die van B. Franke en P. Quenneville zijn niet in het onderzoek van Xu verwerkt en kunnen een betere voorspelling geven. Dit moet echter eerst nog bewezen worden voordat dit aangenomen kan worden.

In alle berekende modellen uit tabel 4 wordt aangenomen dat de verbinding zich in het midden van de ligger bevindt. Alleen methode 8 houdt rekening met de eindafstand van de verbinding. Uit de literatuur blijkt dat de splijtsterkte bij het uiteinde van de ligger lager is dan in het midden van de ligger. Naast het feit dat de voorspellingen van de splijtsterkte ver uiteen lopen wordt de eindafstand

In de literatuur is één onderzoek gevonden waarbij de proefopstelling overeenkomt met de ontworpen ligger voor het Kenniskwartier. De proefopstelling bij Pedersen (2002) bestaat uit een ligger met aan beide zijden een scharnierende verbinding.



*Figuur 31 – Schematische proefopstelling Martin Pedersen (links) & afmetingen verbinding (rechts)*

De testresultaten van de proefopstelling waarbij de ligger slechts door een verticale kracht  $P_y$  belast wordt staat in tabel 5 weergegeven.

*Tabel 5 – Testresultaten van Martin Pedersen*

| Testresultaten |           |
|----------------|-----------|
| t = 40mm       | t = 65mm  |
| 75 ± 7 kN      | 81 ± 7 kN |

Het valt op dat bij een toename van de houtbreedte met 60% de oplegreactie van de verbinding met slechts 8% toeneemt. Het nadeel van deze testresultaten is dat bij de verbinding met  $t = 40$  mm de deuvels nauw aansluiten in de voorgeboorde gaten terwijl bij de verbinding met  $t = 65$  mm de voorgeboorde gaten met 1 mm over gedimensioneerd zijn. Uit het eerder behandelde onderzoek van Mischler, Prion & Lam (z.j.) bleek dat bij over gedimensioneerde gaten de draagcapaciteit van een meervoudige deuvelverbinding afneemt. Dit kan verklaren, waarom de oplegreactie relatief weinig toeneemt ten opzichte van de verbreding van de ligger.

De testresultaten van (Pedersen, 2002) zijn vergeleken met de maximale splijtcapaciteit volgens de 8 verschillende bereken methodes (tabel 6). Hierbij is de DIN ook ingevuld, echter geldt hiervoor een maximale  $h_e/h$  factor van 0,7. Bij deze verbinding ligt deze factor hoger, waardoor deze waarden niet representatief zijn voor de splijtsterkte. Zie tabel 6 voor de resultaten en bijlage 10 voor de berekeningen van methode 1-8.

*Tabel 6 – Splijtsterkte van de testopstelling van Martin Pedersen volgens de 8 methoden beschreven onder 3.3.6.2.*

| Splijsterkte                            |                        |           |
|-----------------------------------------|------------------------|-----------|
| <u>Berekenmethode</u>                   | <u>Draagcapaciteit</u> |           |
|                                         | t = 40 mm              | t = 65 mm |
| Methode 1 - DIN                         | 862.481                | 1.271.839 |
| Methode 2 - Aanpassing op de DIN        | 810.672                | 1.195.441 |
| Methode 3 - Eurocode 5                  | 47.015                 | 76.400    |
| Methode 4 - Eurocode 5 & Ballerini      | 101.381                | 164.744   |
| Methode 5 - Model van Jensen            | 104.861                | 170.399   |
| Methode 6 - Schoenmakers                | 46.823                 | 76.087    |
| Methode 7 - B. Franke en P. Quenneville | 82.170                 | 133.824   |
| Methode 8 - P. Zarnani & P. Quenneville | 31.797                 | 51.671    |



Uit tabel 6 blijkt dat geen enkele waarde goed overeenkomt met de testresultaten, tabel 5, van Pedersen (2002). Het feit dat de resultaten uit tabel 5 niet overeenkomen met de resultaten uit tabel 6, en dat de voorspellingen van de splijtsterkte ruim uiteenlopen, heeft als gevolg dat de verbinding van het Kenniskwartier eerst zal moeten worden getest worden om aan te tonen of de splijtsterkte voldoet.

## 5. Conclusie en aanbevelingen

### 5.1. Conclusie onderzoek

#### 5.1.1. Invloed parameters

Uit het onderzoek bij de berekening van een deuvelverbinding volgens Eurocode 5 zijn de volgende effecten vastgesteld bij het veranderen van de verschillende parameters van de deuvelverbinding:

- Het bezwijkmechanisme verandert eerder bij een belasting loodrecht op de vezel vanwege de lagere stuiksterkte van het hout in deze richting.

#### Verandering van het aantal deuvels in een rij:

- Het aanpassen van het aantal deuvels in een rij loodrecht op de vezelrichting heeft een lineaire invloed op de draagcapaciteit van de verbinding;
- Het aanpassen van het aantal deuvels in een rij parallel aan de vezel heeft een negatieve invloed op de draagcapaciteit per deuvel.

#### Verandering van de tussenafstanden:

- Het toepassen van een kleine tussenafstand tussen de deuvels in een rij geeft een relatief hogere draagcapaciteit dan bij het toepassen van grote tussenafstanden ten opzichte van een gelijkblijvende rijlengte, bij een belasting parallel aan de vezel.

#### Verandering het aantal staalplaten in de ligger:

- Hogere draagcapaciteit bij een verbinding met meerdere staalplaten in een ligger bij een gelijkblijvende deuveldiameter;
- Door een toename van het aantal staalplaten wordt de belaste hout afstand kleiner en wordt daardoor eerder bezwijkmechanisme 'g', een bros bezwijken, bereikt.

#### Verandering van de dikte van de staalplaat:

*1 staalplaat in de ligger:* Het vergroten van de dikte van de staalplaat heeft geen effect op de draagcapaciteit.

*2 staalplaten in de ligger:* De dikte van de staalplaat bepaalt mede de draagcapaciteit doordat geïnterpoleerd dient te worden tussen bezwijkmechanisme 'k' en 'm' en de draagcapaciteit hiervan afhankelijk is.

*3 staalplaten in de ligger:* De dikte van de staalplaat bepaalt mede de draagcapaciteit, maar heeft minder invloed dan bij een verbinding met 2 staalplaten in de ligger.

#### Verandering van de sterkte van de deuvel:

- Door het toepassen van een sterkere deuvel bij de verbinding met één staalplaat kan dezelfde draagcapaciteit worden bereikt als verbindingen met meerdere staalplaten in de ligger. Echter wordt bezwijkmechanisme 'g' eerder maatgevend.

#### Taaigheid verbinding

- Het is lastig om een taaie verbinding te maken op deze schaal met een dusdanig grote benodigde draagcapaciteit. Wel lukt het om in een tussen gebied tussen bros en taaï bezwijken te komen

### 5.1.2. Spleijsterkte

De Eurocode houdt geen rekening met de geometrie van de verbinding voor de berekening van de spleijtcapaciteit van een meervoudige deuvelverbinding. In de literatuur wordt gesteld dat de zeven andere methoden, tabel 4, een beter passende uitkomst genereren voor de spleijtcapaciteit van een verbinding. Deze zeven methoden, methode 8 uitgezonderd, zijn echter gebaseerd op testresultaten met een verbinding in het midden van de ligger. Als te zien in tabel 6 zijn de uitkomsten uiteenlopend. In drie gevallen komt de spleijtcapaciteit min of meer overeen met de testresultaten van Pedersen, namelijk met de methode van (zie tabel 6):

Eurocode 5 voor  $t = 65$ , Schoenmakers voor  $t = 65$  en de methode van B. Franke en P. Quenneville voor  $t = 40$

Gezien de uitkomst voor  $t = 40$  met de methode van Eurocode 5 & Schoenmakers en voor  $t = 65$  met B. Franke en P. Quenneville niet overeenkomt met de testresultaten, kan worden gesteld dat, ondanks de overeenkomst bij  $t = 65$  en  $t = 40$ , ook deze methoden geen betrouwbare uitkomsten geven. Dit werd tevens geconstateerd door Xu (2009). Daarnaast wordt met de methoden 1 tot en met 7 de eindafstand van de verbinding niet meegenomen, wat wel een belangrijke parameter is volgens methode 8.

Als gevolg kan daarom geen geldige uitspraak worden gedaan over de spleijsterkte voor de verbinding binnen het Kenniskwartier, de controle op spleijsterkte is niet mogelijk en wordt daarom achterwege gelaten. De tolerantiewaarden van de deuvelverbinding op de gaten bleken een belangrijk aspect waar op gelet moet worden. Deze mogen niet te groot zijn, omdat de draagcapaciteit dan afneemt, daarnaast mag dit niet te klein zijn omdat dan spleijting van het hout bij het aanbrengen van de deuvel. Het is daarom van belang dat het boren van de gaten precies uitgevoerd moet worden.

## 5.2. Aanbevelingen

### 5.2.1. Aanbevelingen

Het onderzoek geeft inzicht in de invloed van de verschillende parameters van de deuvelverbinding. Aan de hand hiervan is het mogelijk een optimaal ontwerp op te stellen voor een scharnierende meervoudige deuvelverbinding op basis van benodigd draagvermogen. Het is echter niet mogelijk om te controleren wat de splijtcapaciteit van de verbinding is en of deze voldoet. Daarom is het niet mogelijk om deze verbinding zonder verder onderzoek toe te passen binnen het ontwerp van het Kenniskwartier. De verbinding moet daarom getest worden op de splijtcapaciteit. Om die reden is met behulp van het onderzoek een optimaal ontwerp opgesteld voor de meervoudige deuvelverbinding zoals deze getest moet worden op splijtcapaciteit.

Het is daarom nog niet duidelijk welk van de twee varianten het meest geschikt is voor toepassing binnen het Kenniskwartier. Variant één is beter bestand tegen splijten, variant twee is beter bestand tegen brandwerendheid, verder onderzoek moet uitwijzen of variant twee mogelijk is.

Mocht de splijtsterkte een beperkende factor zijn kan verder onderzoek gedaan worden naar verschillende maatregelen om de splijtcapaciteit te verhogen. Dit is uit tijdsgebrek niet gelukt uit te werken in dit onderzoek. Verschillende maatregelen zijn:

- Het toepassen van een verticale schroef in het hout  
In de ligger kan verticaal een schroef worden ingebracht. Door de inbedding in het hout vanwege het schroefdraad worden de verschillende vezellagen beter bij elkaar gehouden en wordt meer steun ondervonden, wat resulteert in een hogere weerstand tegen splijten.
- Het toepassen van Densified Veneer Wood (DVW)  
Densified Veneer Wood is kruis gelaagd beukfineer wat onder hoge temperatuur is samengeperst. Door samenpersing zijn de eigenschappen van dit plaatmateriaal nagenoeg isotroop en heeft het DVW een hoge trek en druksterkte in beide richtingen van het materiaal. Het DVW wordt verlijmd met de houten ligger ter plekke van de uitsparingen waar de grootste spanningen optreden ten gevolge van de belasting van de deuvel (Leijten, 1999).

Ook moet verder onderzoek worden verricht naar brand beschermende maatregelen voor de onbeschermd stalen delen van de verbinding. Voor het bereiken van een optimale verbinding is het noodzakelijk dat de gaten precies worden geboord (zie paragraaf 5.1.2.), daarom is het noodzakelijk dat dit gebeurt door middel van een CNC-frees.

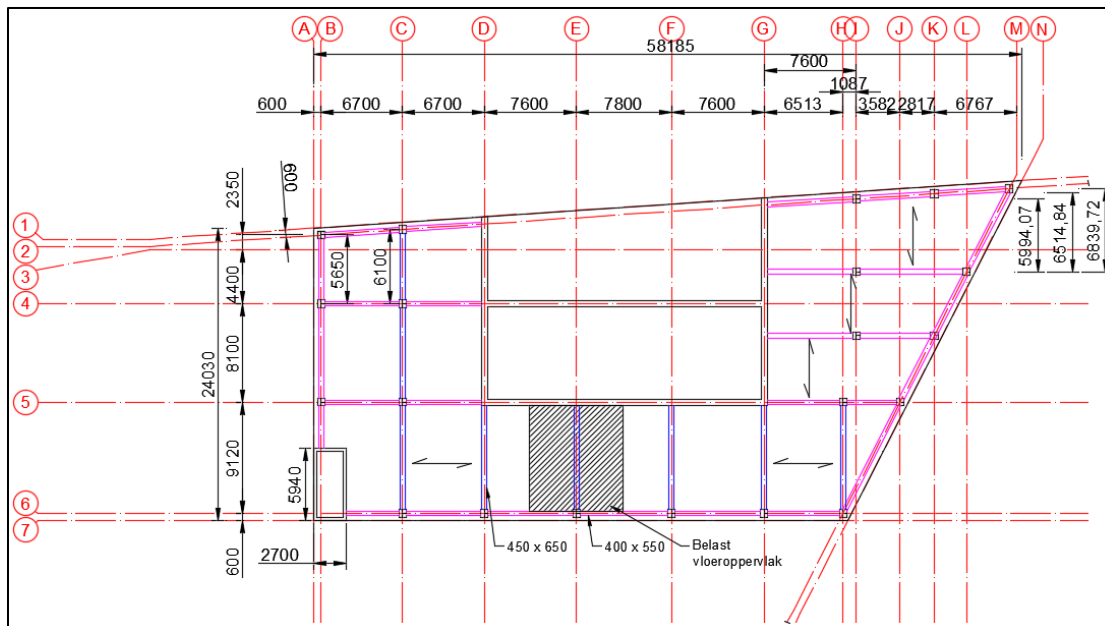
### 5.2.2. Optimaal ontwerp

Op basis van het onderzoek wordt een optimum bepaald in het aantal toe te passen staalplaten en deuvels.

Vervolgens is de verbinding getoetst volgens de eurocode. Dit is gedaan met behulp van de eerder opgestelde Excel-sheet welke ook is gebruikt voor het onderzoek naar de invloed van de verschillende parameters.

In bijlage 5 zijn de uitkomsten van de berekening van de ligger in de Excelsheet toegevoegd, in bijlage 6 is een handberekening ter validatie van de Excelsheet voor de ligger toegevoegd. De controle van de Excelsheet ten behoeve van de berekening voor de deuvelverbinding is toegevoegd in bijlage 7. Bijlage 8 omvat de controle voor de maatgevende deuvelverbinding volgens Eurocode 5.

Voor het optimale ontwerp van de deuvelfverbinding wordt uitgegaan van de zwaarst belaste verbinding. Het werkende gebied op de ligger waarvan uitgegaan wordt is gearceerd in onderstaande afbeelding, figuur 32. Vervolgens wordt gekeken of het mogelijk is de verbinding met de benodigde afmetingen toe te passen onder de hoeken 59 en 117 graden.

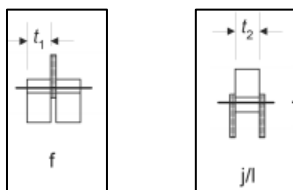


Figuur 32 - Gebied belaste ligger

### Het eerste ontwerp

Uit de toetsing van de ligger volgt een benodigde ligger afmeting van 450 x 700 (b x h).

Bij het ontwerp van de deuvelfverbinding speelt de inbranddiepte een belangrijke rol. De inbranddiepte beperkt de liggerdoorsnede. Op basis van een brandbestendigheidsduur van 2 uur bij hoogbouw moet worden gerekend met een inbranddiepte van 84mm. De staalplaten dienen door het hout te worden beschermd en moeten binnen de inbranddiepte worden aangebracht. Daarnaast heeft de deuvelf ook inbedding in het hout nodig, afstand  $t_1$ , dit zorgt ervoor dat de staalplaat verder naar binnen geplaatst dient te worden dan alleen de inbranddiepte.



Figuur 33 – Aanduiding  $t_1$  en  $t_2$  waarden

Bij het gebruik van één staalplaat wordt gerekend met twee  $t_1$  waarden, bij twee staalplaten met vier  $t_1$  waarden en bij drie staalplaten met zes  $t_1$  waarden. Het gebruik van één staalplaat geeft niet genoeg draagvermogen en het gebruik van drie staalplaten resulteert in een te kleine  $t_1$  waarde. Dit resulteert weer in het vroegtijdig optreden van bezwijkmechanisme 'g', wat vervolgens resulteert in het bros bezwijken van de verbinding. Om dit te vermijden moet een kleinere deuveldiameter worden toegepast, met als gevolg dat het draagvermogen te klein wordt. Om deze reden is gekozen voor het gebruik van twee staalplaten in de ligger. De rand en tussenafstanden van de twee staalplaten zijn veilig aangenomen:  $t_1 = 64$  mm en  $t_2 (= 2 \times t_1) = 128$  mm (veilig aangenomen):

$$[\text{breedte ligger na inbranddiepte}] - [\text{dikte staalplaat} \times \text{aantal staalplaten}] / [\text{aantal } t_1]$$

$$\frac{282 - 12 * 2}{4} = 64,5$$

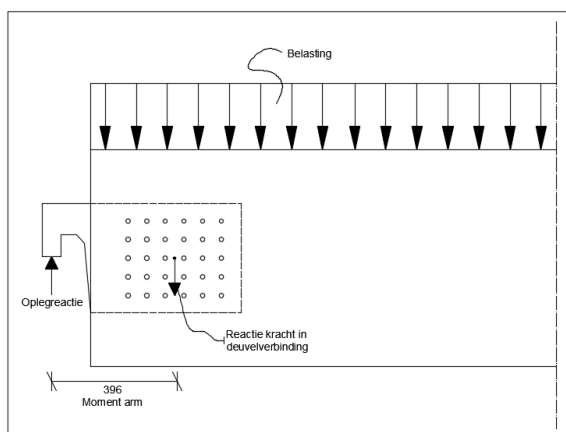
Het gebruik van twee staalplaten met een dikte van 12 mm, in combinatie met 24 deuvels van 12 mm voldoet aan de slankheidsratio van 4, echter niet aan de ratio van 6 (3.5.). Dit resulteert in een verminderde krachtsverdeling tussen de deuvels loodrecht op de vezelrichting. Het gebruik van twee staalplaten met een dikte van 12 mm, in combinatie met 24 deuvels van 12 mm resulteert in een draagvermogen van 490 kN tegenover een op te nemen oplegreactie van 295kN, een verminderde krachtsverdeling is in dit geval toelaatbaar.

Tabel 7 – Gegevens eerste ontwerp optimale verbinding

| Gegevens verbinding              |        |                   |
|----------------------------------|--------|-------------------|
| Houtsoort                        | GL 30h | -                 |
| Slankheidsratio                  | 5,3    | -                 |
| Diameter deuvel                  | 12     | mm                |
| Treksterkte deuvel               | 400    | N/mm <sup>2</sup> |
| Aantal staalplaten               | 2      | st                |
| Dikte staalplaat                 | 12     | mm                |
| T <sub>1</sub>                   | 64     | mm                |
| Aantal deuvels in een rij        | 6      | st                |
| Aantal rijen                     | 4      | st                |
| Draagcapaciteit per afschuifvlak | 8306   | N                 |

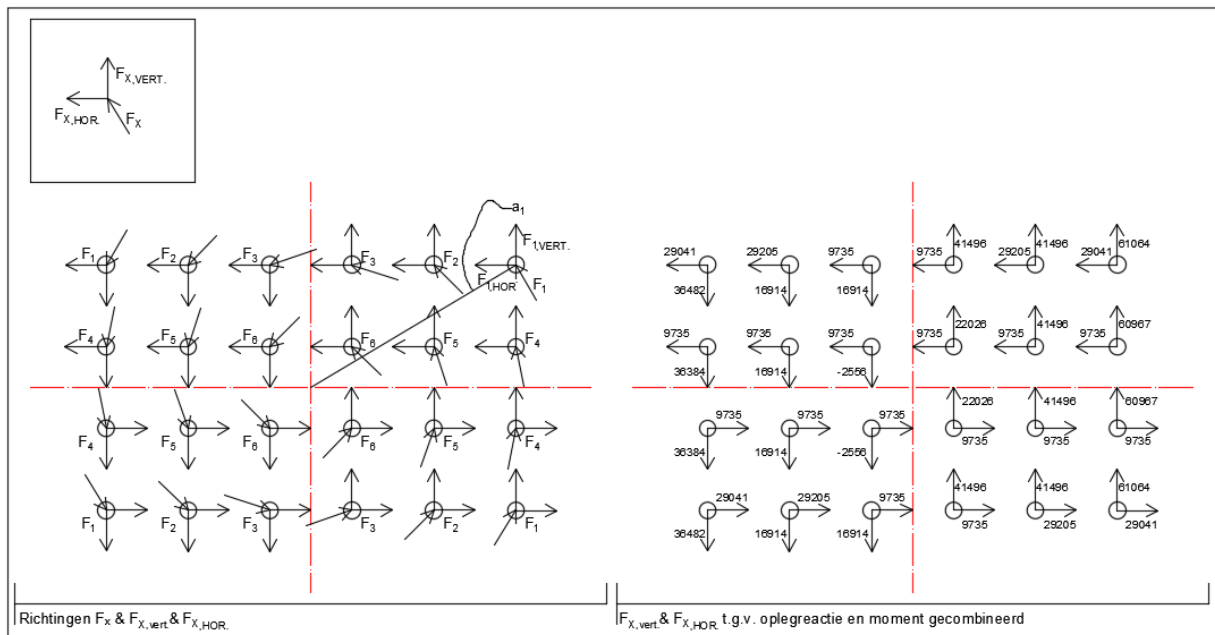
### Het tweede ontwerp in combinatie met moment

De oplegreactie wordt overgebracht door de staalplaat, echter bleek dat de oplegging niet direct onder de deuvelverbinding ligt, waardoor een moment ontstaat in de staalplaat, zie figuur 31. Hierdoor moet naast de dwarskracht van 295 kN ook een moment van  $0,396 * 295 = 116,82$  kNm worden opgenomen. Dit is in het eerste ontwerp niet meegenomen, waardoor dit ontwerp niet voldoet.



Figuur 34 – Schematisering oplegreactie en moment op de deuvelverbinding

In figuur 35 is het krachtspel binnen de deuvelverbinding geschematiseerd weergegeven.



Figuur 35 – Schematisatie krachterspel in de deuvolverbinding (links) & daadwerkelijk krachterspel (rechts)

De reactiekrachten  $F_1$  t/m  $F_6$  worden bepaald door de krachten  $F_2$  tot en met  $F_6$  in  $F_1$  uit te drukken.  $F_1$  kan dan aan de hand van de volgende vergelijking worden bepaald.

$$M_{d,1} = 4 * (F_1 * a_1 + F_2 * a_2 + \dots)$$

Hierin is  $a_x$  de afstand van het hart van de deuvolverbinding tot het hart van de individuele deuv en  $F_x$  de kracht loodrecht op de lijn  $a_x$ . De verhouding tussen  $F_1 / a_1$  en  $F_2 / a_2$  of  $F_3 / a_3$  is het zelfde.  $F_2$  t/m  $F_6$  kan daarom worden uitgedrukt in  $F_1$ :

$$\frac{F_1}{a_1} = \frac{F_2}{a_2} \text{ geeft: } F_2 = \frac{a_2}{a_1} * F_1$$

De formule voor  $M_{d,1}$  kan worden ingevuld, met  $M_{d,1} = 116,82 \text{ kNm}$ :

$$M_{d,1} = 4 * (F_1 * a_1 + \frac{a_2}{a_1} * F_1 * a_2 + \frac{a_3}{a_1} * F_1 * a_3 + \frac{a_4}{a_1} * F_1 * a_4 + \frac{a_5}{a_1} * F_1 * a_5 + \frac{a_6}{a_1} * F_1 * a_6)$$

Vereenvoudigd:

$$M_{d,1} = 4 * \left( \frac{F_1}{a_1} * (a_1^2 + a_2^2 + a_3^2 + a_4^2 + a_5^2 + a_6^2) \right)$$

$F_1$  is nu de enige onbekende factor en kan nu worden bepaald, waarna  $F_2$  t/m  $F_6$  kunnen worden bepaald.

Door de reactiekrachten  $F_1$  t/m  $F_6$  te ontbinden wordt de horizontale en verticale kracht t.g.v. het moment per deuv bepaald. Naast de kracht t.g.v. het moment dient ook de dwarskracht opgenomen te worden. De dwarskracht verdeeld over de deuvels geeft:

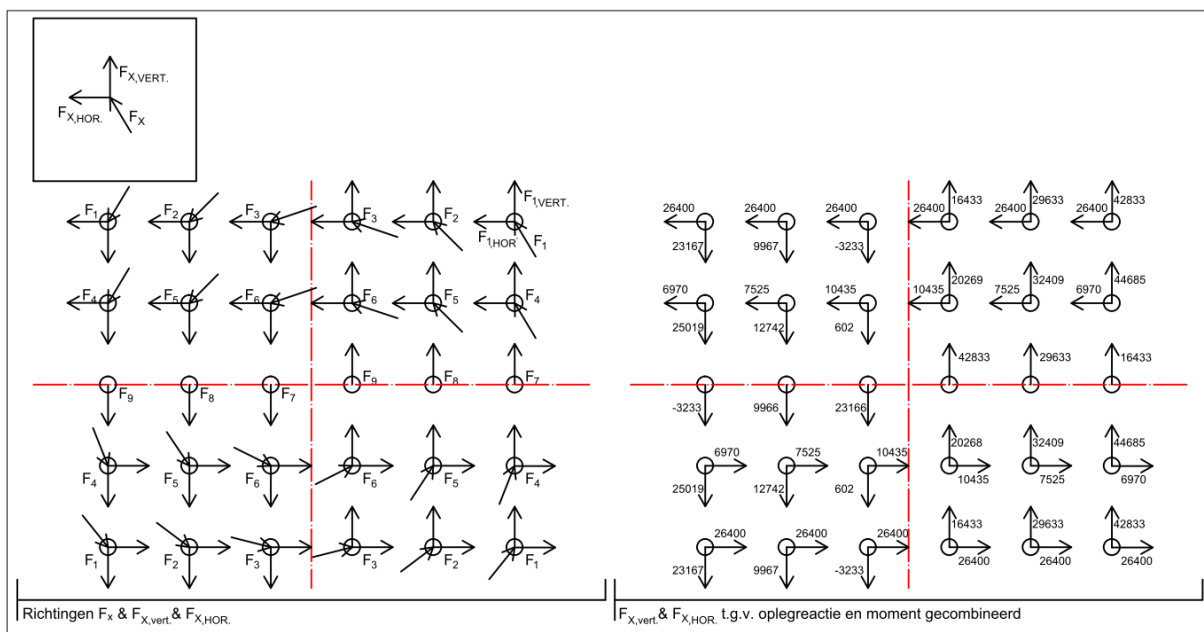
$$F = \frac{295000 \text{ N}}{24 \text{ deuvels}} = 12291 \text{ N per deuv}$$

De op te nemen last per deuv ten gevolge van de combinatie van het moment en de oplegreactie is weergegeven in figuur 35 (rechts).



De zwaarbelaste deugel ondervindt een last van 61064N loodrecht op de vezelrichting. De berekening volgens de eurocode geeft bij het huidige ontwerp (tabel 4) een draagcapaciteit van 8306 N per afschuifvlak loodrecht op de vezelrichting wat resulteert in een maximale belasting van 33224N per deugel. Dit is niet voldoende om de dwarskracht in combinatie met het moment op te nemen.

Om een grotere momentcapaciteit te krijgen in de verbinding kan een extra rij of kolom deugels aan de verbinding toegevoegd worden. De zwaarst belaste deugel wordt hierdoor verder van het hart van de verbinding geplaatst, waardoor de arm van de reactiekracht vergroot wordt. Dit resulteert in een toename van de momentcapaciteit. Echter vershuift het hart van de verbinding van het oplegpunt af bij het toevoegen van een extra kolom. De arm van de reactiekracht ten opzichte van het oplegpunt van de verbinding wordt hierdoor groter, omdat aan de minimale eindafstand moet worden voldaan. Het op te nemen moment wordt hierdoor groter. Bij het toevoegen van een extra rij deugels blijft de afstand tussen het hart van de verbinding en het oplegpunt hetzelfde, waardoor het op te nemen moment hetzelfde blijft. De voorkeur ligt daarom bij het toevoegen van een extra rij deugels. In dit geval is het mogelijk, omdat het toevoegen van een extra rij niet beperkt wordt door de liggerhoogte.



Figuur 36 - Schematisatie krachterspel in de deugelverbinding (links) & daadwerkelijk krachterspel (rechts)

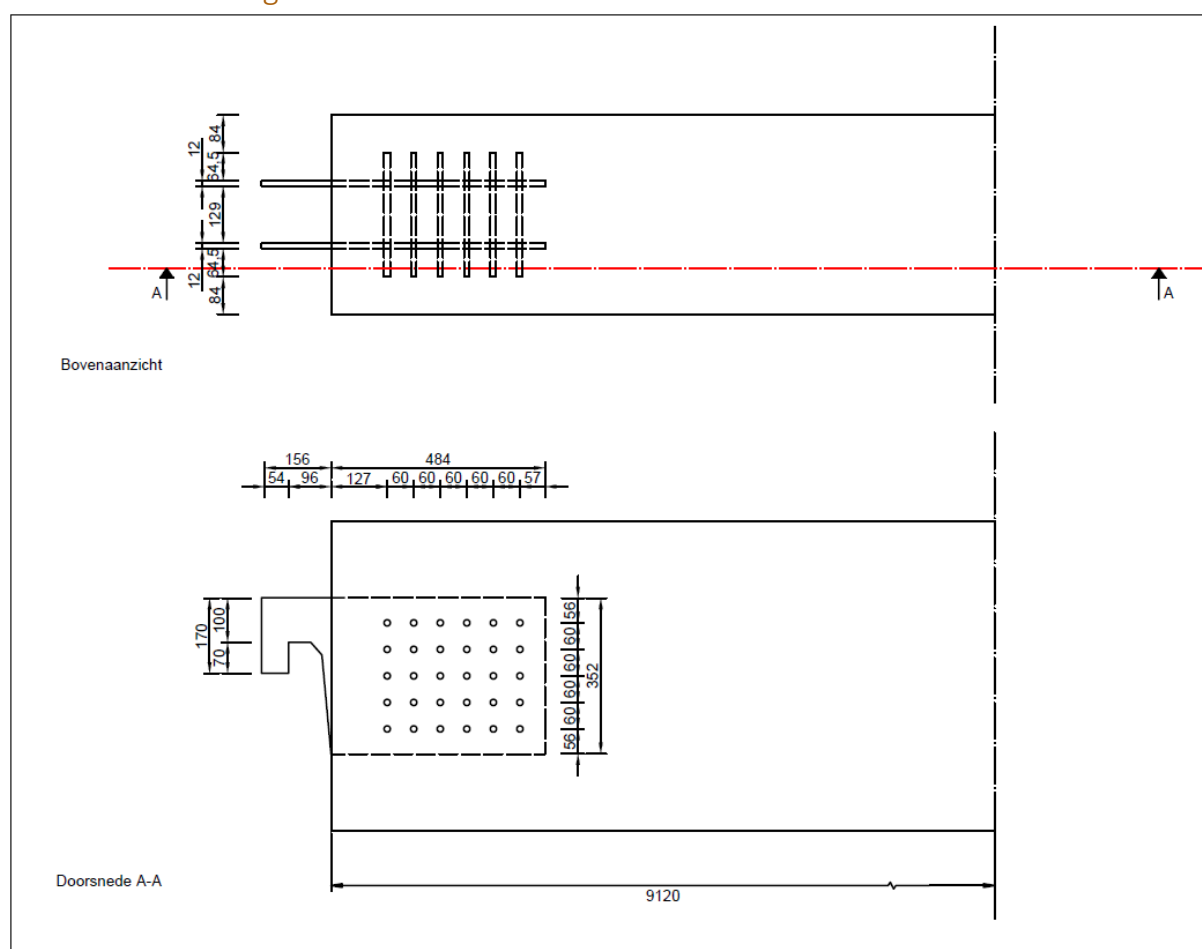
De maximaal belastte deugel dient nu 44685 N aan te kunnen. Door een extra rij deugels toe te voegen wordt de maximale belasting verlaagd, echter is dit niet voldoende. Dit is op te lossen door deugels van 14 mm toe te passen in plaats van 12 mm met een deugelsterkte van 800 N/mm in plaats van 400N/mm voldoet de verbinding nu wel met een draagcapaciteit van 48.372 N per deugel in plaats van 33.224 N.

Tabel 8 – Gegevens eerste en uiteindelijke optimale verbinding

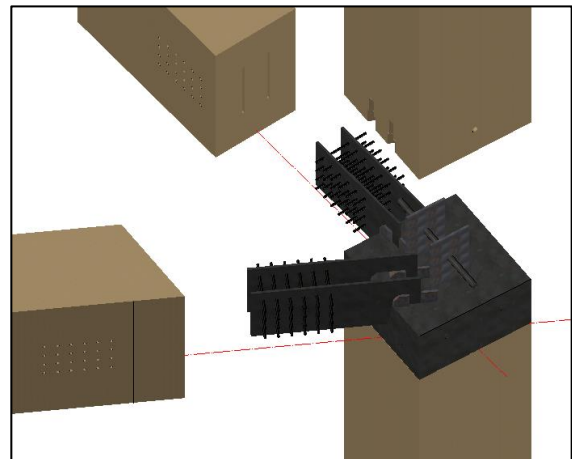
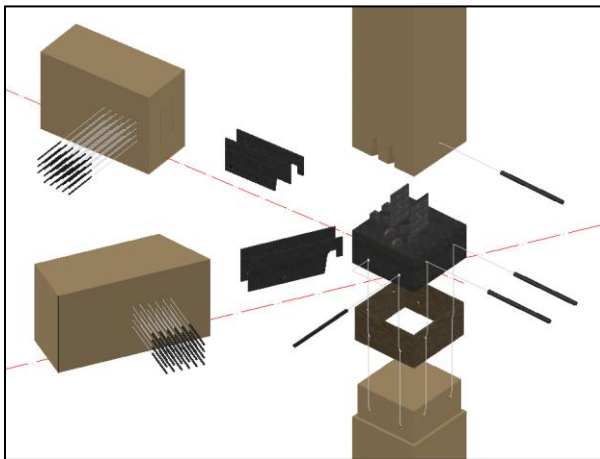
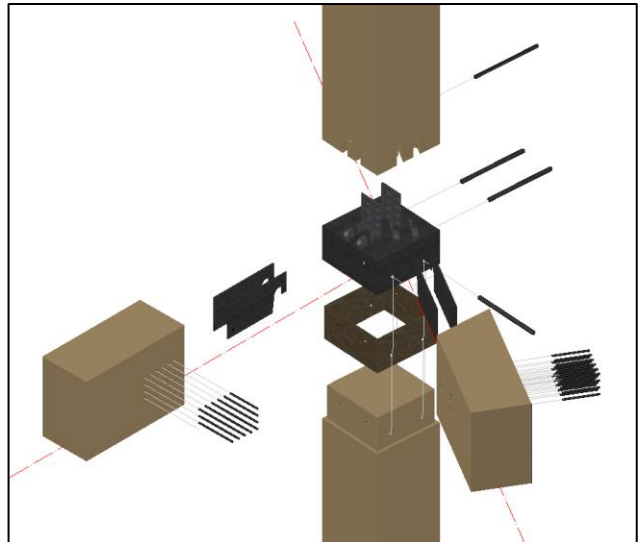
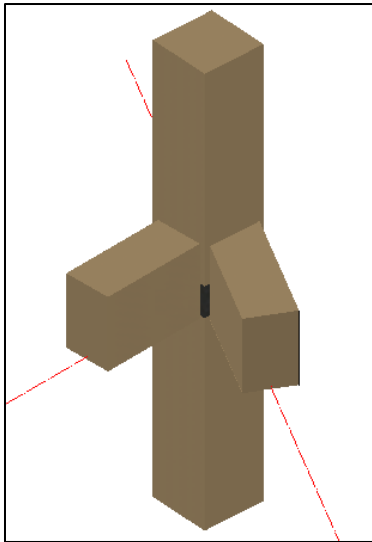
| Gegevens verbinding              |        |        |                   |
|----------------------------------|--------|--------|-------------------|
|                                  | Oud    | Nieuw  |                   |
| Houtsoort                        | GL 30h | GL 30h | -                 |
| Slankheidsratio                  | 5,3    | 4,57   | -                 |
| Diameter deugel                  | 12     | 14     | mm                |
| Treksterkte deugel               | 400    | 800    | N/mm <sup>2</sup> |
| Aantal staaplaten                | 2      | 2      | st                |
| Dikte staalplaat                 | 12     | 12     | mm                |
| T <sub>1</sub>                   | 64     | 64     | mm                |
| Aantal deugels in een rij        | 6      | 6      | st                |
| Aantal rijen                     | 4      | 4      | st                |
| Draagcapaciteit per afschuifvlak | 8306   | 12093  | N                 |

Zoals aangegeven in paragraaf 5.1.2 wordt niet op splijtsterkte gecontroleerd.

### 5.3. Tekeningen



Figuur 37 – Zij- en bovenaanzicht optimale verbinding



*Figuur 38 - 3D render aanzichten te testen verbinding*

## Figuren

|                                                                                                                                                                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Figuur 1 – Treet (Bron: timberdesignandtechnology.com).....                                                                                                                                                         | 10 |
| Figuur 2 – Brock Commons (Bron: actonostroy.ca).....                                                                                                                                                                | 10 |
| Figuur 3 - LifeCycle Tower 1 (Bron: hermann-kaufmann.at).....                                                                                                                                                       | 10 |
| Figuur 4 - Verdiepingsplattegrond Kenniskwartier (maten in millimeters) .....                                                                                                                                       | 11 |
| Figuur 5 – Verdiepingsplattegrond Kenniskwartier (links), Detail A (rechts onder), Detail B (rechts boven).....                                                                                                     | 13 |
| Figuur 6 – Koppeling kolom-kolom (links) en koppeling kolom-ligger (rechts) (Van den Berkmortel, 2009).....                                                                                                         | 16 |
| Figuur 7 – Zijaanzicht verbinding 2 (Malo, Abrahamsen, & Bjertnaes, 2016).....                                                                                                                                      | 16 |
| Figuur 8 – 3D weergave verbinding 3 (Kolb, 2008) .....                                                                                                                                                              | 17 |
| Figuur 9 – bezwijkmechanismen volgens Johansen Bron: (Pedersen, 2002).....                                                                                                                                          | 20 |
| Figuur 10 – Bezwijkmechanismen deuvolverbinding volgens NEN-EN 1995-1-1 (2011) .....                                                                                                                                | 21 |
| Figuur 11 - bepaling k90 volgens NEN 1995-1-1 .....                                                                                                                                                                 | 22 |
| Figuur 12 – Testresultaten van een meervoudige deuvolverbinding met een gemiddelde dichtheid van 560 kg/m <sup>3</sup> (Mischler, Prion, & Lam, Load-carrying behaviour of steel-to-timber dowel connections) ..... | 23 |
| Figuur 13 – Verschillende bezwijkmodi t.g.v. splijten (Schoenmaker, 2010).....                                                                                                                                      | 24 |
| Figuur 14 – 3D Exploded view wireframe variant 1 .....                                                                                                                                                              | 28 |
| Figuur 15 - 3D Exploded view render variant 1      Figuur 16 – 3D view render variant 1 .....                                                                                                                       | 29 |
| Figuur 17 – 3D exploded view variant 2, hoek van 117 graden .....                                                                                                                                                   | 30 |
| Figuur 18 - Stalen element bij twee ligger aansluitingen, variant 2.....                                                                                                                                            | 30 |
| Figuur 19 – 3D Exploded render view variant 2      Figuur 20 – 3D render view variant2 .....                                                                                                                        | 30 |
| Figuur 21 - Matrix opbouw onderzoek.....                                                                                                                                                                            | 31 |
| Figuur 22 - Parameters deuvolverbinding 1/2 .....                                                                                                                                                                   | 31 |
| Figuur 23 - Parameters deuvolverbinding 2/2 .....                                                                                                                                                                   | 32 |
| Figuur 24 – Schematische proefopstelling Martin Pedersen (links) & afmetingen verbinding (rechts).....                                                                                                              | 32 |
| Figuur 26 - Formule aantal effectieve deuvels .....                                                                                                                                                                 | 34 |
| Figuur 25 – Draagcapaciteit per deuvel parallel aan de vezelrichting .....                                                                                                                                          | 34 |
| Figuur 27 – Draagcapaciteit per deuvel parallel aan de vezelrichting .....                                                                                                                                          | 35 |
| Figuur 28 - Formule aantal effectieve deuvels parallel aan de vezelrichting (Bron: NEN-EN 1995-1-1+C1+A1:2011) .....                                                                                                | 35 |
| Figuur 29 – Draagcapaciteit per deuvel parallel aan de vezelrichting (links) en loodrecht op de vezelrichting (rechts) .....                                                                                        | 36 |
| Figuur 30 – Draagcapaciteit per deuvel parallel aan de vezelrichting (links) en loodrecht op de vezelrichting (rechts) .....                                                                                        | 37 |
| Figuur 31 – Schematische proefopstelling Martin Pedersen (links) & afmetingen verbinding (rechts).....                                                                                                              | 40 |
| Figuur 32 - Gebied belaste ligger.....                                                                                                                                                                              | 45 |
| Figuur 33 – Aanduiding t <sub>1</sub> en t <sub>2</sub> waarden .....                                                                                                                                               | 45 |
| Figuur 34 – Schematisering oplegreactie en moment op de deuvolverbinding .....                                                                                                                                      | 46 |
| Figuur 35 – Schematisatie krachterspel in de deuvolverbinding (links) & daadwerkelijk krachterspel (rechts) .....                                                                                                   | 47 |
| Figuur 36 - Schematisatie krachterspel in de deuvolverbinding (links) & daadwerkelijk krachterspel (rechts) .....                                                                                                   | 48 |
| Figuur 37 – Zij- en bovenaanzicht optimale verbinding .....                                                                                                                                                         | 49 |
| Figuur 38 - 3D render aanzichten te testen verbinding .....                                                                                                                                                         | 50 |

## Tabellen

|                                                                                                                        |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----|
| Tabel 1 – Houten hoogbouw projecten .....                                                                              | 10 |
| Tabel 2 – Overzicht bij verschillende tussenafstanden .....                                                            | 35 |
| Tabel 3 – Maatgevende bezwijkmechanismen parallel t.o.v. loodrecht op de houtvezelrichting .....                       | 38 |
| Tabel 4 – Overzicht van parameters per methode tot berekening van de splijtsterkte .....                               | 39 |
| Tabel 5 – Testresultaten van Martin Pedersen .....                                                                     | 40 |
| Tabel 6 – Splijtsterkte van de testopstelling van Martin Pedersen volgens de 8 methoden beschreven onder 3.3.6.2. .... | 40 |
| Tabel 7 – Gegevens eerste ontwerp optimale verbinding .....                                                            | 46 |
| Tabel 8 – Gegevens eerste en uiteindelijke optimale verbinding .....                                                   | 49 |

## Bibliografie

- Ballerini, M. (2004). A new prediction formula for the splitting strength of beams loaded by dowel-type connections. *CIB-37-7-5, Working commission W18 - Timber Structures Meeting*, (p. 19). Edinburgh.
- Blaß, H. (1995). *Multiple fastener joints*. The Netherlands: STEP/EUROFORTECH, Vol.1 C15; Centrum Hout.
- Cement & Beton Centrum. (2016, September 28). Cement, beton en CO<sub>2</sub>. *Cement, beton en CO<sub>2</sub>*. 's Hertogenbosch, Noord-Brabant, Nederland: Cement & Beton Centrum.
- Dias, A. (2005). *Mechanical behaviour of timber-concrete joints*.
- Ehlbeck, J., Görlacher, R., & Werner, H. (1989). Determination of perpendicular-to-grain tensile stresses in joints with dowel-type fasteners. *CIB 22-7-2, Working commission W18 - Timber Structures Meeting*, (p. 20). Berlin, Germany.
- Franke, B., & Quenneville, P. (2010). Failure behaviour and resistance of dowel-type connections loaded perpendicular to grain. *CIB 43-7-6, Working Commission W18 - Timber Structures Meeting*, (p. 15). Nelson.
- Franke, B., & Quenneville, P. (2013). Design approach for the splitting failure of dowel-type connections loaded perpendicular to grain. *CIB 46-7-6 Working Commission W18 - Timber Structures Meeting*, (p. 12). Vancouver.
- Jensen, J. (2005). Quasi-non-linear fracture mechanics analysis of splitting failure in simply supported beams loaded perpendicular to grain by dowel type joints. *The Japan Wood Research Society*, 577-582.
- Jensen, J. L. (2002). Splitting strength of beams loaded by connections. *CIB 36-7-8* (p. 15). Japan: Akita Prefectural University.
- Johansen, K. (1949). Theory of timber connections. *International Association of Bridge and Structural Engineering*, 249-262.
- Jørgen Larsen, H., & Munch-Andersen, J. (2011). *CIB-W18 Timber Structures - A review of meetings 1-43 Part 4:Connections*.
- Jorissen, A. (1999). The stiffness of multiple bolted connections. *CIB 32-7-6, Working commission W18 - Timber Structures Meeting*. Graz, Austria.
- Kairi, M. (2004). Block shear failure test with dowel-type connection in diagonal LVL structure. *CIB-W18/37-7-7 Working commission W18 - Timber Structures Meeting*, (p. 8). Edinburgh, Scotland.
- Kolb, J. (2008). *Systems in Timber Engineering*. Birkhäuser Architecture.
- Leijten, A. (1999). *Locally reinforced timber joints with expanded tube fasteners*. Delft, The Netherlands: Delft University of Technology.
- Leijten, A. (n.d.). *Locally reinforced timber joints with expanded tube fasteners*. Delft: Delft University of Technology.

- Malo, K., Abrahamsen, R., & Bjertnaes, M. (2016). Some structural design issues of the 14 storey timber framed building "Treet" in Norway. *European Journal of Wood and Wood Products*, 407-424.
- McKenzie, W. (2007). *Design of Structural Timber to Eurocode 5*. Hampshire, England: PALGRAVE MACMILLAN.
- Mischler, A. (1997). Influence of ductility on load-carrying capacity of joints with dowel-type fasteners. *CIB 30-7-6, Working commission W18 - Timber Structures Meeting*, (p. 14). Vancouver, Canada.
- Mischler, A. (2001). Multiple shear steel-to-timber connections with self-drilling dowels. In S. Aicher, & H.-W. Reinhard, *Joints in Timber Structures* (pp. 143 - 152). Stuttgart, Germany: RILEM Publications s.a.r.l.
- Mischler, A., & Gheri, E. (1999). Strength reduction rules for multiple fasteners joints. *CIB 32-7-5, Working commission W18 - Timber Structures Meeting*. Graz, Austria.
- Mischler, A., Prion, H., & Lam, F. (n.d.). Load-carrying behaviour of steel-to-timber dowel connections. Washington State University. Retrieved Oktober 5, 2016, from <http://timber.ce.wsu.edu/resources/papers/2-4-1.pdf>
- Pedersen, M. U. (2002). *Dowel type timber connections strength modelling*. Denmark: Denmark tekniske universitet.
- Sawata, K., & Yasumura, M. (2000). Evaluation of yield strength of bolted timber joints by Monte-Carlo simulation. *proceedings of the 6th World Conference on Timber engineering (WCTE2000)*, (p. 8). British Columbia, Canada.
- Schoenmaker, J. (2010). Fracture and failure mechanisms in timber loaded perpendicular to the grain by mechanical connections. DOI: 10.6100/IR673053. Eindhoven: Technische Universiteit eindhoven.
- Spickler, K. (2016, September 29). *Informatie over CLT*. Retrieved from BDCNetwork.com: <http://www.bdcnetwork.com/5-myths-about-cross-laminated-timber>
- Stora Enso. (2016, September 27). *Voordelen van CLT*. Retrieved from CLT.info: <http://www.clt.info/en/product/clt-massive-wood-system/advantages/>
- Structulam. (2016, September 27). *Informatie over CLT*. Retrieved from Structulam.com: <http://structulam.com/products/cross-laminated-timber/>
- Van den Berkmortel, J. (2009). *Hoogbouwsysteem in Hout*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.
- Xu, B., Bouchair, A., Taazout, M., & Vega, E. (2009). Numerical and experimental analyses of multiple-dowel steel-to-timber joints in tension perpendicular to grain. *Engineering structures*, 2357-2367.
- Zarnani, P., & Quenneville, P. (2013). Design procedure to determine the capacity of timber connections under potential brittle, mixed and ductile failure modes. *CIB 46-7-3, Working commission W18 - Timber Structures Meeting*. Vancouver, Canada.



Zarnani, P., & Quenneville, P. (2013). Wood splitting capacity in timber connections loaded transversely: Riveted joint strength for full and partial width failure modes. *CIB 46-7-5, Working commission W18 - Timber Structures Meeting*. Vancouver, Canada.

## Bijlagen

|             |                                                                                                                         |
|-------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Bijlage 1:  | Houten hoogbouw projecten                                                                                               |
| Bijlage 2:  | Houten kolom-ligger verbindingen                                                                                        |
| Bijlage 3:  | Ontwerp varianten                                                                                                       |
| Bijlage 4:  | Uitgebreid overzicht met uitkomsten(waarden) van het veranderen van de verschillende parameters van de deuvolverbinding |
| Bijlage 5:  | Excel berekening maatgevende ligger volgens Eurocode 5                                                                  |
| Bijlage 6:  | Handberekening ligger ter controle Excel berekening                                                                     |
| Bijlage 7:  | Excel berekening deuvolverbinding en handberekening deuvolverbinding ter controle Excel berekening                      |
| Bijlage 8:  | Excel berekening maatgevende deuvolverbinding (optimaal ontwerp)                                                        |
| Bijlage 9:  | Tekeningen optimaal ontwerp deuvolverbinding                                                                            |
| Bijlage 10: | Berekening splijtsterkte volgens methode 1 tot en met 8 ter vergelijking testresultaten Martin Pedersen                 |

## BIJLAGE 1

Houten hoogbouw projecten

### OPDRACHTGEVER

**Arcadis**

Afdeling gebouwen

Lichtenauerlaan 100  
3062 ME Rotterdam

Begeleider:

Gerard van engelen  
Senior Specialist Structural Engineering

### LEERINSTELLING

**Hogeschool Rotterdam**

Opleiding Civiele Techniek

G.J. de Jonghweg 4-6  
3015GG Rotterdam

Begeleider:

Sven van Rosmalen

### AFSTUDEERDERS

Roel Majoor  
Maarten Schoen

Gerard van Engelen:

.....

# Inhoud

|                                       |    |
|---------------------------------------|----|
| 1. Inleiding.....                     | 2  |
| 2. Houten hoogbouwprojecten.....      | 4  |
| 2.1. Dalston Lane.....                | 4  |
| 2.1.1. Constructie.....               | 4  |
| 2.1.2. Typerende verbinding.....      | 4  |
| 2.2. Lifecycle tower 1.....           | 6  |
| 2.2.1. Verbinding.....                | 6  |
| 2.3. Treet.....                       | 8  |
| 2.3.1. Verbinding.....                | 8  |
| 2.3.2. Fundering.....                 | 10 |
| 2.4. Brock Commons.....               | 11 |
| 2.5. FFTT.....                        | 12 |
| 2.5.1. Constructie.....               | 12 |
| 2.5.2. Typerende verbindingen.....    | 13 |
| 2.6. SOM timber tower.....            | 14 |
| 2.6.1. Typerende verbindingen.....    | 15 |
| 2.6.1.1. Wand-ligger verbinding.....  | 15 |
| 2.6.1.2. Vloer-ligger verbinding..... | 16 |
| 2.6.1.3. Kolom verbinding.....        | 16 |

## 1. Inleiding

De laatste tijd neemt de hoogte van houten hoogbouw toe. Onlangs is in dit jaar de ruwbouw van het gebouw Brock Commons afgerond met een hoogte van 53m. Dit is een hybride systeem wat bestaat uit een stabiliteitsconstructie van twee betonnen kernen in combinatie met vloeren en kolommen van hout. Eerder dit jaar is ook het houten hoogbouw project Treet afgerond. Dit gebouw is iets minder hoog met 45 meter dan Brock Commons, maar hier bestaat de stabiliteitsconstructie ook uit hout. Het percentage houtgebruik ligt bij het gebouw in Treet hierdoor ook een stuk hoger. In tabel 1 staan recente houten hoogbouwprojecten weergegeven. Hierbij worden twee verschillende methodes toegepast, een houten kolom-ligger systeem of CLT panelen.

Tabel 1 - Houten hoogbouw projecten

| Naam gebouw/<br>ontwikkelaar | Stad          | Land      | Hoogte | Aantal<br>houten<br>verdiepingen | Type draagconstructie                    | Maximale<br>overspanning<br>binnen gebouw | Opleveringsjaar |
|------------------------------|---------------|-----------|--------|----------------------------------|------------------------------------------|-------------------------------------------|-----------------|
| Dalston Lane                 | London        | Engeland  | 33m    | 7                                | Cross Laminated Timber (CLT)             | 5m                                        | 2016/17         |
| Murray Grove                 | London        | Engeland  | 30     | 8                                | Cross Laminated Timber (CLT)             |                                           | 2009            |
| WIDC                         | Prince George | Canada    | 27,5m  | 8                                | Combinatie kolom-ligger & massief hout   | 9,5                                       | 2014            |
| T3                           | Minneapolis   | VS        | 30     | 7                                | Kolom-ligger                             |                                           | 2016            |
| Patch 22                     | Amsterdam     | Nederland | 30m    | 7                                | Kolom-ligger                             | 9,5m                                      | 2016            |
| LifeCycle tower 1            | Dornbirn      | Australië | 27m    | 8                                | Kolom-ligger combinatie van beton & hout | 9,4m                                      | 2012            |
| Treet                        | Bergen        | Noorwegen | 53m    | 14                               | Kolom-ligger i.c.m. beton & CLT          | 8                                         | 2016            |
| Brock Commons                | Vancouver     | Canada    | 53     | 17                               | Kolommen i.c.m. CLT                      | 4                                         | 2016            |

In dit verslag wordt de opbouw van de huidige hoogste gebouwen in hout behandeld (Treet en Brock commons). Hiernaast wordt Dalston lane besproken om te onderzoeken hoe het bouwen met CLT in werking zit en Lifecycle tower one, omdat beweerd wordt dat dit systeem toepasbaar is tot en met 30 verdiepingen.

Naast de gerealiseerde projecten worden ook twee innovatieve ontwerpen behandeld voor hoogbouw in hout. Deze ontwerpen zijn nog in de ontwikkelingsfase en moeten eerst getest worden alvorens dit gebruikt kan worden. In de ontwerpen zijn nieuwe verbindingsmethode met behulp van beton of staal uitgewerkt, om zo een te grote belasting loodrecht op de vezel te vermijden. De innovatieve projecten zijn:

- SOM timber tower
- FTTT

### 1.1. CLT

Cross-laminated timber (CLT) wordt bij verschillende hoogbouwproject gebruikt. Bij deze hoogbouwprojecten worden de CLT panelen gebruikt voor de stabiliteitswanden en de opbouw van de vloeren. In dit hoofdstuk wordt achtergrond informatie van dit product gegeven met de bijbehorende voor- en nadelen.

CLT panelen bestaan uit kruiselings verlijmde platen en wordt standaard gefabriceerd uit Spruce en Fir(dennenboom en spar. Een CLT paneel wordt meestal uit 3, 5 of 7 lagen opgebouwd. De panelen worden doorgaans gebruikt voor vloeren, muren en daken. De panelen zijn in grote lengtematen verkrijgbaar met een maximale breedte van 5,5m en een lengte van 30m en een hoogte van 500mm, deze afmetingen worden echter niet heel veel geproduceerd. De standaard maatvoering die op grote schaal verkrijgbaar is gaan tot breedtes van 3m en lengtes van 18m en 300mm hoog.

De CLT panelen zijn prefab en worden verbonden met eenvoudig vervaardigbare verbindingen, dit resulteert in een snelle bouwtijd. Hierbij kunnen de meeste bouwactiviteiten worden uitgevoerd door een klein aantal timmerlieden welke alleen gebruik maken van handgereedschap. Een groep met ervaring kan 750m<sup>2</sup> per dag aanleggen. Over het algemeen kan een CLT gebouw twee keer zo snel worden opgetrokken als een zelfde gebouw van prefab betondelen.

Het uitzetten en krimpen van hout is aanzienlijk minder doordat de panelen kruiselings worden verlijmt. De panelen passen (mede hierdoor) extreem precies en maatvast door de CNC gestuurde fabrieksmontage.

CLT absorbeert vocht uit een ruimte als deze vochtig is en staat dat weer af wanneer de lucht in de ruimte droger is. Hiernaast heeft CLT ook een hoge thermische massa en isolerende eigenschappen, wat de gebouwen meer energie-efficiënt maakt met het opwarmen en koelen. CLT heeft een vochtpercentage van 12%. Voordat het hout vlam vat moet het interne water verdampt zijn. Een verkoold oppervlak beschermt vervolgens de binnenste lagen. Dit maakt dat CLT langer de dragende functie kan bieden dan staal of beton en brandveilig is. Aan het einde van de levensduur kan het CLT gerecycled worden.

#### 1.1.1. Nadelen

Aan het CLT product zitten ook nadelen verbonden. Zo is het lastig om de panelen te buigen of een andere vorm mee te geven. Dit maakt de architectonische vrijheid van de architect beperkt. Voor het plaatsen van de CLT panelen is altijd een kraan nodig vanwege het hoge gewicht van de massieve panelen. Bij complexe constructies worden de constructie berekeningen moeilijk.

## 2. Houten hoogbouwprojecten

### 2.1. Dalston Lane

Bij de constructie aan de Dalston Lane is voor de gehele constructie gebruik gemaakt van hout. Hiervoor is voor alle constructie onderdelen gebruik gemaakt van Cross Laminated timber.

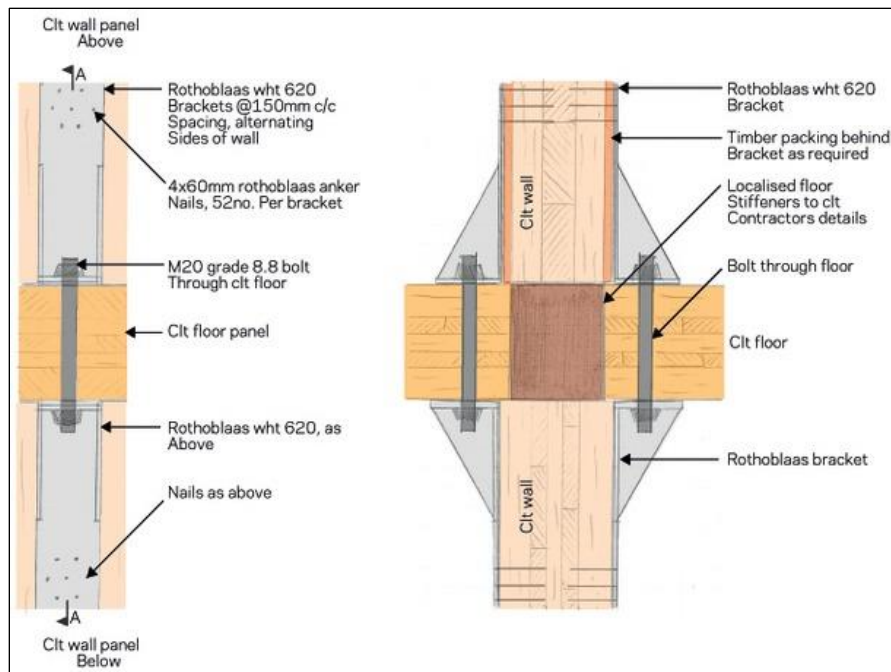
#### 2.1.1. Constructie

Het project aan de Dalston Lane is gelegen in London. Bij dit project is een appartementen gebouw met een winkelfunctie op de begane grond gerealiseerd. Voor de winkelruimte is gebruik gemaakt van beton. Voor de appartementen is gebruikgemaakt van massiefhoutbouw. Met behulp van CLT panelen zijn de wanden en vloeren gerealiseerd. Doormiddel van stijve verbindingen wordt de stabiliteit verzorgd. Doordat alle panelen prefab worden aangevoerd is het mogelijk de opbouw twee keer sneller te realiseren ten opzichte van een zelfde gebouw uit beton. Doordat alle uitsparingen voor ramen, leidingen, etc vooraf kunnen worden aangebracht wordt het geluidsniveau door het gebruik van eenvoudig licht materieel op de bouwplaats sterk teruggebracht. Tevens zijn hierdoor minder werklieden nodig.

De wand- en vloerpanelen worden vervolgens afgedekt met isolatie, gipsplaten aan de binnenzijde en een bakstenen buitenlaag. De gipsplaten spelen mee in de brandbestendigheid. De drie kernen binnen de constructie worden wegens de brandbestrijding bekleed met twee lagen gipsplaten.

#### 2.1.2. Typerende verbinding

Binnen de constructie kan gebruik worden gemaakt van relatief simpele verbindingen in horizontale richting, als hoekstalen en spijkerplaten. Het knelpunt wanneer hoger dan 30 meter wordt gebouwd zit in de verticale verticale verbinding. Tussen de verschillende verdiepingen wordt gebruik gemaakt van een verbinding welke niet stijf genoeg is wanneer hoger dan 30 meter wordt gebouwd. De stijfheid wordt ontleend aan stalen pennen tussen de wanden in verticale richting en hoekstalen tussen de wanden en de vloeren in horizontale richting, zie figuur 1.



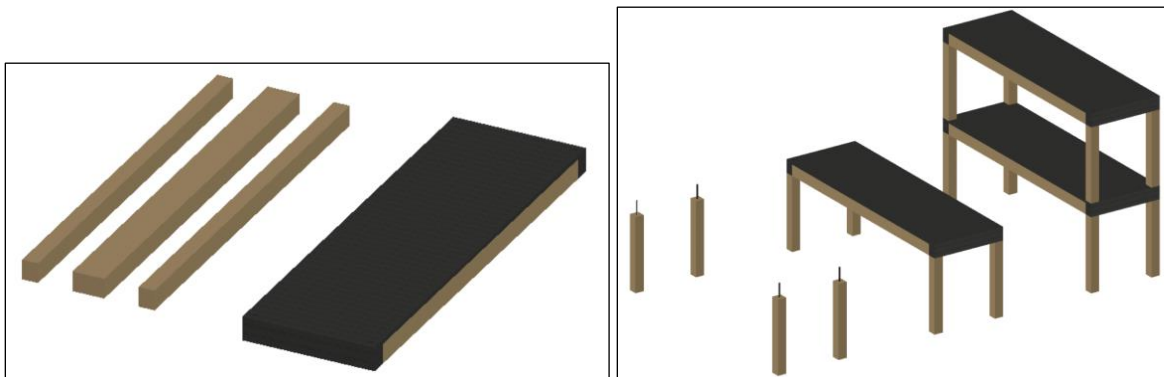
Figuur 1 - Verticale verbinding CLT wanden (Pearson, 2016)

Voor meer stijfheid zal de bovenstaande verbinding zwaarder moeten worden uitgevoerd, wat ten koste gaat van de ruimte op de verdieping. Dit is mogelijk, echter gaat de bruikbaarheid van de ruimte hierdoor verloren, waardoor dit niet tegen elkaar opweegt.



## 2.2. Lifecycle tower 1

LifeCycle Tower 1 is een gebouw van acht verdiepingen gemaakt met een combinatie van beton en hout, welke is gerealiseerd in Dornbirn (Australië). De stabiliteit van het gebouw wordt voorzien doormiddel van een betonnen kern. De overige draagconstructie is gerealiseerd met een innovatief systeem genaamd “Cree”. Dit systeem is gebaseerd op de kolom-ligger structuur en bestaat uit houten kolommen met een hybride vloerconstructie van hout en beton. Deze vloerconstructie is opgebouwd uit betonnen dwarsbalken die een geheel vormen met het vloerdek van beton. Dit wordt vervolgens door houten langsliggers ondersteund. Doordat de gelamineerde liggers tussen de betonnen dwarsbalken liggen is het mogelijk om de kolommen door te stapelen op de vloerpanelen. De drukkracht van de kolommen wordt niet door de gelamineerde liggers, maar door de betonnen dwarsbalk doorgegeven. Hierdoor wordt het eerder beschreven probleem van een te grote belasting loodrecht op de vezel in een houten ligger vermeden. Door de gelamineerde liggers onder het betonnen dek dicht naast elkaar te leggen is het betondek slank en wordt er neemt het hout gebruik toe ten opzichten van beton. Tevens is door de combinatie met beton een grotere overspanning mogelijk ten opzichte van Brock Commons, wat resulteert in meer binnenruimte en is dus geschikter voor een kantoorfunctie. De ruimte onder het betondek en tussen de gelamineerde liggers wordt gebruikt voor voorzieningen als kabels en leidingen. De ontwikkelaar van het systeem geeft aan dat het toepasbaar is tot en met 30 verdiepingen (~100 meter). Tot nu toe is dit systeem alleen nog maar voor LifeCycle Tower 1 gebruikt met een hoogte van 8 verdiepingen (~30 meter). Figuur 2 geeft een overzicht van de opbouw van het systeem. (Cree Building the Natural Change, 2016)

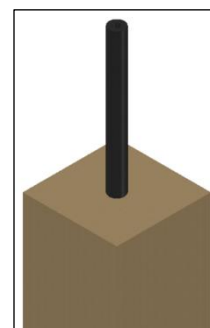


Figuur 2 - Opbouw van vloer (links) & opbouw systeem (rechts)

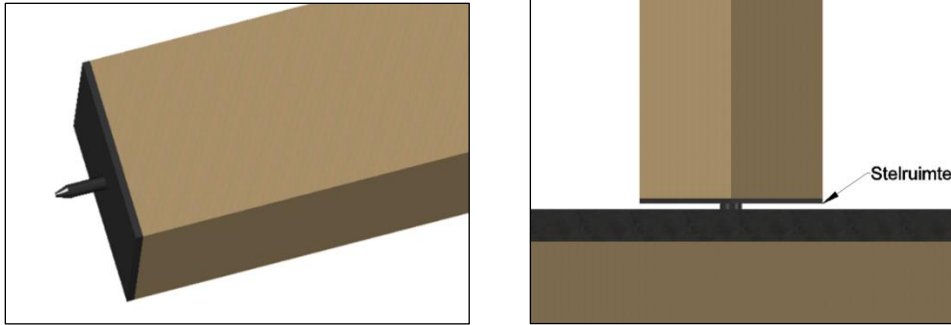
De gevelelementen worden ook van gelamineerd hout gemaakt. Aan deze gevel kunnen de kolommen vooraf worden gemonteerd om tijd te besparen op de bouwplaats.

### 2.2.1. Verbinding

Aan de bovenkant van de kolommen worden buizen van hoge sterkte staal aangebracht, zie figuur 3. De gaten in het vloerelement, welke in de hoeken van het element zitten, worden over de stalen buizen in de kolom heen geschoven. Na het plaatsen van het vloerelement steken de stalen buizen 12,5mm boven het vloerdek uit, zie figuur 4 (rechts). Deze ruimte dient als stelruimte voor de kolom en wordt afgestort met betonmortel. De houten kolommen hebben aan de onderkant een staalplaat met een uitstekende pin, zie figuur 4 (links). Deze pin wordt in de uitstekende stalen buizen geschoven van de onderliggende kolom.



Figuur 3 - Bovenkant kolom

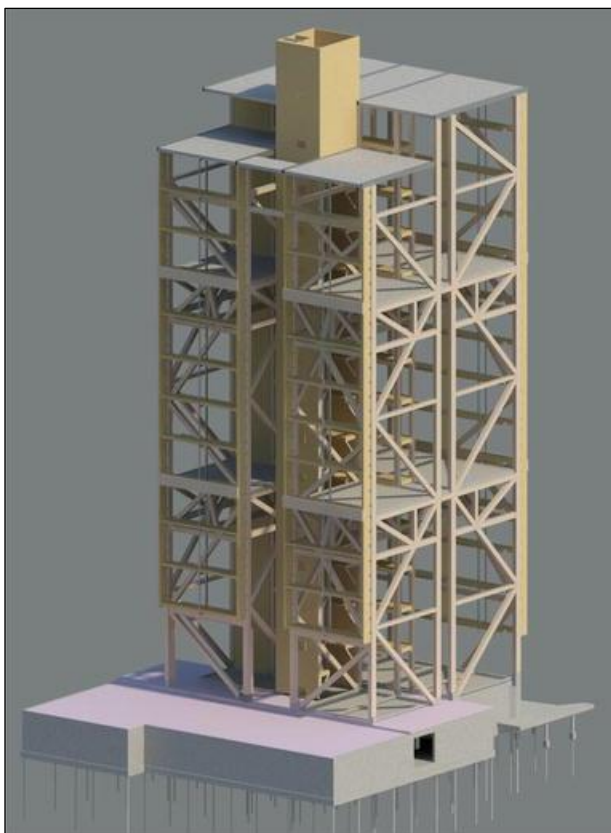


*Figuur 4 - Stalen voetplaat met pin aan kolom (links) & stelruimte kolom en vloerelement (rechts)*

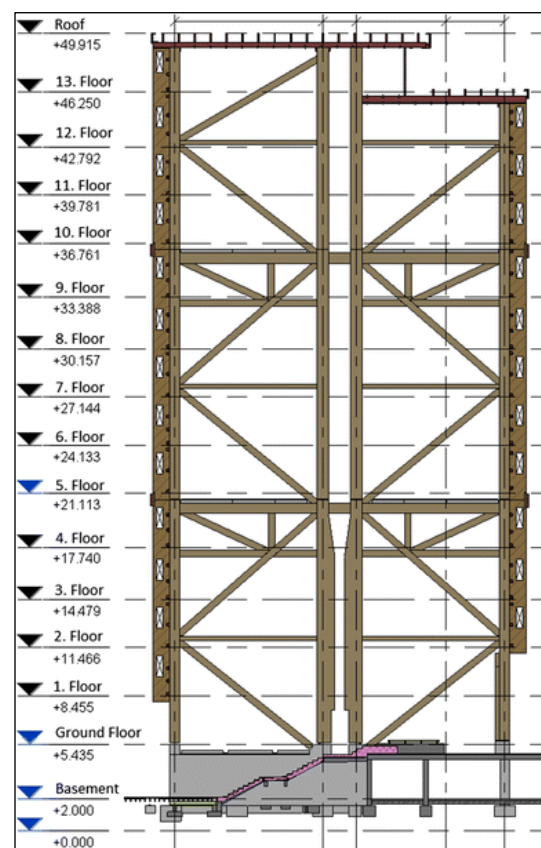
De vloeren van het systeem brengen doormiddel van schijfwerking de horizontale krachten over naar de kern. Afhankelijk van de constructie is het mogelijk om de vloeren onderling te koppelen, zodat de schijfwerking over meerdere vloeren naar de kern werkt.

### 2.3. Treet

Treet is momenteel het hoogste houten hoogbouw project wat gerealiseerd is. De draag- en stabiliteitsconstructie is gerealiseerd met een vakwerkconstructie van gelamineerde liggers aan de buitenzijde van het gebouw. De gevelconstructie draagt de windkrachten direct af op de gelamineerde vakwerkconstructie en beschermt het tevens tegen windinvloeden. De binnenzijde van het gebouw is opgebouwd uit geprefabriceerde CLT modulen en staan nagenoeg onafhankelijk van de gelamineerde draagconstructie, waardoor geen horizontale krachten ten gevolgen van de wind in de CLT modulen terecht komt. De CLT modulen worden verticaal om de vijf verdiepingen door de betonvloer ontlast. Belasting loodrecht op de vezel op treedt in de CLT modulen wel op, echter door de ontlasting van de betonvloer na 5 verdiepingen wordt dit niet te groot. Een bijkomende functie van de betonvloer is het realiseren van de grote overspanning tussen de kolommen van het vakwerk en het extra belasten van de vakwerkconstructie. Een optredend probleem bij houten hoogbouw is namelijk het gewicht van hout. Doordat de houtconstructie relatief een stuk lichter is ten opzichte van bijvoorbeeld beton of staal, resulteert dit in een groter dynamisch gedrag. De betonvloer voegt extra gewicht aan de vakwerkconstructie toe wat het dynamische gedrag ten gevolgen van de wind vermindert. De kern is gemaakt doormiddel van CLT panelen dit is uitsluitend voor het vervaardigen van de liftschaft en het trappenhuis en biedt geen stabiliserende functie. In figuur 5 en 6 is een overzicht van de constructie te zien.



Figuur 6 - 3D weergave Treet (Malo, Abrahamsen, & Bjertnaes, 2016)



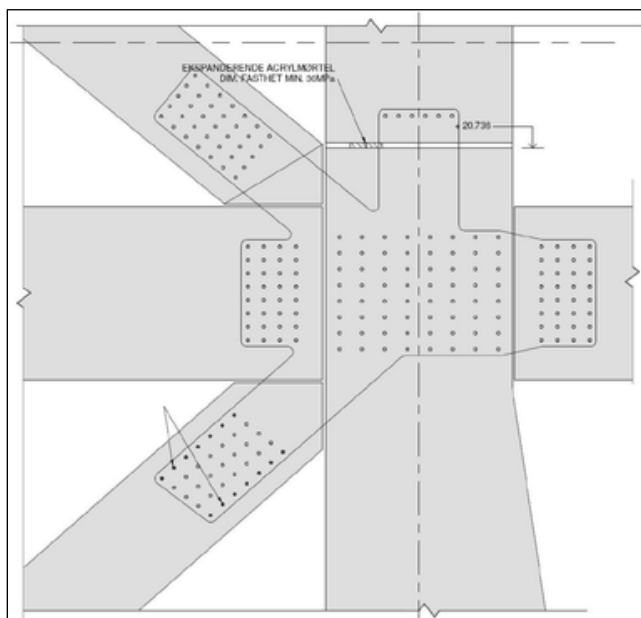
Figuur 5 - Vakwerkconstructie Treet (Malo, Abrahamsen, & Bjertnaes, 2016)

### 2.3.1. Verbinding

De typische verbinding is opgebouwd uit drie stalen platen welke binnen in de gelamineerde liggers geplaatst zijn. Afhankelijk van de optredende krachten in de verbinding worden deze verbonden met een verschillend aantal stalen deuvels. Voor dit project is niet naar andere verbindingsmogelijkheden gekeken, omdat beide engineers en de glulam producent vertrouwen in dit verbindingstype hebben. De sterkte en vermoeingseigenschappen van deze verbinding zijn meermalen onderzocht en terug te vinden in de literatuur. Echter zijn niet alle eigenschappen van deze verbinding goed gedocumenteerd. Zo schrijft de richtlijn in Eurocode 5 voor dat de stijfheid van de verbinding evenredig is aan het aantal deuvels en afschuifplaten. Hierin tegen is middels experimenten aangetoond dat de stijfheid onevenredig is aan het aantal deuvels en dat de stijfheid lager is. (Malo, Abrahamsen, & Bjertnaes, 2016). Het bepalen van de stijfheid van de verbindingen was essentieel voor de controle van het gebouw in de bruikbaarheidsgrenstoestand. Hierom is nader onderzoek verricht naar de stijfheid van dit verbindingstype.

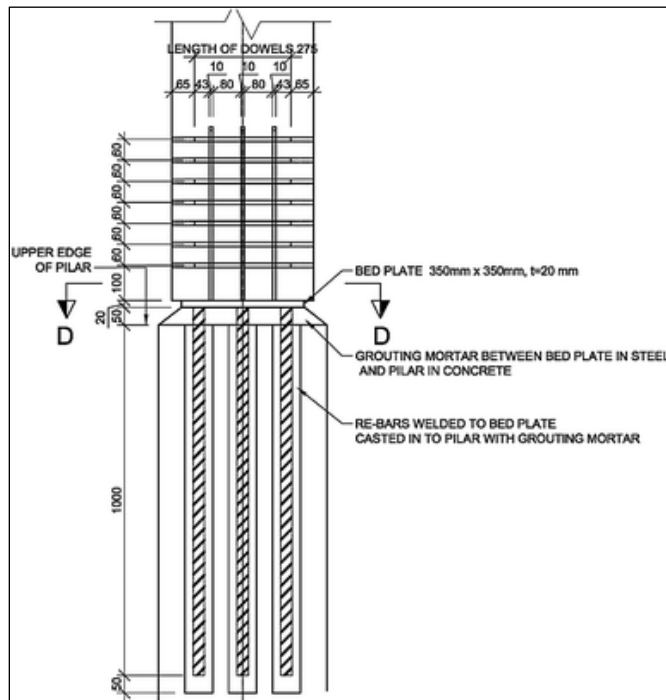
De kolommen van het vakwerkconstructie worden onderling doorgestapeld zodat geen verticale belasting wordt overgedragen naar de liggers. De kolommen worden vooraf met een kleine tussenruimte geplaatst die gevuld wordt met expanserende arcylmortel. Deze tussenlaag zorgt voor een goede overdracht van de drukkrachten tussen de kolommen. Door het lage gewicht van de constructie ondanks de betonvloeren die zijn toegevoegd treedt een maximale trekkracht in de kolom op van 296kN. Bij het doorstapelen van de kolommen is door deze lage trekkracht ook een kleine staalplaat met een deuvel verbinding toegepast.

Het overzicht van de verbinding is weergegeven in figuur 7. Hierin is te zien dat de staalplaat uit een stuk is vervaardigd, zodat de krachten goed over gedragen worden. Het staalplaat zorgt ervoor dat de trek en druk-krachten in de liggers en schoren worden overgebracht. Tevens neemt het een afschuifkracht op van de ligger.



Figuur 7 - Staalplaat-deuvel verbinding (Malo, Abrahamsen, & Bjertnaes, 2016)

Vanwege een trekkracht in de kolom ten gevolgen van de windbelasting worden de kolommen in de betonnen fundering verankerd. De verbinding wordt gemaakt door middel van een voetplaat welke verbonden is aan drie stalen platen. Deze drie platen worden in de kolom op dezelfde wijze bevestigd zoals eerder beschreven, namelijk doormiddel van deuvels. Aan de onderkant van de voetplaat worden wapeningstaven die uit het beton steken gelast. Vervolgens wordt de tussenruimte volgestort met grout mortel. Zie Figuur 8 voor een overzicht van de verbinding met de betonnen fundering.



*Figuur 8 - Verbinding met de betonnen fundering (Malo, Abrahamsen, & Bjertnaes, 2016)*

## 2.4. Brock Commons

Het gebouw 'Brock Commons' is gelegen op de campus van 'The British University of Columbia' te Canada. Bij dit gebouw is gebruik gemaakt van een stabiliserende betonnen kern. Hierdoor kon een relatief eenvoudige houten draagconstructie worden gebruikt van kolommen, CLT wanden- en vloerpanelen. De CLT vloerpanelen dienen hierbij voor de overspanning tussen de kolommen en de belastingafdracht per verdieping op de kolommen. Binnen de constructie zijn hierom geen liggers nodig, echter resulteerde dit in relatief korte overspanningen en dus veel kolommen. De kolommen staan in een rit van 2,85 bij 4,0 meter. De vloerpanelen zijn opgelegd op de kolommen, door de kolommen door te stapelen doormiddel van een stalen element treedt geen verticale belastingafdracht plaats via de vloeren. De vloerpanelen worden vervolgens door middel van een houten inleg plaat gekoppeld voor schijfwerking ten behoeve van de overdracht van de horizontale windbelasting naar de betonnen kern.



Figuur 9 - Stalen oplegging vloer (Naturally:wood, 2016)



Figuur 10 - Vloersysteem Brock Commons (Naturally:wood, 2016)

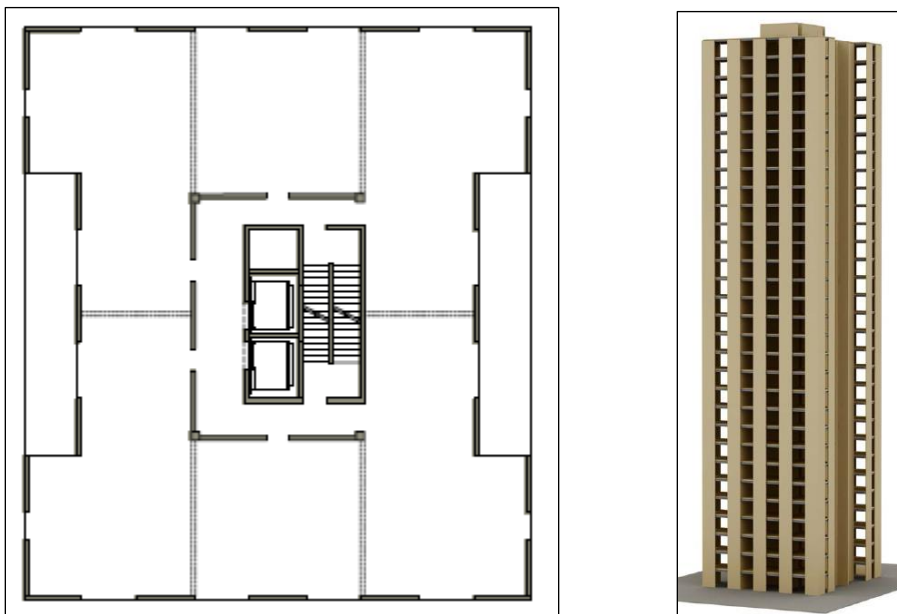


## 2.5. FTTT

Het volgende ontwerp is nog niet gerealiseerd, binnen dit ontwerp is gebruik gemaakt van het FTTT systeem. Het FTTT systeem bestaat voornamelijk uit hout.

### 2.5.1. Constructie

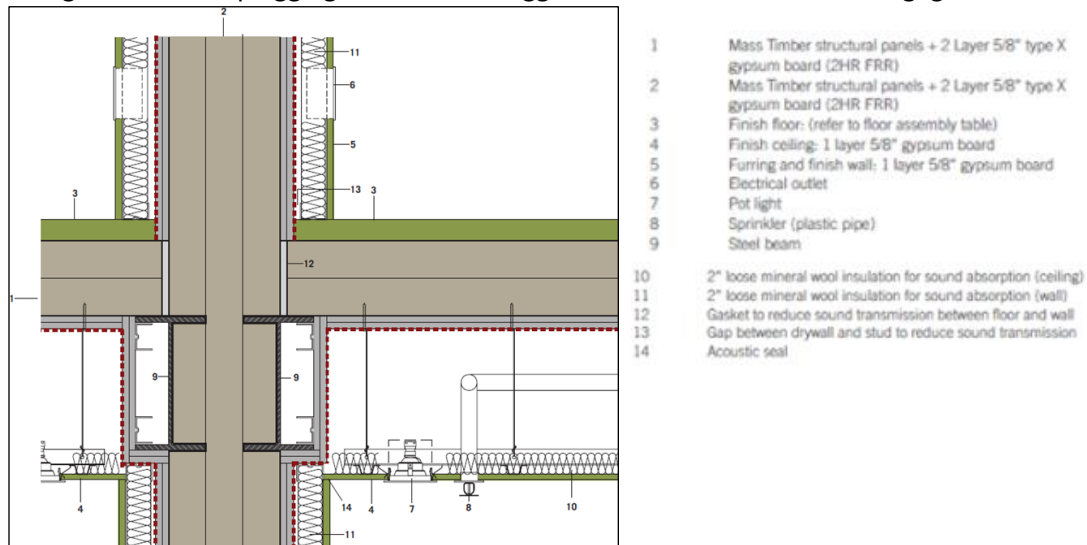
De liggers binnen het ontwerp zijn uitgevoerd in staal. Met dit systeem zijn vier verschillende draagstructuren ontworpen die toepasbaar zijn voor verschillende bouwhoogtes. De zwaarst uitgevoerde variant heeft een maximale hoogte van 30 verdiepingen. De draagconstructie bestaat uit een stabiliteitskern in het midden en wanden in de gevel van massief houten panelen. De verdiepsvloeren zijn tevens uitgevoerd met behulp van massieve houten panelen. Deze worden opgelegd op de stalen liggers, welke in de massieve wanden zijn opgelegd. In figuur 11 is de opbouw van de zwaarst uitgevoerde draagconstructie weergegeven. (BTY Group, 2012)



Figuur 11– FTTT ontwerp plattegrond (links) & 3d model (rechts)

### 2.5.2. Typerende verbindingen

Door stalen liggers toe te passen worden vermeden dat de draagconstructie, in dit geval de stabiliteitswand wordt doorgestapeld op de vloer wat zou resulteren in belasting loodrecht op de vezel. In figuur 12 is de oplegging van de stalen liggers in de stabiliteitskern weergegeven.



Figuur 122 – FFTT ontwerp verbinding staalliggers met stabiliserende

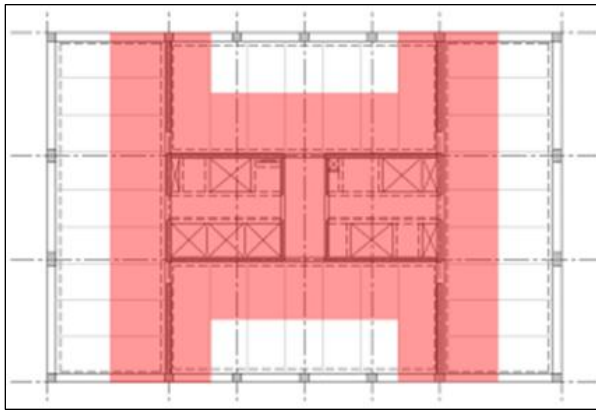
De wanden zijn opgebouwd uit drie massieve panelen, opgebouwd uit lamellen, welke met elkaar worden verlijmt. De stalen liggers worden in de buitenste panelen van de wand gezet als te zien in figuur 12. De drukkracht die van de bovenliggende wand op het stalen profiel werkt zorgt mede voor een goede verankering van het staal. Door een grote drukkracht van de wand wordt het staalprofiel opgevuld met hout zodat deze niet in kan knikken.

Op dit moment zijn nog geen hoogbouw project gerealiseerd doormiddel van het FFTT systeem. Om het systeem toe te kunnen passen zijn meerdere vervolg onderzoeken en testen omtrent de verbindingen en massieve hout panelen benodigd.



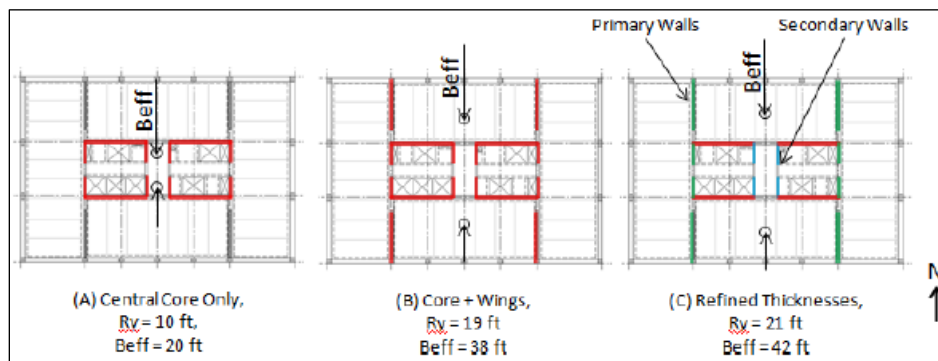
## 2.6. SOM timber tower

Het ontwerp voor de SOM Timber Tower rolt uit een onderzoeksproject omtrent de ontwikkeling van hoogbouw met hout als voornaamst constructiemateriaal. Voor dit ontwerp is 'Dewitt-Chestnut Apartments' met 42 verdiepingen als referentie ontwerp aangenomen. Het SOM systeem heeft maakt binnen de hoofddraagconstructie voornamelijk gebruik van hout, op de hoog belaste locaties van het systeem wordt gewapend beton gebruikt. Dit komt er op neer dat de stabiliteits constructie, de kolommen en de vloerpanelen met behulp van hout worden geconstrueerd, de liggers zijn van beton. Het gehele gebouw bestaat hierdoor uit ongeveer 70% hout en 30% beton. De stabiliteitsconstructie van het gebouw is opgebouwd uit een kern en vier wanden van massief houten panelen (CLT of soortgelijke panelen). Het ontwerp van de stabiliteitskern en -wanden wordt weergegeven in figuur 13. Het gearceerde gebied in de afbeelding geeft weer welke verticale belasting door de stabiliteitsconstructie wordt gedragen. Ongeveer 65% van de verticale belasting wordt door deze constructie opgenomen. Deze verticale belasting zorgt ervoor dat er geen trek ontstaat ten gevolge van de wind. De mogelijkheid bestaat er om dit percentage hoger te maken als er toch trek zal ontstaan in de stabiliteitsconstructie.



Figuur 133 – Op te nemen gebied verticale belasting (Skidmore, Owings & Merrill LLP, 2013)

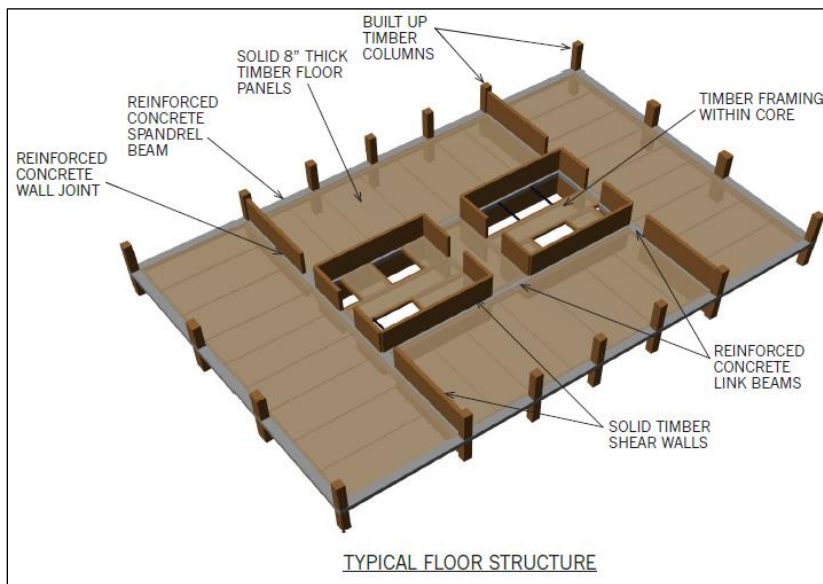
Door het plaatsen van 4 stabiliteitswanden heeft de stabiliteitsconstructie een grotere effectieve breedte om het stabiliserende moment te leveren. Om de effectieve breedte nog verder te vergroten kan ervoor worden gekozen de primaire wanden verzwaard en de secundaire lichter uit te voeren. In figuur 14 wordt dit principe schematisch weergegeven.



Figuur 14 – Principe vergroten effectieve breedte (Skidmore, Owings & Merrill LLP, 2013)

### 2.6.1. Typerende verbindingen

Een betonnen balk welke rondom het gebouw loopt en bij de stabiliteitskern en -wanden, maakt de verbinding tussen de houten elementen mogelijk. De houten elementen, wanden en kolommen, worden verbonden doormiddel van overlappende wapeningsstaven die door de betonnen verbinding heen lopen. Deze wapeningsstaven worden in de constructieve houten elementen geplaatst met behulp van geboorde gaten die opgevuld worden met een versterkte epoxy verbinding. De balken zijn versterkt met wapeningstaal om zo lange overspanningen mogelijk te maken en de individuele wanden goed te kunnen koppelen. Dit is nodig zodat de kern en stabiliteitswanden als een geheel fungeert. Bij de verbinding worden stalen constructie elementen toegevoegd om zo een ruimte te creëren die later aangestort kan worden. Hierdoor kunnen de overlappende staven die uit de houten constructie elementen steken goed verbonden worden. Op figuur 15 is een standaard vloer weergegeven. Hierop is goed te zien dat er een betonnen balk ligt tussen de kolommen en stabiliteitswanden.



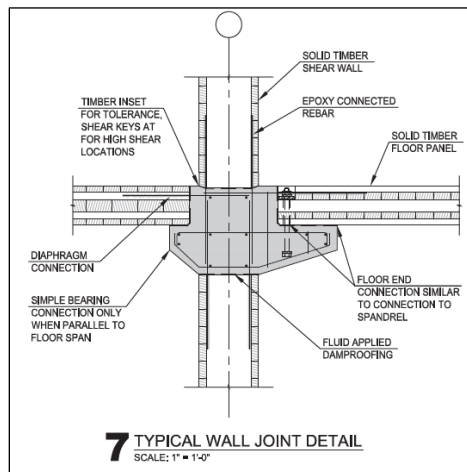
Figuur 145 – Opbouw SOM constructie (Skidmore, Owings & Merrill LLP, 2013)

#### 2.6.1.1. Wand-ligger verbinding

De wand krijgt te maken met horizontale windkrachten en verticale drukkrachten. Gezien de drukkrachten met name onder in de constructie groter zijn dan de horizontale windbelasting, worden de meeste lamellen waar het wandpaneel uit is opgebouwd, met de vezel in de verticale richting gelegd. In figuur 16 is te zien dat de twee buitenste lagen van het paneel in de horizontale richting liggen en het binnenste in de verticale richting. Bij de vloeren is de verhouding in beide richtingen beter verdeeld gezien de krachten afdracht hier altijd loodrecht op de vezel is. Door de lamel richting beter te verdelen treed minder krimp op.

In figuur 16 is tevens weergegeven hoe de wanden worden doorgesloten door middel van wapeningsstaven. De wapeningsstaven worden doormiddel van een epoxy verbinding in de houten delen aangebracht. Voor een betere afdracht van de afschuifkrachten is de wand iets verzonken in de

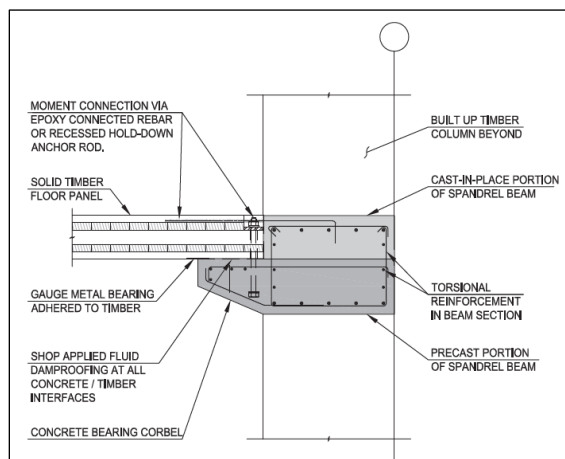
betonnen ligger. Het is niet duidelijk of deze verbinding volledig in het werk gestort wordt of dat er gebruik gemaakt wordt van gains voor het koppelen van de kolommen.



Figuur 156 – Dwarsdoorsnede wand-ligger verbinding (Skidmore, Owings & Merrill LLP, 2013)

#### 2.6.1.2. Vloer-ligger verbinding

In figuur 17 is de verbinding tussen de ligger en de vloerpanelen weergegeven. De houten vloerpanelen worden opgelegd op een betonnen prefab liggerdeel. In verticale richting worden de vloerpanelen over een staaf gelegd welke vervolgens doormiddel van een bout wordt gekoppeld. In horizontale richting wordt de vloer met behulp van wapeningsstaven verbonden aan, het in het werk te storen deel van, de betonnen ligger. Ter bescherming van het hout is een staalplaat aangebracht aan de onderzijde van het vloerpaneel, ter hoogte van het uiteinde van het prefab gedeelte van de betonnen ligger.

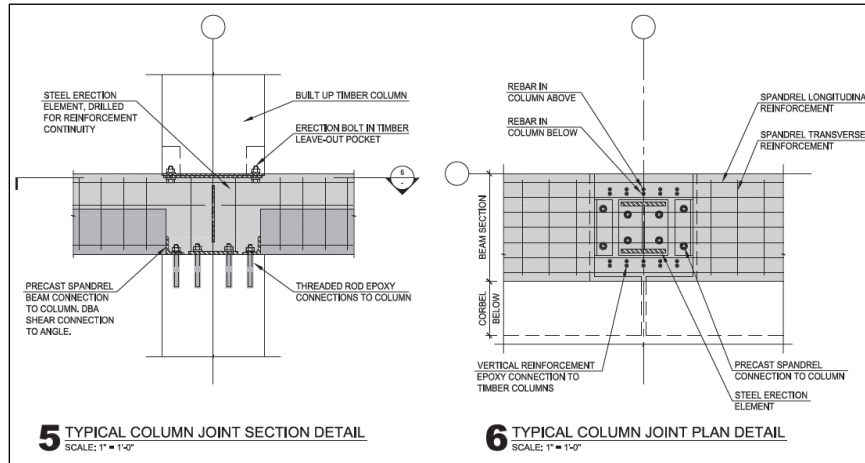


Figuur 167 – Doorsnede vloer-ligger verbinding (Skidmore, Owings & Merrill LLP, 2013)

#### 2.6.1.3. Kolom verbinding

Als eerder vermeld worden de liggers gedeeltelijk prefab aangeleverd en gedeeltelijk in het werk gestort. Als in figuur 17 en 18 is het prefab gedeelte het onderste gedeelte van de ligger en ligt dit tussen de kolommen waardoor het gedeelte tussen de kolommen en op de ligger in het werk gestort dient te worden. Aan de uiteinden van deze prefab ligger wordt een hoekstaal bevestigd waarmee deze

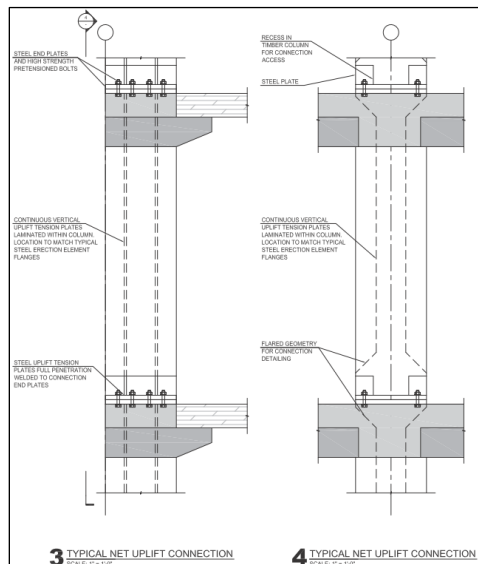
op de kolommen bevestigd kunnen worden, figuur 19. Door de balken op deze wijze aan de kolom vast te maken blijft er een open ruimte boven de kolom. De kolommen worden vervolgens doormiddel van een stalen element verbonden alvorens de tussenruimte en het bovenste gedeelte van de ligger wordt afgestort.



Figuur 178 – Doorsnede en bovenaanzicht kolom verbinding (Skidmore, Owings & Merrill LLP, 2013)

Wanneer meer trek optreedt in de kolommen zal de verbinding als zojuist beschreven niet meer voldoen in de koppeling met het hout. In dat geval kan worden gekozen om een doorlopend stalen element in de houten kolom aan te brengen, zie hiervoor figuur 19.

Het constructieve systeem is ontwikkeld met behulp van eerste basis benadering en wordt verwacht te presteren zoals is voorgenomen. Deze verwachtingen moet bevestigd worden doormiddel van extra onderzoek en fysieke testen voordat ze uitgevoerd kunnen worden in echte gebouwen.



Figuur 19 – Aanzichten kolomverbinding met staalplaat (Skidmore, Owings & Merrill LLP, 2013)

## Bibliografie

- APAwood. (2016, Augustus 29). *Cross Laminated Timber*. Retrieved from APAwood:  
<http://www.apawood.org/cross-laminated-timber>
- BTY Group. (2012). *The Case For Tall Wood Buildings*.
- CLT, *Cross-laminated timber*. (2016, september 14). Retrieved from Joost de Vree:  
<http://www.joostdevree.nl/shtmls/clt.shtml>
- Cree Building the Natural Change*. (2016, september 20). Retrieved from  
<http://www.creebyrhomborg.com/en/technology/>
- Cross Laminated Timber*. (2016, september 14). Retrieved from JM concepten:  
<http://jmconcepten.nl/cross-laminated-timber.html>
- Cross-laminated Timber Construction*. (2016, september 14). Retrieved from Tesseract Design:  
<http://www.tesseract-design.com/cross-laminated-timber-construction.html>
- Hubert, R. (n.d.). *LifeCycle Tower - The Natural Change in Urban Architecture*. Austria.
- Malo, K., Abrahamsen, R., & Bjertnaes, M. (2016). Some structural design issues of the 14 storey timber framed building "Treet" in Norway. *European Journal of Wood and Wood Products*, 407-424.
- Naturally:wood*. (2016, September 27). Retrieved from <http://www.naturallywood.com/emerging-trends/tall-wood/ubc-brock-commons>
- Pearson, A. (2016, September 14). *Over: Dalston Lane*. Retrieved from Building.co.uk:  
<http://www.building.co.uk/dalston-lane-tall-timber/5079749.article>
- Siem, J. (2014). Four dowels in a column compared to an one dowel connection. *WCTE 2014 - World Conference on Timber Engineering*, Proceedings.
- Skidmore, Owings & Merrill LLP. (2013). *Timber Tower Research Project*. Chicago .

## BIJLAGE 2

Houten kolom-ligger verbindingen

### OPDRACHTGEVER

**Arcadis**

Afdeling gebouwen

Lichtenauerlaan 100  
3062 ME Rotterdam

Begeleider:

Gerard van engelen  
Senior Specialist Structural Engineering

### LEERINSTELLING

**Hogeschool Rotterdam**

Opleiding Civiele Techniek

G.J. de Jonghweg 4-6  
3015GG Rotterdam

Begeleider:

Sven van Rosmalen

### AFSTUDEERDERS

Roel Majoor

Maarten Schoen

Gerard van Engelen:

.....

## Inhoud

|                                                      |    |
|------------------------------------------------------|----|
| 1. Inleiding.....                                    | 2  |
| 2. Overzicht verbindingen .....                      | 3  |
| 3. Beschrijving verbindingen & voor- en nadelen..... | 6  |
| 3.1. Verbinding 1.....                               | 6  |
| 3.1.1. Beschrijving .....                            | 6  |
| 3.1.2. Voor- en nadelen .....                        | 6  |
| 3.2. Verbinding 2.....                               | 7  |
| 3.2.1. Beschrijving .....                            | 7  |
| 3.2.2. Voor- en nadelen .....                        | 7  |
| 3.3. Verbinding 3.....                               | 7  |
| 3.3.1. Beschrijving .....                            | 7  |
| 3.3.2. Voor- en nadelen .....                        | 8  |
| 3.4. Verbinding 4.....                               | 8  |
| 3.4.1. Beschrijving .....                            | 8  |
| 3.4.2. Voor- en nadelen .....                        | 8  |
| 3.5. Verbinding 5.....                               | 9  |
| 3.5.1. Beschrijving .....                            | 9  |
| 3.5.2. Voor- en nadelen .....                        | 9  |
| 3.6. Verbinding 6.....                               | 9  |
| 3.6.1. Beschrijving .....                            | 9  |
| 3.6.2. Voor- en nadelen .....                        | 10 |
| 3.7. Verbinding 7.....                               | 10 |
| 3.7.1. Omschrijving .....                            | 10 |
| 3.7.2. Voor- en Nadelen .....                        | 10 |
| 4. Conclusie.....                                    | 11 |
| Bibliografie.....                                    | 12 |

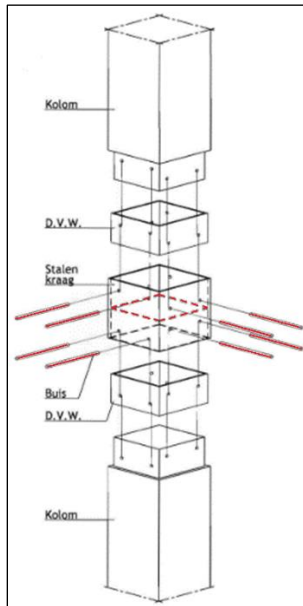
## 1. Inleiding

In dit hoofdstuk worden zes verschillende kolom-ligger verbindingen behandeld voor hoogbouw in hout. Bij het tot stand brengen van de verbindingen is gebruik gemaakt van staal of beton.

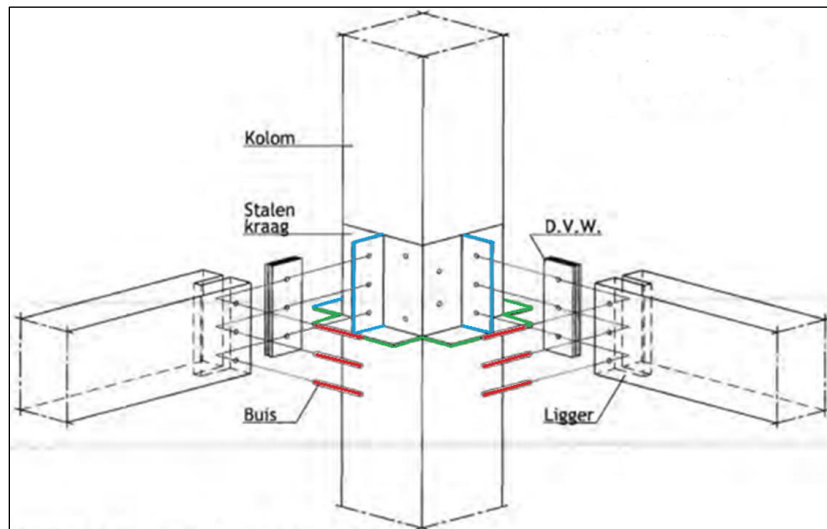


## 2. Overzicht verbindingen

1. Onderlinge koppeling van de kolommen en koppeling met de liggers door middel van een stalen koker aan de buitenzijde van de kolom in combinatie met buizen of deuvels

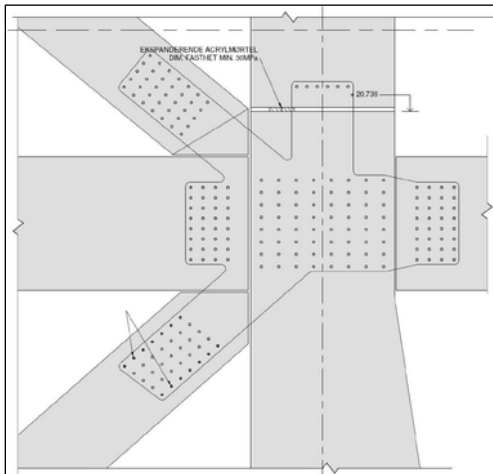


Figuur 1 – Verbinding 1, koppeling kolom-kolom  
(Berkmortel, 2009))



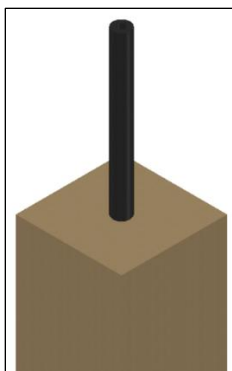
Figuur 2 – Verbinding 1, koppeling ligger-kolom  
(Berkmortel, 2009))

2. Onderlinge koppeling van de kolommen en koppeling met de liggers door middel van één of in dit geval meerdere staalplaten binnen in de liggers en kolom in combinatie met deuvels.

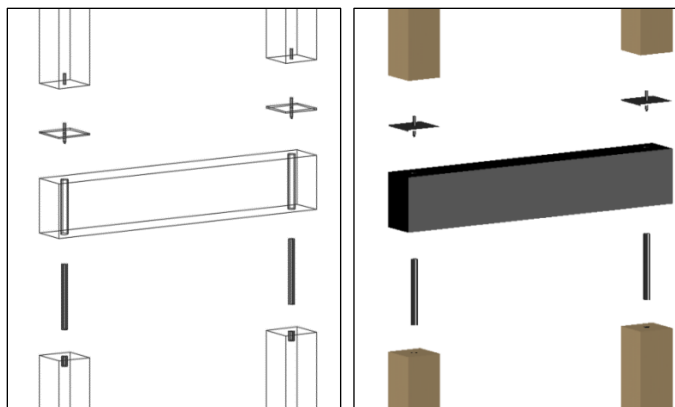


Figuur 3 – Verbinding 2, zij aanzicht (Malo, Abrahamsen, & Bjertnaes, 2016)

3. Onderlinge koppeling van de kolommen en koppeling met de vloerelementen door middel van tubes waar de vloer elementen overheen vallen, de volgende kolom op wordt geplaatst door middel van uitstekende pinnen en het geheel vervolgens wordt afgestort.

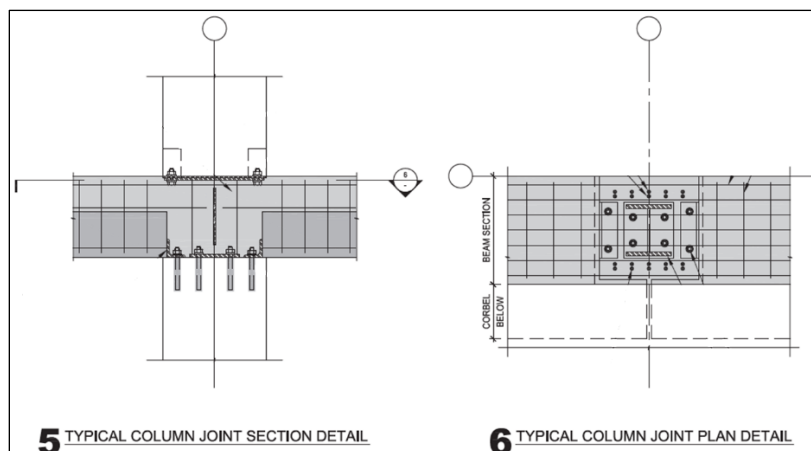


Figuur 4 – Verbinding 3, bovenzijde kolom



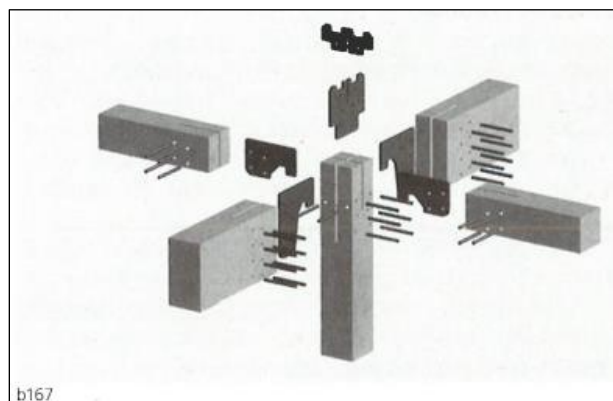
Figuur 5 – Detail 3, explosietekening kolom-ligger verbinding

4. Onderlinge koppeling van de kolommen door middel van stekken met een betonnen deels prefab / deels IHWG ligger. Koppeling van het vloerpaneel doormiddel van metalen pen in verticale richting en stekken in horizontale richting.



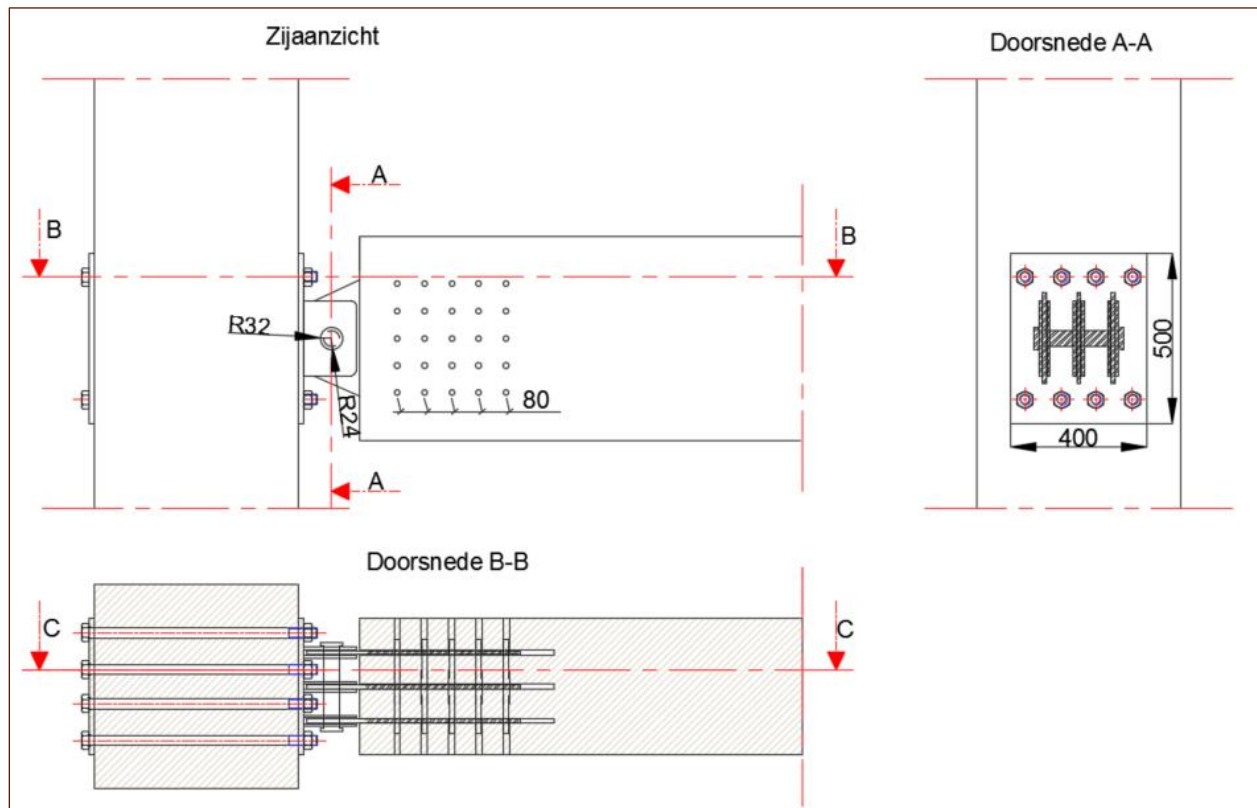
Figuur 6 – Verbinding 4, dwarsdoorsnede en bovenaanzicht (Skidmore, Owings & Merrill LLP, 2013)

5. Onderlinge koppeling van de kolommen niet duidelijk. Koppeling van de liggers door middel van stalen elementen en deuvels.



Figuur 7 – Verbinding 5, 3D weergave (Kolb, 2008)

6. Onderlinge koppeling van de kolommen en koppeling met de liggers door middel van meerdere staalplaten in de ligger in combinatie met deuvels met een uitwendig scharnier.



Figuur 8 - Scharnierende kolom-ligger verbinding (Eigen illustratie)

7. Opgelegde vloeren tussen stalen elementen die de kolommen koppelt.



Figuur 9 - Vloersysteem Brock Commons (Naturally:wood, 2016)

### 3. Beschrijving verbindingen & voor- en nadelen

#### 3.1. Verbinding 1

##### 3.1.1. Beschrijving

Bij dit detail wordt gebruik gemaakt van een stalen element in de vorm van een koker om de kolommen en de liggers te verbinden. Met deze verbinding wordt doorstapeling loodrecht op de vezel door middel van het stalen element voorkomen.

Vier pennen (gearceerd met rood, figuur 1) zorgen voor de koppeling van de kolom aan het stalen element en brengen eventuele trekkrachten over tussen aangekoppelde liggers. In het midden van de stalen koker is een horizontale staalplaat aangebracht (gestippeld met rood, figuur 1). Deze staalplaat brengt verticale belasting van het staalement over naar de kolom. Verticale belasting van de vier pennen wordt hierdoor voorkomen. De kolom wordt verjongt ter hoogte van de stalen koker en ontstaat een gladde afwerking. Om de krachten tussen de stalen koker en de kolom beter over te brengen wordt Densified Veneer Wood(DVW) toegepast. DVW heeft een hogere druk en treksterkte in beide richtingen van het materiaal en is goed te verlijmen met het hout, hierdoor treed onder andere minder snel vroegtijdig splijten van het hout op. Dit DVW wordt in een ring om de kolom en in de liggers rondom het staalement aangebracht, als te zien in figuur 1.

Aan de stalen koker kunnen meerdere T-stukken worden gelast (IHW dan wel prefab) ten behoeve van de koppeling met liggers. De ligger wordt opgelegd op het horizontale deel(gearceerd met groen, figuur 1) en brengt de dwarskracht over naar de stalen koker. Het verticale deel (blauw, figuur 2) zit naast de koker ook aan het horizontale deel vast gelast om buiging hiervan tegen te gaan en een gedeelte van de dwarskracht over te dragen naar de koker. Hiernaast zijn er in het verticale deel uitsparingen aangebracht om trekkrachten in de ligger middels 3 pennen (weergegeven met rood, figuur 2) naar de stalen koker over te brengen. Deze pennen worden verticaal niet belast, doordat de ligger opgelegd wordt op het horizontale deel. Bij de montage schuift het verticale staal element in de vooraf aangebrachte uitsparing in de ligger.

Voor de koppeling van raveling kan worden gekozen om dit door middel van een staalplaat met T-stuk te realiseren. Voor de koppeling tussen de ravelligger en het T-stuk wordt 1 pen gebruikt(rood), dit omdat hier geen trekkracht in speelt. De koppeling met de hoofdligger is niet door middel van een koker, tevens doordat geen trekkracht speelt in de raveling, hier worden twee pennen gebruikt. Op deze manier is de verbinding niet in beide richtingen scharnierend. Bij deze koppeling wordt ter versterking ook DVW toegepast.

##### 3.1.2. Voor- en nadelen

Voordelen van dit type verbinding zijn een eenvoudige koppeling en een korte doorlooptijd. Hiernaast speelt speling op de pen verbinding een minder belangrijke rol door de aangebrachte horizontale platen voor de oplegging.

Nadelen zijn dat het staal niet in het hout is aangebracht, waardoor het geen bescherming heeft tegen brand. Hierbij is het gebruik van het staal relatief hoog ten opzichte van de overige details.

## 3.2. Verbinding 2

### 3.2.1. Beschrijving

Bij dit type verbinding wordt belasting loodrecht op de vezel vermeden door staalplaten toe te passen binnen in de liggers en de kolom. Doormiddel van de staalplaat wordt een verbinding tussen de kolom, ligger en schoren tot stand gebracht. In dit geval zijn drie dezelfde staalplaten binnen de gelamineerde liggers aangebracht met een tussenruimte van 80mm.

De staalplaat wordt in uitsparingen in de liggers en kolommen geschoven waarna deze gekoppeld worden met behulp van deuvels. In de afbeelding is tevens te zien dat deze verbinding ook mogelijk is zonder schoren. Trek- en drukkrachten worden overgebracht, tevens wordt een afschuifkracht vanuit de ligger opgenomen in de staalplaten.

Met deze verbinding kunnen kolommen over meerdere verdiepingen doorlopen. Wanneer een doorkoppeling moet worden gemaakt kan dit tevens met behulp van dezelfde staalplaat. Dit is een relatief kleine verbinding ten opzichte van de andere (met rood omcirkelde gedeelte), mits hier geen trekkracht in optreedt (in dit geval treedt 296kN trek op). De kolommen worden vooraf met een kleine tussenruimte geplaatst die gevuld wordt met expanderende arcyilmortel. Deze tussenlaag zorgt voor een goede overdracht van de drukkrachten tussen de kolommen en voorkomt dat door een afwijking een te grote of de volledige drukkracht op de staalplaat ontstaat

### 3.2.2. Voor- en nadelen

Een groot voordeel van deze verbinding is dat er bescherming tegen brand wordt geboden doordat de staalplaat in het hout is aangebracht. Hiernaast kan met behulp van deze verbinding een kolom doorlopen over meerdere verdiepingen.

Het nadeel van deze verbinding in relatie tot hoogbouw is dat het kolom oppervlak wordt gereduceerd ter plaatse van de staalplaat, dit zorgt voor een gereduceerde opneembare normaalkracht. Sterkte en vermoeiingseigenschappen van deze verbinding zijn meerdere malen onderzocht en terug te vinden in verschillende literatuur, echter niet alle eigenschappen van deze verbinding zijn goed gedocumenteerd. Dit maakt het lastig om aan deze verbinding te rekenen en hiervoor een ontwerp te maken.

## 3.3. Verbinding 3

### 3.3.1. Beschrijving

Dit detail is ontwikkeld door (Cree Building the Natural Change, 2016) en bestaat uit een combinatie van prefabbeton en hout. De liggers worden van prefabbeton gemaakt zodat er doorstapeling van liggers tussen de kolommen mogelijk is. Dit maakt dat er niet zozeer een verbindingselement nodig is zoals bij de overige details. Aan de betonnen liggers worden houten gelamineerde langsliggers bevestigd met een relatief kleine hard op hard afstand, dit resulteert in een relatief dunne benodigde betonnen vloer gestort kan worden. Het gehele element wordt in een keer prefab gemaakt en hoeft enkel in gehesen en verbonden te worden op de werkplaats.

In de houten kolommen worden aan de bovenzijde buizen van hoge sterkte staal aangebracht. Deze buizen worden door uitsparingen van de betonnen liggers heen geschoven. Na het plaatsen van het prefab element steken de stalen buizen voor een klein gedeelte boven de betonnen ligger uit. De

volgende houten kolom heeft aan de onderzijde een stalen voetplaat met uitstekende pinnen. Deze pinnen aan de onderzijde wordt in de uitstekende stalen buizen van de onderliggende kolom geschoven om de kolom te positioneren. Doordat de stalen buis zich boven het vloerdek bevindt zit er een ruimte tussen het vloerelement en de kolom, welke aangestort wordt om het geheel te verbinden, op deze manier wordt de kolom tegelijkertijd ook gesteld.

#### 3.3.2. Voor- en nadelen

Met deze verbinding en bouwsysteem is het mogelijk vanwege de snelle montage een hoge productiviteit te halen op de bouwplaats. Hiernaast is het ontwikkeld om toe te passen in combinatie met een betonnen kern als stabiliteitsconstructie, wat ook het geval is bij het kenniskwartier. Het is mogelijk om relatief grote overspanningen te maken met het vloersysteem van hout. Door middel van mortel zijn de kolommen gemakkelijk te stellen.

Het nadeel van deze verbinding is dat relatief veel gebruik wordt gemaakt van beton vergeleken met andere verbindingen/systemen. Hiernaast is weinig vormvrijheid mogelijk met dit systeem.

### 3.4. Verbinding 4

#### 3.4.1. Beschrijving

Bij deze verbinding bestaat de constructie niet volledig uit hout. Houten vloerpanelen en kolommen worden gecombineerd met betonnen liggers. Deze liggers zijn deels vervaardigd uit prefabbeton en worden na het plaatsen aangestort om zodoende een moment vaste koppeling te maken met de stekken vanuit de houten vloerpanelen. De prefab delen van de betonnen ligger worden in de uitvoeringsfase op een relatief klein gedeelte opgelegd, dit wordt gedaan door middel van een stalen hoekprofiel.

De kolommen worden tevens door gekoppeld door middel van deze betonnen ligger. De kolommen bevatten aan de onder- en bovenkant een stalen voetplaat, deze worden door middel van twee verticale staalplaten gekoppeld tijdens de uitvoeringsfase. Het stalen element creëert een ruimte tijdens de uitvoeringsfase welke tegelijk met de aanstort van de prefabliggers wordt afgestort met beton. Hiernaast dient het stalen element ervoor om eventuele trekkrachten in de kolom over brengen.

De koppeling tussen het houten vloerpaneel en de betonnen ligger wordt gerealiseerd doormiddel van metalen pen in verticale richting tussen het houten paneel en het prefab gedeelte en stekken in horizontale richting tussen het houten vloerpaneel en het in het werk te storten deel.

#### 3.4.2. Voor- en nadelen

Het grootste voordeel is dat het mogelijk is om een sterke verbinding te maken welke een moment op kan nemen. Daarnaast lopen deze liggers in een keer door wat resulteert in een betere doorgave van druk en trekkrachten door de liggers.

Het nadeel van deze verbinding is dat er alsnog relatief veel beton gebruikt wordt vergeleken met de andere verbindingen.



### 3.5. Verbinding 5

#### 3.5.1. Beschrijving

Binnen dit detail wordt gebruik gemaakt van stalen elementen om de liggers met de kolom te verbinden.

In het midden van de kolom worden twee verticale staalplaten aangebracht in een daarvoor gemaakte uitsparing. Deze platen worden vervolgens met deuvels aan de kolom bevestigd. Hiertoe dienen sleuven te worden uitgefreesd in de kolom, net als bij detail 2, dit kan met bijvoorbeeld een CNC-frees. Vervolgens wordt op dezelfde manier een staalplaat in de ligger aangebracht. De ligger wordt door middel van het stalen element in de kolom opgelegd, het staal voorkomt belasting loodrecht op de vezel. Een nok aan het stalen element in de kolom voorkomt het uitschuiven van het ligger element, het gaat hier dus om een scharnierend opgelegde verbinding. Doordat de stalen elementen in een sleuf worden gemonteerd, loopt het overgrote deel van de kolom door.

In het detail is niet aangegeven hoe kolommen verticaal worden door gekoppeld. Echter doordat de stalen elementen in de kolom worden aangebracht ontstaat geen kracht loodrecht op de vezel wanneer een kolom op de huidige kolom zou worden geplaatst. In figuur 7 is te zien dat de staalplaten van boven worden ingebracht, echter is het ook mogelijk om door middel van een CNC-frees de uitsparingen vanaf de zijkant te maken. Dit maakt het mogelijk de kolom over meerdere verdiepingen te laten lopen.

#### 3.5.2. Voor- en nadelen

Een groot voordeel van deze verbinding is dat het staal zich in het hout bevindt en hierdoor bescherming ondervindt tegen brand. Tevens is de montage op de bouwplaats gemakkelijk doordat de staalementen vooraf, prefab, kunnen worden gemonteerd.

Een nadeel is het relatief kleine oppervlak waarop de ligger wordt opgelegd en wordt overgedragen (door middel van deuvels), de belasting wordt niet goed gespreid. Naar verwachting zal dit echter geen problemen opleveren. Tevens wordt de doorsnede van de kolom hierdoor gereduceerd, wat bij de hoogte van het huidige ontwerp een rol gaat spelen.

### 3.6. Verbinding 6

#### 3.6.1. Beschrijving

In de ligger is gebruik gemaakt van eenzelfde staalplaat-deuvel verbinding zoals bij Treet. De staalplaten zijn ook hier in het hout verwerkt. De drie staalplaten zitten bevestigd aan een uitwendig scharnier met een pin. Deze pin draagt de dwarskracht over naar 6 staalplaten welke aan een grote staalplaat vastgelast zitten. De staalplaat wordt verticaal tegen de kolom geplaatst en middels grote bouten die door de gehele kolomdoorsnede lopen vastgemaakt aan de kolom. Aan de andere zijde van de kolom zit ook een staalplaat om zo eventuele horizontale belasting in de ligger goed over te dragen naar de kolom. De oppervlakte spanning van de bouten wordt zo beter verspreid.

Door deze verbinding toe te passen kunnen de kolommen doorlopen over meerdere verdiepingen. Aangezien de lengte van de kolommen beperkt blijft moeten deze meerdere keren gekoppeld worden middels een staalplaat-deuvel verbinding. Deze verbinding zit altijd onder of boven de kolom-liggerverbinding en nooit op dezelfde hoogte.

### 3.6.2. Voor- en nadelen

Bij deze verbindingen zitten de staalplaten in de ligger verwerkt, waardoor ter plekke van de ligger het staal goed beschermt is tegen brand. Alle elementen kunnen vooraf aan de liggers en kolommen bevestigd worden, enkel de pin van het scharnier moet nog bevestigd worden tijdens de montage..

Doordat het scharnier uitwendig is zit een groot gedeelte van het staal buiten de houten ligger. Deze stalen elementen zullen goed beschermd moeten worden tegen brand. Hiernaast is de preciezie waarmee de houten ligger geplaatst moeten worden erg nauwkeurig. Doordat de pin in het scharnier weinig toleranties heeft ten opzichte van de staalplaten is dit een secuur werkje.

## 3.7. Verbinding 7

### 3.7.1. Omschrijving

Aan de bovenzijde van elke kolom wordt een stalen opzet stuk geplaatst met een voetplaat. Op deze stalenvoetplaat zit een ronde buis gelast waarop de volgende kolom bevestigd wordt. Doordat deze buis aanzienlijk minder groot is ontstaat een ruimte om de vloeren op te leggen. De stabiliteit van deze constructie wordt altijd ontleed aan een betonnen stabiliteitskern of wand. De vloeren worden onderling gekoppeld om zo schijfwerking te creëren wat de windbelasting overdraagt naar de betonnen kern.

### 3.7.2. Voor- en Nadelen

Dit bouwsysteem is zeer snel in elkaar te zetten doordat alles prefab gemaakt wordt en de montage relatief simpel uit te voeren is.

Aangezien geen liggers gebruikt worden met dit systeem zijn de overspanningen die gehaald kan worden door de vloer gering. Dit resulteert in een dicht kolommen rooster wat beperkingen geeft met de ruimte indeling van het gebouw.



## 4. Conclusie

Bij houtverbindingen kan gebruik worden gemaakt van bijvoorbeeld spijkers, schroeven, deuvels en buizen. Wanneer houtverbindingen met grote krachten gefabriceerd worden valt het op, wat tevens op te maken valt uit de besproken verbindingen onder 4.2., dat er geen gebruik wordt gemaakt van spijkers en schroeven. Voor sterke industriële verbindingen wordt gebruik gemaakt van deuvels en buizen.

Verbinding 1 is zeer geschikt voor de doorkoppeling van kolommen en aankoppeling van liggers, de doorsnede van de kolom blijft volledig intact wat belangrijk is voor de opneembare normaalkracht van de kolom. Doordat het staalement zich niet in het hout bevindt is de verbinding niet goed bestand tegen brand waarvoor verdere maatregelen genomen moeten worden.

Verbinding 2 is tevens zeer geschikt, een groot voordeel is de brandwerendheid van de verbinding doordat de staalplaten in de ligger worden aangebracht. Hiernaast is het voordelig dat de kolommen eventueel door kunnen lopen over meerdere verdiepingen. De verbinding in de huidige vorm is echter wel moment vast en niet goed toepasbaar in combinatie met een betonnen stabiliserende kern.

Uit verbinding 3 en 4 valt te leren dat beton ook een mogelijkheid is voor de doorkoppeling van kolommen en aankoppeling met liggers. Met beton kunnen eventueel moment vaste verbindingen worden gerealiseerd. Hierbij geeft beton ook meer gewicht aan de constructie wat voordelen kan bieden wanneer de constructie te licht blijkt te zijn en trek op treed in de kolommen.

Hiernaast kunnen we eruit leren dat het zeer goed mogelijk is verankeringen in het hout te lamineren.

Verbinding 5 lijkt op verbinding 2. De doorkoppeling van de kolommen is niet geheel duidelijk, echter de verbinding met de liggers is in dit geval scharnierend wat de verbinding goed toepasbaar maakt in combinatie met de betonnen kern in het ontwerp.

Verbinding 6 komt op hetzelfde principe neer als verbinding 2. Echter zit bij deze verbinding het scharnierpunt buiten de kolom. Dit maakt deze verbinding gevoeliger tijdens brand. Hiernaast wordt de krachtafdracht naar de kolom over meerdere bouten verspreid in tegenstelling tot verbinding 2.

Verbindingen die niet meer behandeld worden in het verslag zijn:

- Verbinding 2, aangezien deze verbinding niet onder een hoek anders dan loodrecht op de kolom aangesloten kan worden
- Verbinding 3, Omdat hierbij liggers van beton gebruikt moeten worden
- Verbinding 4, Omdat hierbij liggers van beton gebruikt moeten worden.
- Verbinding 7, Omdat de overspanning te gering is voor een gebouw met een kantorfunctie

## Bibliografie

Berkmortel, J. v. (2009). *Hoogbouwsysteem in Hout*. Eindhoven: Technische Universiteit Eindhoven.

*Cree Building the Natural Change*. (2016, september 20). Opgehaald van <http://www.creebyrhomborg.com/en/technology/>

Hubert, R. (sd). *LifeCycle Tower - The Natural Change in Urban Architecture*. Austria.

Kolb, J. (2008). *Systems in Timber Engineering*. Birkhäuser Architecture.

Malo, K., Abrahamsen, R., & Bjertnaes, M. (2016). Some structural design issues of the 14 storey timber framed building "Treet" in Norway. *European Journal of Wood and Wood Products*, 407-424.

*Naturally:wood*. (2016, September 27). Opgehaald van <http://www.naturallywood.com/emerging-trends/tall-wood/ubc-brock-commons>

Skidmore, Owings & Merrill LLP. (2013). *Timber Tower Research Project*. Chicago .

## BIJLAGE 3

Afbeeldingen ontwerp varianten kolom-ligger  
verbinding

### OPDRACHTGEVER

**Arcadis**

Afdeling gebouwen

Lichtenauerlaan 100  
3062 ME Rotterdam

Begeleider:

Gerard van engelen

Senior Specialist Structural Engineering

### LEERINSTELLING

**Hogeschool Rotterdam**

Opleiding Civiele Techniek

G.J. de Jonghweg 4-6  
3015GG Rotterdam

Begeleider:

Sven van Rosmalen

### AFSTUDEERDERS

Roel Majoor

Maarten Schoen

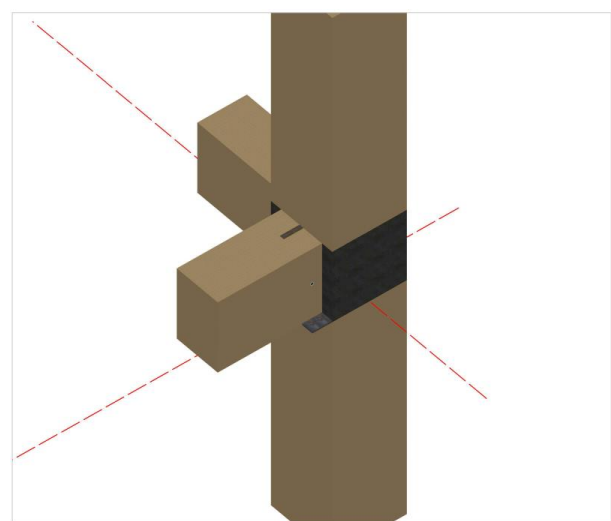
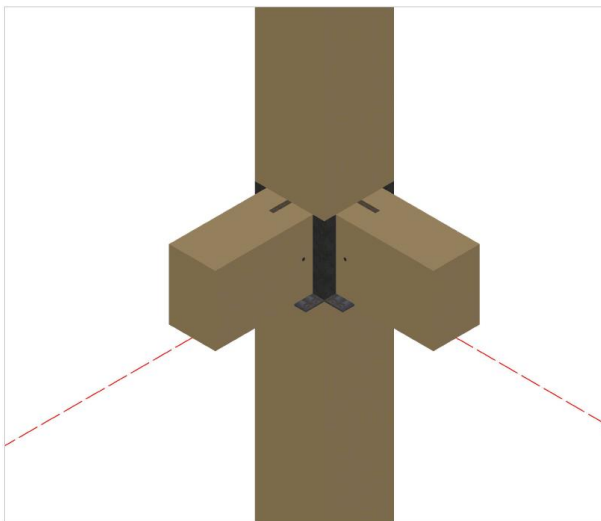
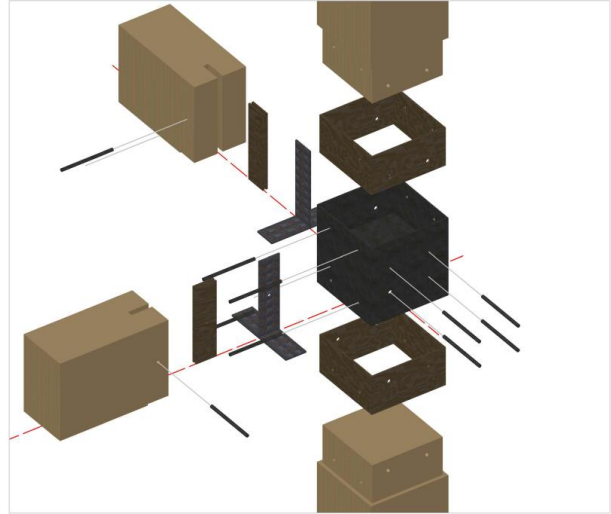
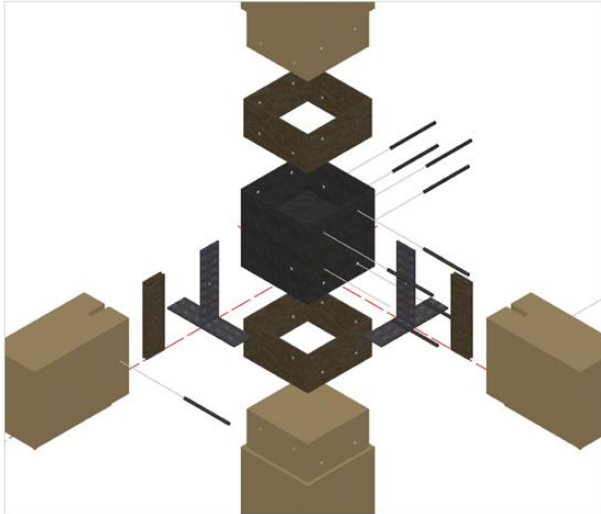
Gerard van Engelen:

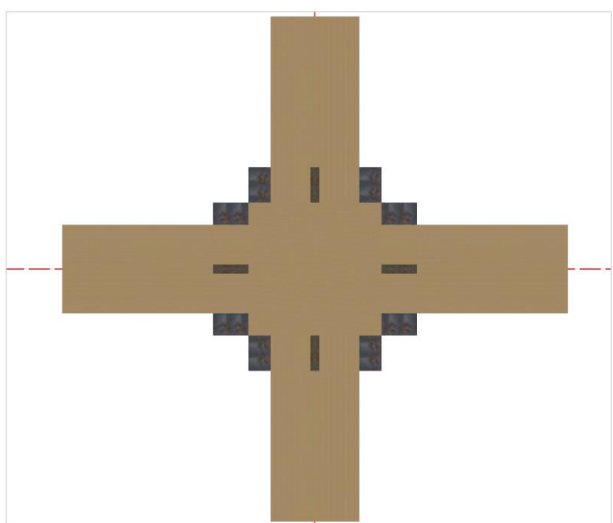
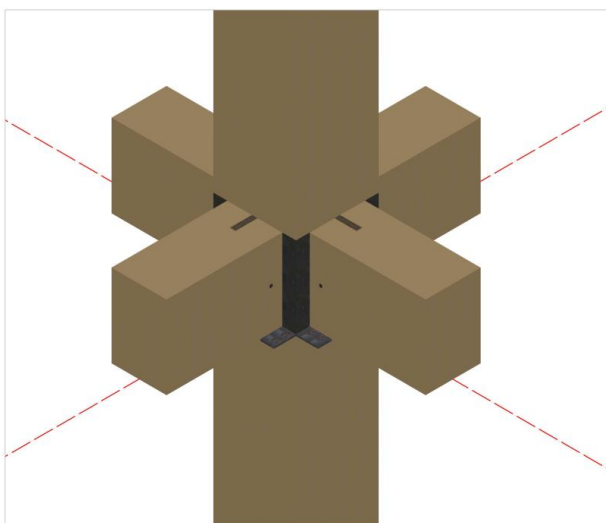
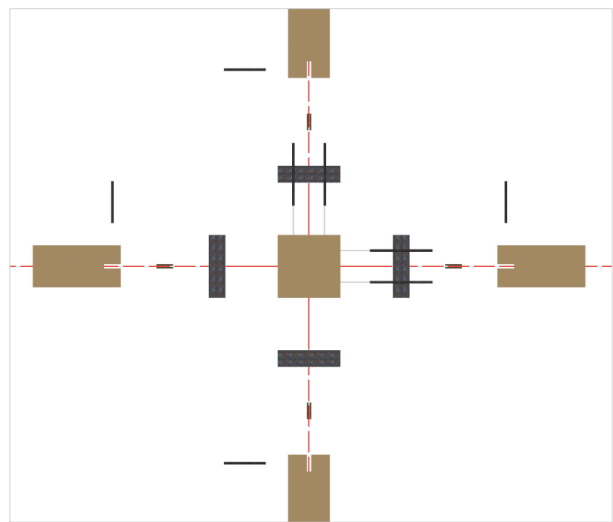
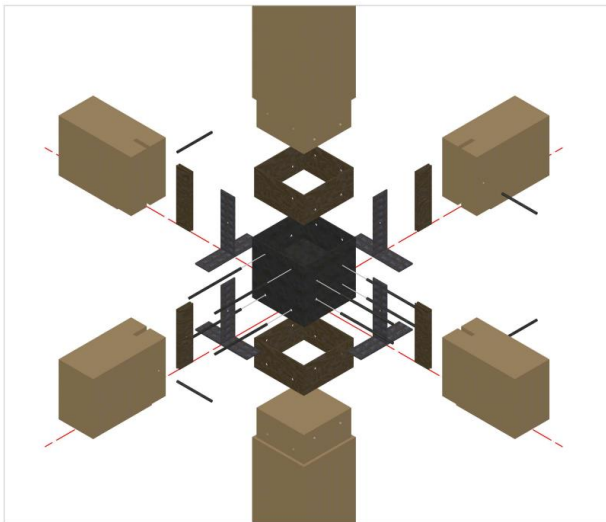
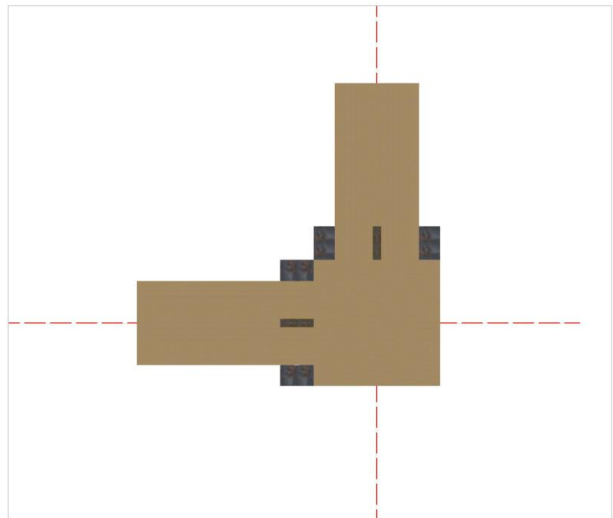
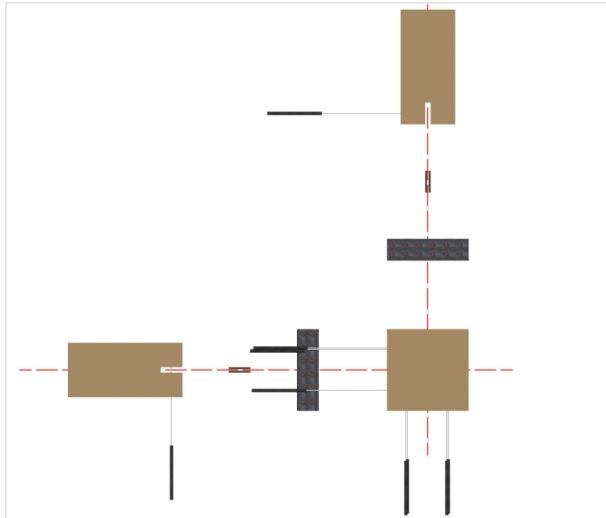
.....

## 1. Inleiding

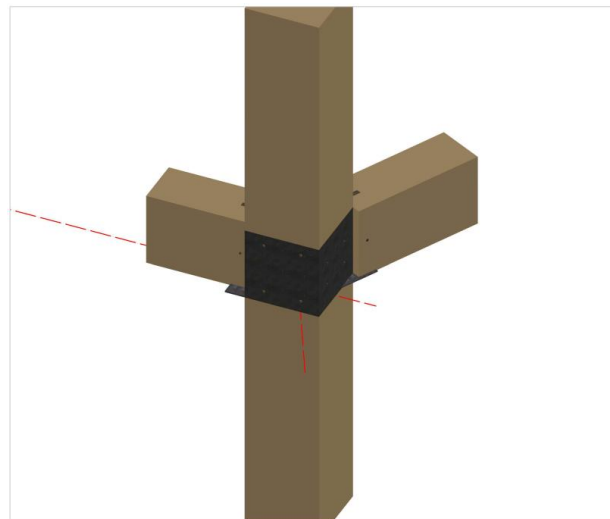
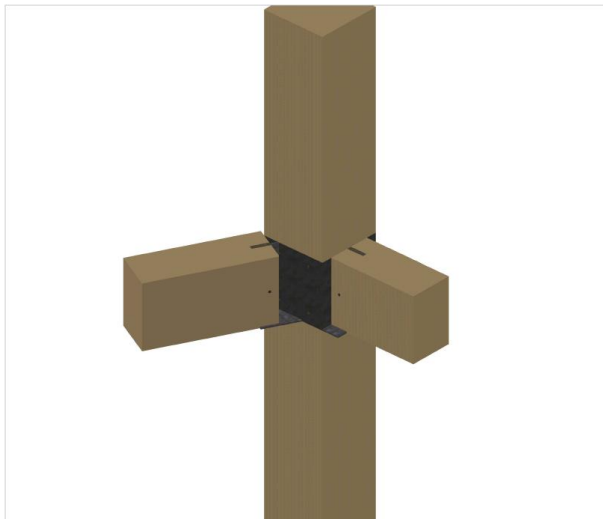
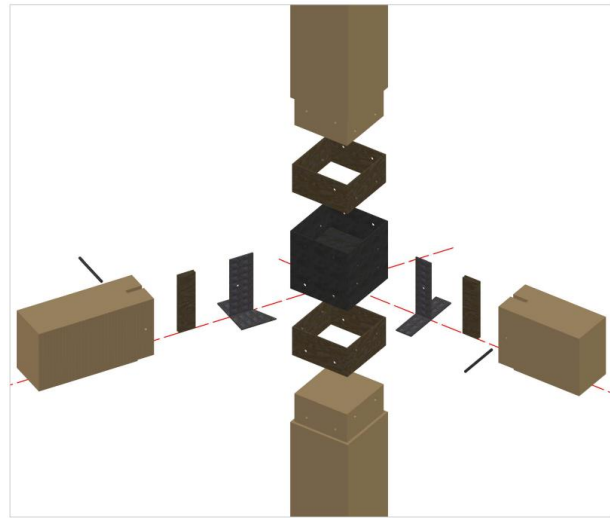
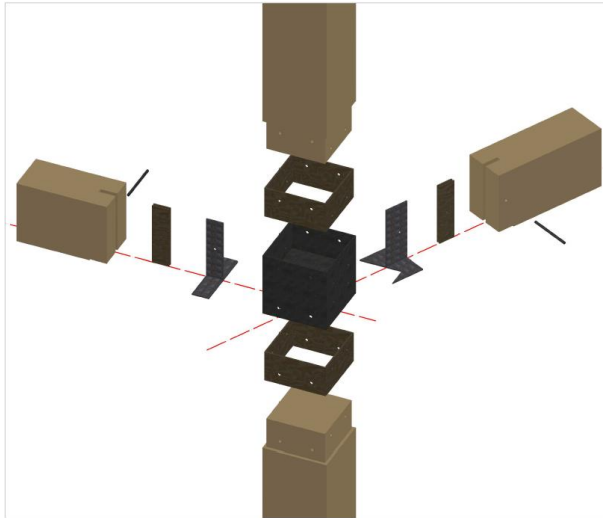
## 2. Variant 1

### 2.1. Verbinding onder 90 graden

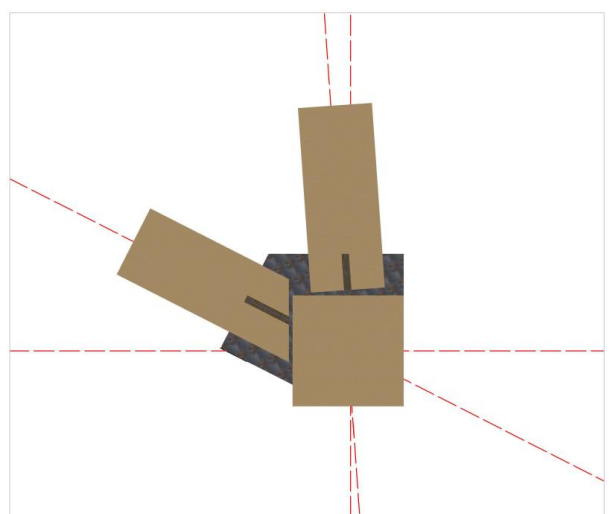
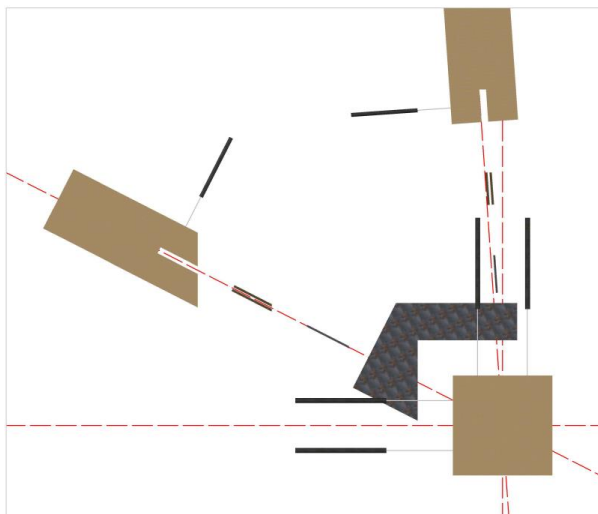
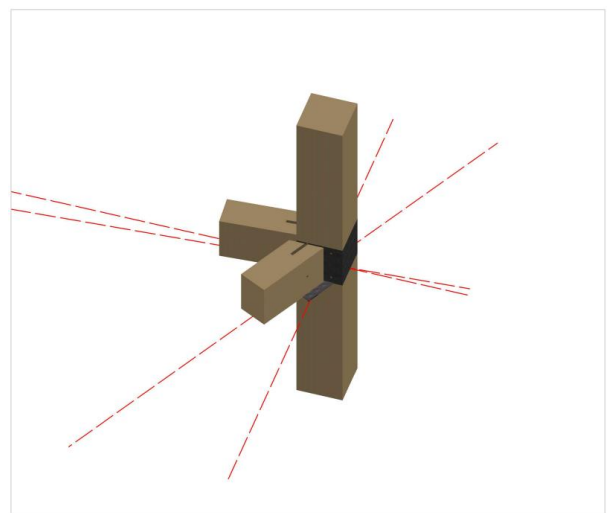
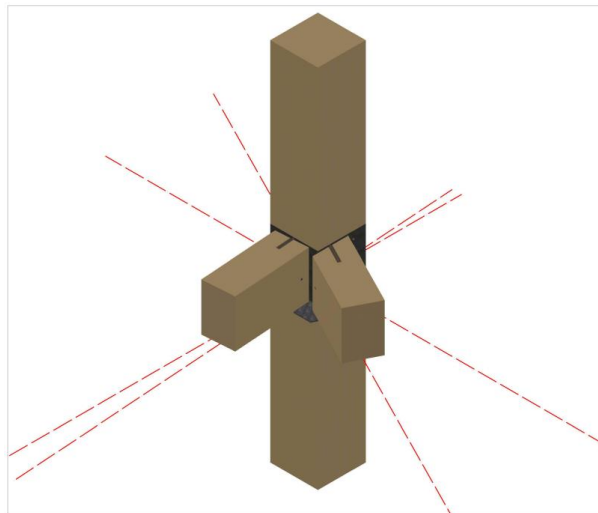
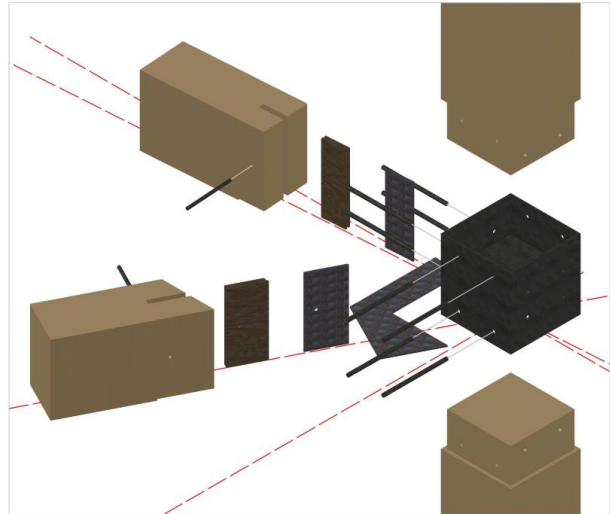
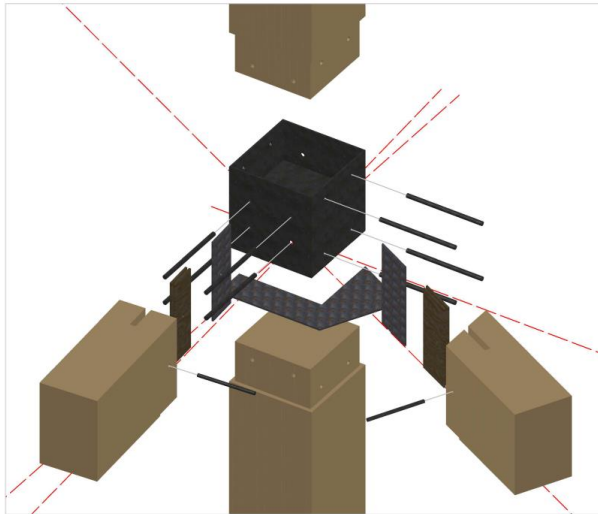




## 2.2. Verbinding onder 117 graden

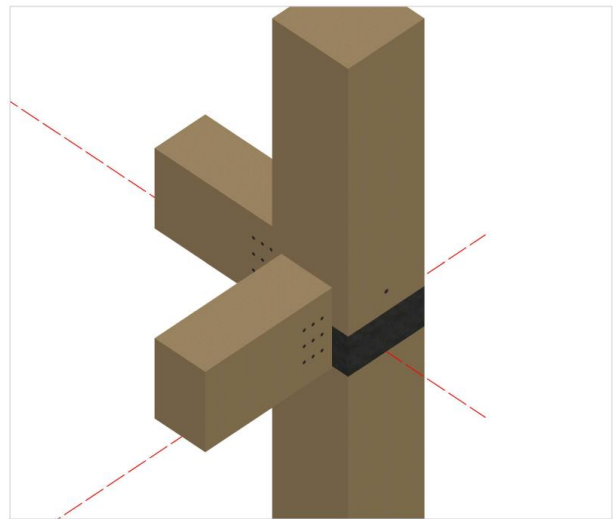
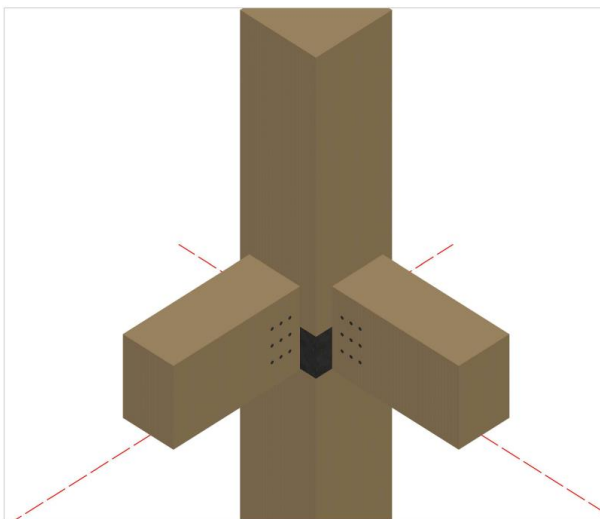
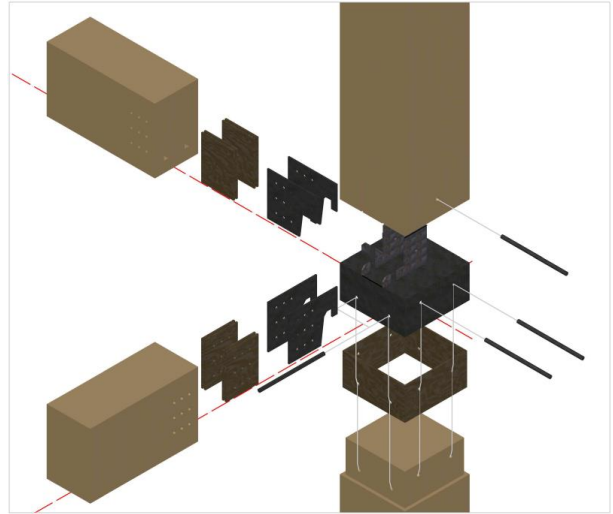
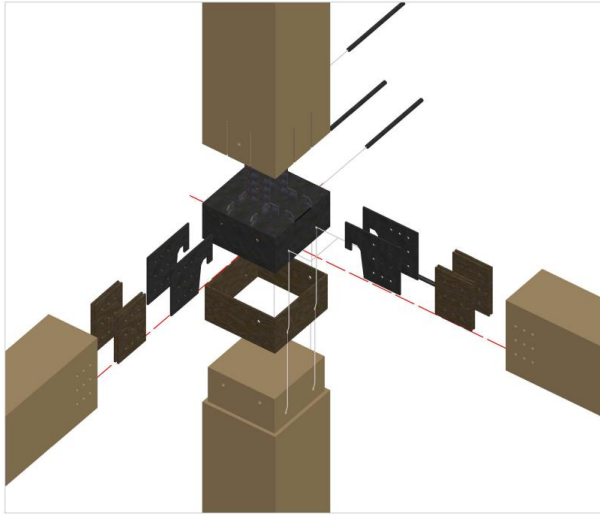


### 2.3. 59 graden

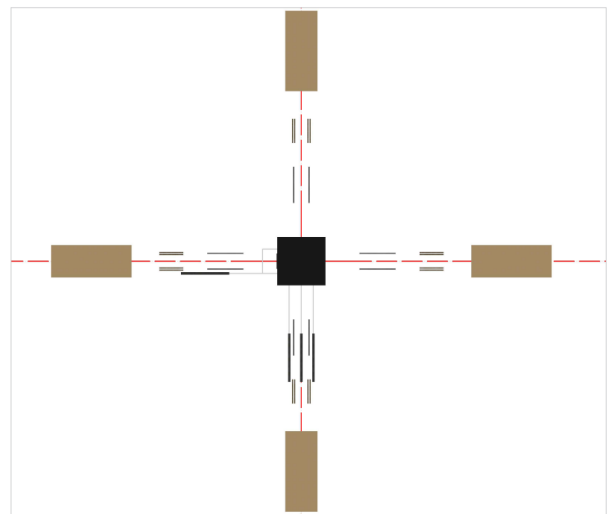
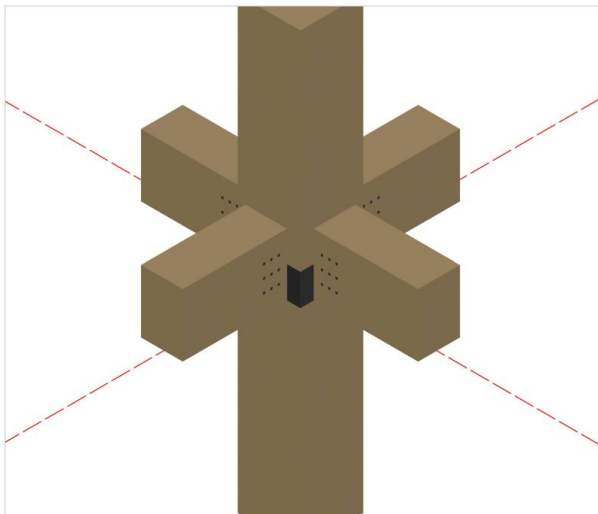
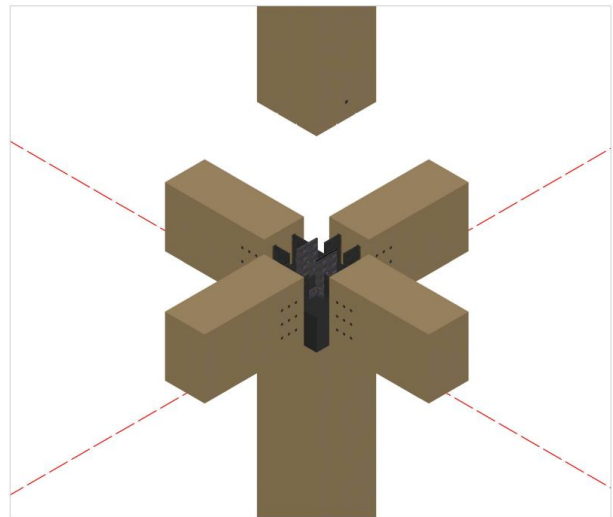
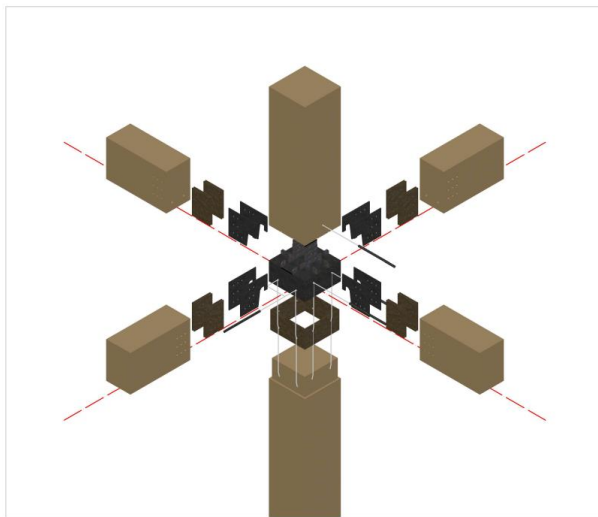
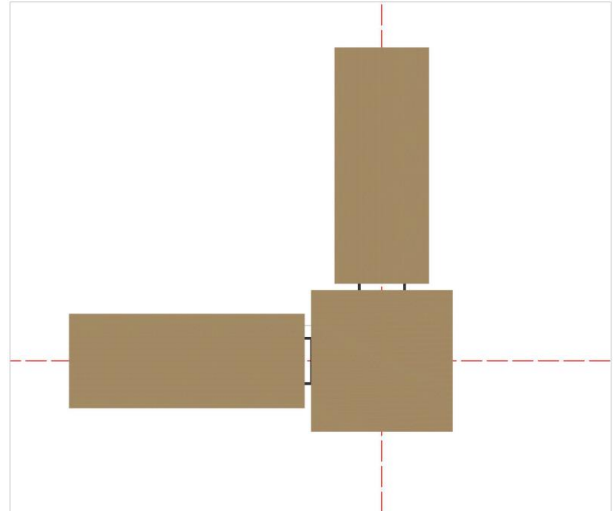
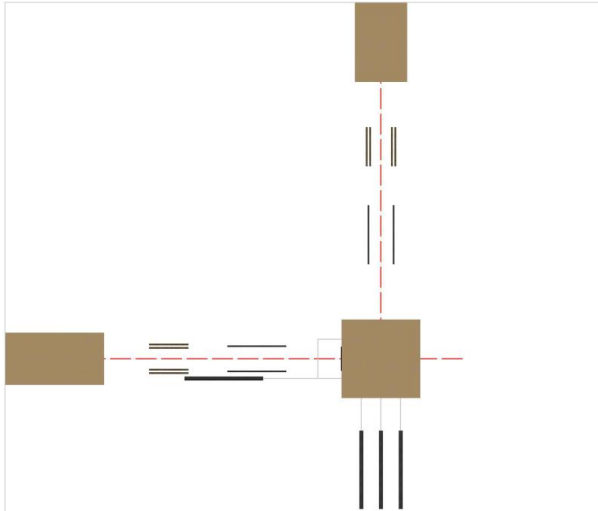


### 3. Variant 2

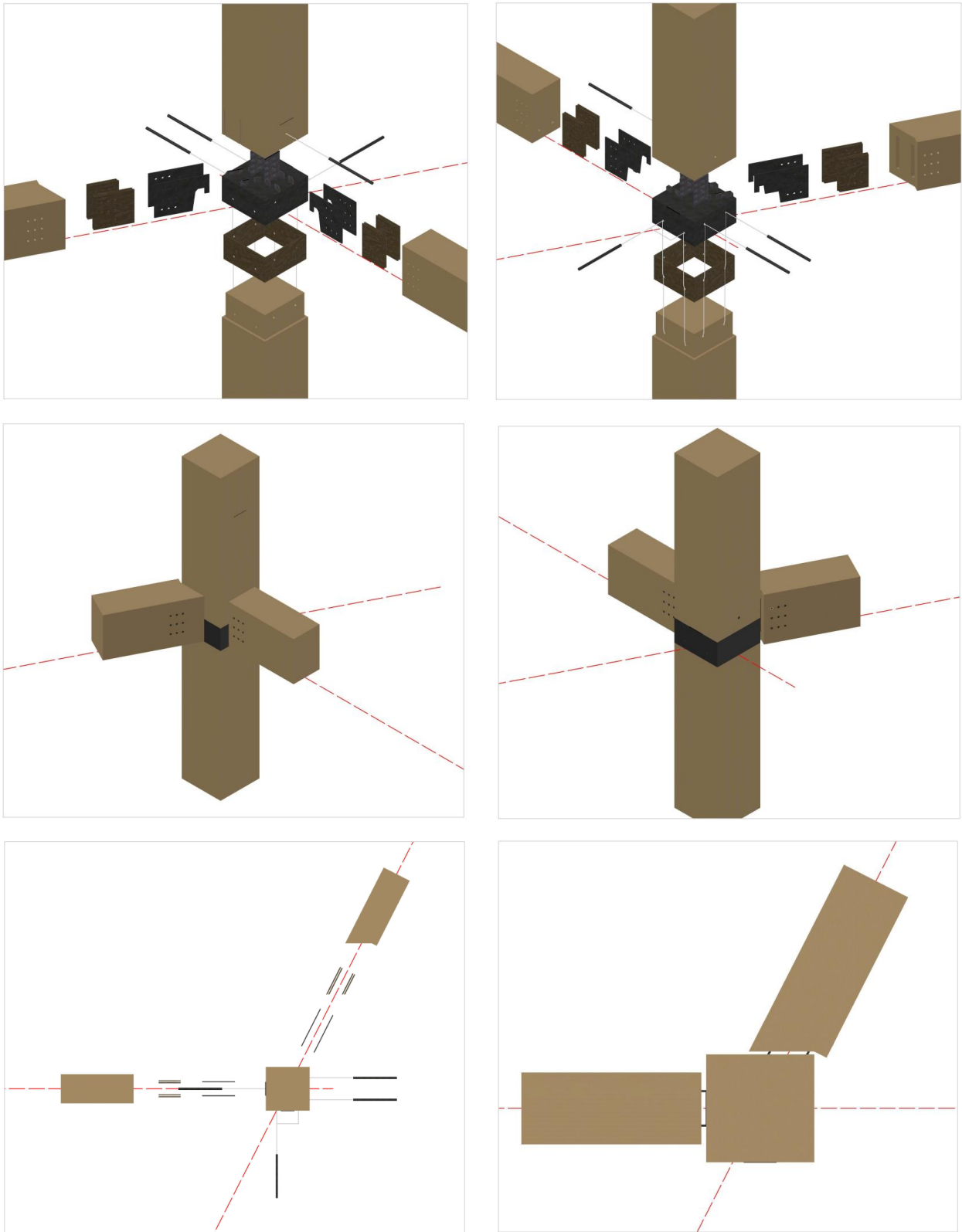
#### 3.1. Verbinding onder 90 graden



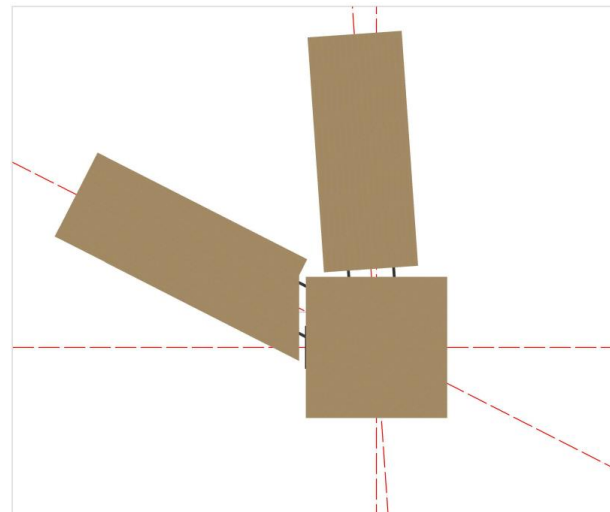
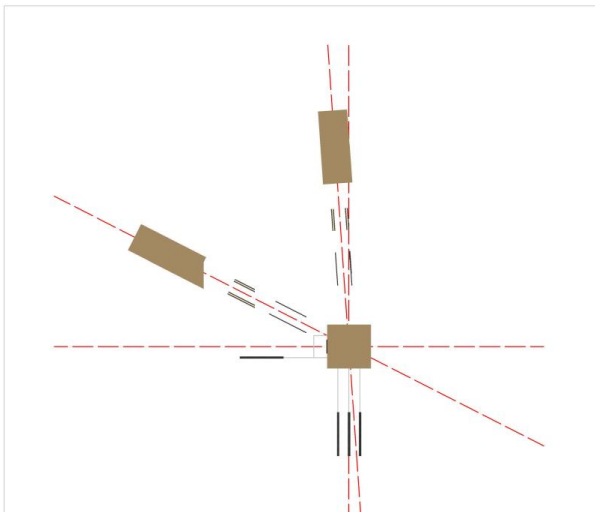
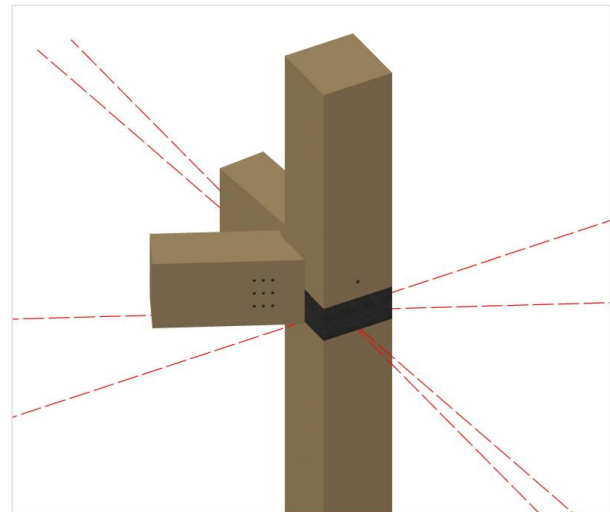
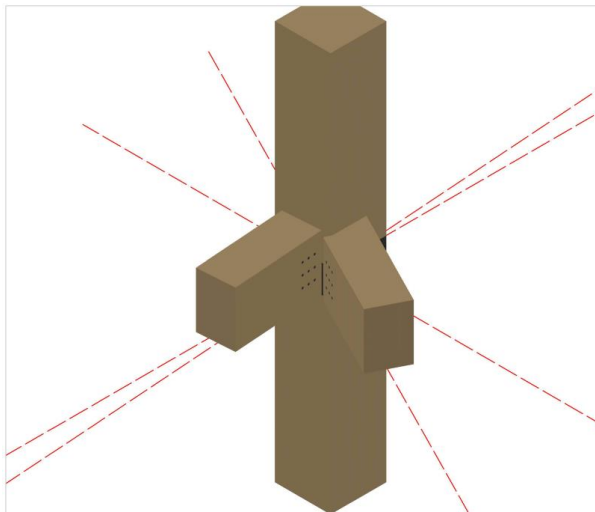
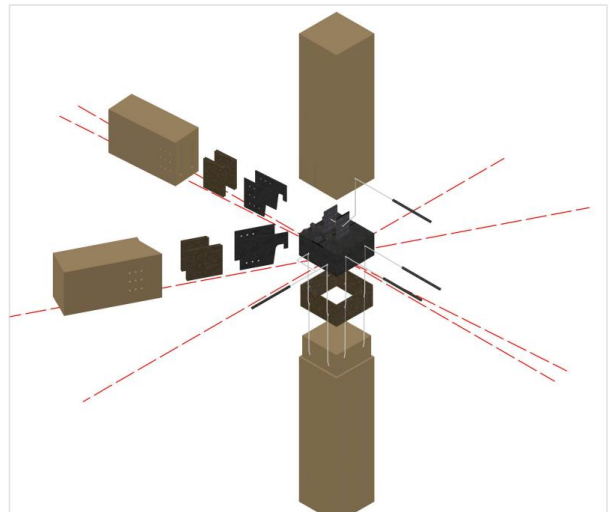
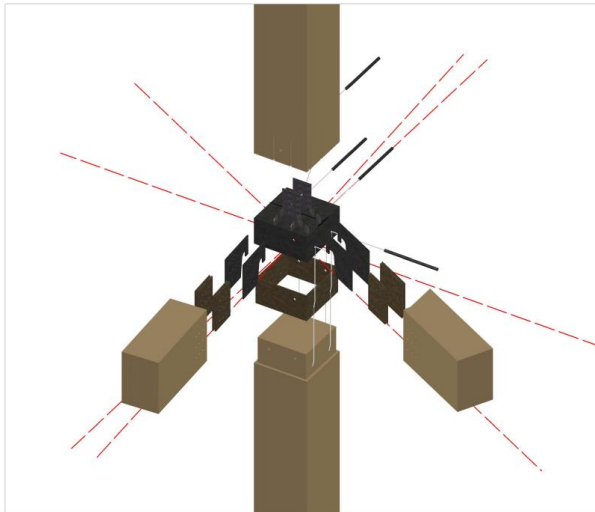




### 3.2. Verbinding onder 117 graden



### 3.3. 59 graden



## BIJLAGE 4

Uitgebreid overzicht met uitkomsten

### OPDRACHTGEVER

**Arcadis**

Afdeling gebouwen

Lichtenauerlaan 100

3062 ME Rotterdam

Begeleider:

Gerard van engelen

Senior Specialist Structural Engineering

### LEERINSTELLING

**Hogeschool Rotterdam**

Opleiding Civiele Techniek

G.J. de Jonghweg 4-6

3015GG Rotterdam

Begeleider:

Sven van Rosmalen

### AFSTUDEERDERS

Roel Majoor

Maarten Schoen

Gerard van Engelen:

.....

# Inhoud

|        |                                                            |    |
|--------|------------------------------------------------------------|----|
| 1.     | Inleiding.....                                             | 2  |
| 2.     | Resultaten analyse excel.....                              | 3  |
| 2.1    | Verandering van het aantal deuvelds in een rij .....       | 3  |
| 2.1.1. | Parallel aan de vezelrichting .....                        | 3  |
| 2.1.2. | Loodrecht op de vezelrichting .....                        | 4  |
| 2.1.3. | Invloed van tussenafstand $a_1$ .....                      | 5  |
| 2.2.   | 1 staalplaat in de ligger .....                            | 7  |
| 2.2.1. | Verandering deuveldiameter .....                           | 7  |
| 2.2.2. | Verandering dikte staalplaat.....                          | 8  |
| 2.3.   | 2 staalplaten in de ligger.....                            | 9  |
| 2.3.1. | Verandering deuveldiameter .....                           | 9  |
| 2.3.2. | Verandering dikte staalplaat.....                          | 10 |
| 2.4.   | 3 staalplaten in de ligger.....                            | 13 |
| 2.4.1. | Verandering deuveldiameter .....                           | 13 |
| 2.4.2. | Verandering dikte staalplaat.....                          | 14 |
| 2.5.   | Vergelijking tussen 1,2 en 3 staalplaten in de ligger..... | 17 |
| 2.5.1. | Parallel aan de vezelrichting .....                        | 17 |
| 2.5.2. | Loodrecht op de vezelrichting.....                         | 18 |
| 2.6.   | Veranderen deuveldsterkte .....                            | 19 |
| 2.6.1. | Parallel aan de vezelrichting .....                        | 19 |

# 1. Inleiding

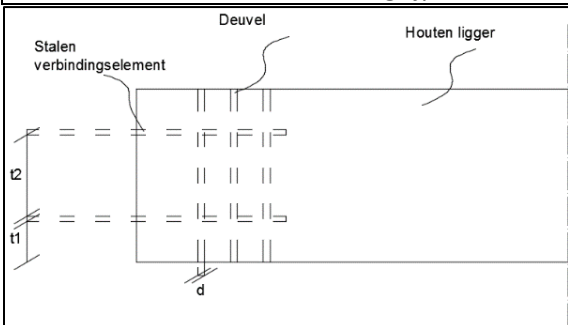
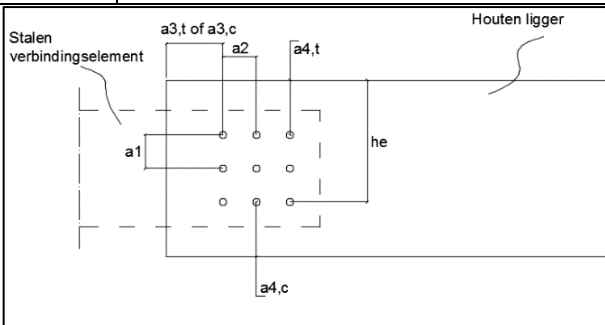
Om de verbinding te optimaliseren en aan de hand hiervan een ontwerp op te stellen is met excel berekend wat het veranderen van verschillende parameters voor invloed op de draagvermogen van de verbinding zijn. De parameters die bij dit onderzoek veranderd zijn staan hieronder weergegeven:

- Verandering van de diameter deuvel
- Verandering van de dikte van de staalplaat
- Verandering van het aantal staalplaten in de verbinding
- Verandering van het aantal deuvels in een rij
- Verandering deuvelsterkte

De verbinding wordt volgens de geldende Eurocode berekend:

**NEN-EN 1995-1-1+C1+A1:** Ontwerp en berekening van houtconstructies – Deel 1-1: Algemeen – Gemeenschappelijke regels en regels voor gebouwen

Tabel 1 - Parameters berekeningen deuvelverbinding

| Gelijkblijvende paramaters                                                                                                                                                                                                                                                                | Veranderlijke paramaters                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <u>Houtkwaliteit GL 30h</u><br>Elasticiteitsmodules, $F_{0,g,mean} = 13600 \text{ N/mm}$<br>Dichtheid, $\rho_{g,k} = 430 \text{ kg/m}^3$                                                                                                                                                  | <u>Houtkwaliteit GL 30h</u><br>$t_1, t_2, t_3$                                                                                                                   |
| <u>Materiaaleigenschappen staalplaat</u><br>Treksterkte staal, $f_{u,k} = 235 \text{ N/mm}^2$                                                                                                                                                                                             | <u>Materiaaleigenschappen staalplaat</u><br>Dikte staalplaat<br>Aantal staalplaten in de ligger                                                                  |
| <u>Materiaaleigenschappen van de deuvel</u><br>Tussenafstand 2 $a_2 = 60 \text{ mm}$<br>Eindafstand $a_{3,t} / a_{3,c} = 120 \text{ mm}$<br>Randafstand 1 $a_{4,t} = 80 \text{ mm}$<br>Randafstand 2 $a_{4,c} = 80 \text{ mm}$<br>Hoek waaronder de kracht aangrijpt, $\alpha = 90^\circ$ | <u>Materiaaleigenschappen van de deuvel</u><br>Diameter deuvel $d$<br>Tussenafstand 1 $a_1$<br>Aantal rijen $n$<br>Aantal kolommen $m$<br>Treksterkte, $f_{u,k}$ |
|                                                                                                                                                                                                        |                                                                              |

## 2. Resultaten analyse excel

### 2.1 Verandering van het aantal deuvels in een rij

Tabel 2 - Gelijkblijvende parameters

|                              |         |
|------------------------------|---------|
| t <sub>1</sub>               | 93,5 mm |
| t <sub>2</sub>               | 187 mm  |
| Dikte staalplaat             | 12 mm   |
| Aantal staalplaten           | 2       |
| Tussenafstand a <sub>1</sub> | 80 mm   |
| Aantal rijen deuvels         | 1       |

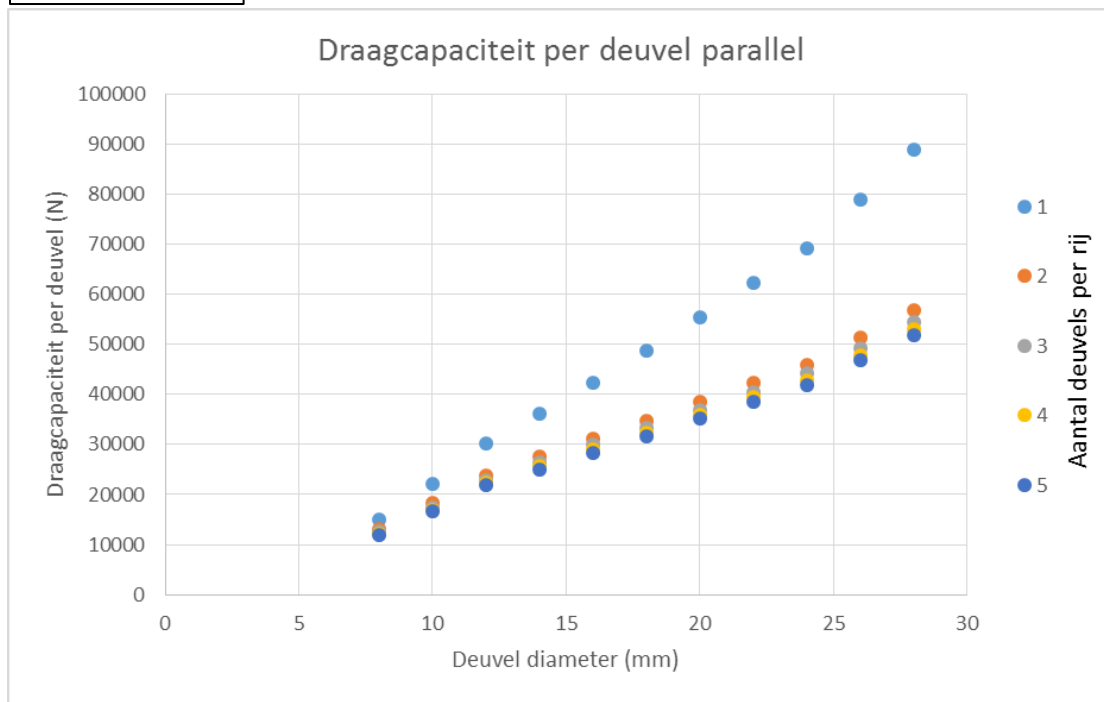
Tabel 3 - Variabele parameters

|                        |         |
|------------------------|---------|
| Deuvel diameter        | 8-28 mm |
| Aantal deuvels per rij | 1-5     |

#### 2.1.1. Parallel aan de vezelrichting

Bij een toename van het aantal deuvels in een rij neemt de draagcapaciteit van de gehele verbinding onevenredig toe. Dit houdt in dat de draagcapaciteit per deuvel verminderd, wanneer meerdere deuvels in een rij toegepast worden. In figuur 1 is de verminderde draagcapaciteit per deuvel te zien voor 1 tot en met 5 deuvels in een rij. Wat opvalt is dat het verschil in draagcapaciteit tussen 1 deuvel per rij en meerdere deuvels in een rij aanzienlijk is. Dit komt, omdat er pas vanaf 2 deuvels in een rij een reductiefactor meegenomen wordt met de berekening die in eerste instantie de draagcapaciteit per deuvel aanzienlijk doet verminderen. Bij het toepassen van meer dan 2 deuvels in een rij neemt de draagcapaciteit per deuvel in kleine stapjes af.

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right.$$



Figuur 1 - Draagcapaciteit per deuvel parallel aan de vezelrichting voor een verschillend aantal deuvels in een rij en deuveldiameters

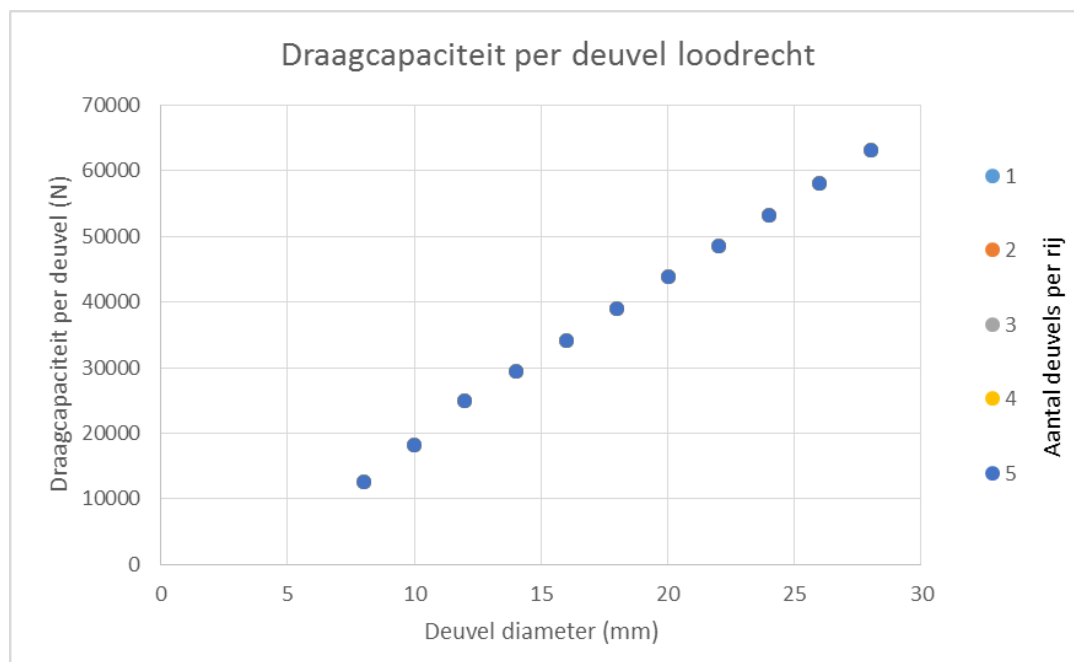
Tabel 4 - Resultaten draagcapaciteit deuvel

| Draagcapaciteit per deuvel rekenwaarde parallel |                        |          |            |           |          |
|-------------------------------------------------|------------------------|----------|------------|-----------|----------|
|                                                 | Nr. deuvels in een rij |          |            |           |          |
|                                                 | 1                      | 2        | 3          | 4         | 5        |
| Deuvel diameter                                 |                        |          |            |           |          |
| 8                                               | 14914,95               | 13032,77 | 12514,8067 | 12159,908 | 11891,57 |
| 10                                              | 22043,85               | 18216,76 | 17492,91   | 16996,838 | 16621,77 |
| 12                                              | 30264,52               | 23895,84 | 22946,32   | 22295,6   | 21803,6  |
| 14                                              | 36181,89               | 27487,99 | 26395,74   | 25647,2   | 25081,24 |
| 16                                              | 42359,67               | 31124,78 | 29888,0167 | 29040,45  | 28399,6  |
| 18                                              | 48777,34               | 34800,35 | 33417,5333 | 32469,875 | 31753,36 |
| 20                                              | 55413,5                | 38507,19 | 36977,0667 | 35928,475 | 35135,64 |
| 22                                              | 62246,18               | 42236,77 | 40558,4667 | 39408,3   | 38538,66 |
| 24                                              | 69252,95               | 45980,02 | 44152,9667 | 42900,875 | 41954,16 |
| 26                                              | 78925,82               | 51364,05 | 49323,1    | 47924,375 | 46866,82 |
| 28                                              | 88961,47               | 56832,4  | 54574,1333 | 53026,525 | 51856,36 |

### 2.1.2. Loodrecht op de vezelrichting

Bij een toename van het aantal deuvels in een rij neemt de draagcapaciteit van de gehele verbinding evenredig toe. Dit houdt in dat de draagcapaciteit per deuvel hetzelfde blijft, wanneer meerdere deuvels in een rij toegepast worden. In figuur 2 is de gelijkblijvende draagcapaciteit per deuvel te zien voor 1 tot en met 5 deuvels in een rij. Dit is af te leiden uit het feit dat bij de berekening van de eurocode  $N_{ef}$  gelijk gesteld wordt aan  $n$  voor de richting loodrecht op de vezel.

$$n_{ef} = n$$



Figuur 2 - Draagcapaciteit per deuvel loodrecht op de vezelrichting voor een verschillend aantal deuvels in een rij en deuveldiameters



Tabel 5 - Resultaten draagcapaciteit per deuvel

| Draagcapaciteit per rij deuvels rekenwaarde loodrecht |                        |          |            |           |          |
|-------------------------------------------------------|------------------------|----------|------------|-----------|----------|
|                                                       | Nr. deuvels in een rij |          |            |           |          |
|                                                       | 1                      | 2        | 3          | 4         | 5        |
| Deuvel diameter                                       |                        |          |            |           |          |
| 8                                                     | 12516,36               | 12516,36 | 12516,3567 | 12516,358 | 12516,36 |
| 10                                                    | 18306,42               | 18306,43 | 18306,4233 | 18306,423 | 18306,42 |
| 12                                                    | 24877,28               | 24877,29 | 24877,2833 | 24877,285 | 24877,28 |
| 14                                                    | 29444,41               | 29444,41 | 29444,4    | 29444,405 | 29444,4  |
| 16                                                    | 34134,39               | 34134,4  | 34134,4    | 34134,4   | 34134,4  |
| 18                                                    | 38928,55               | 38928,57 | 38928,5667 | 38928,565 | 38928,56 |
| 20                                                    | 43808,22               | 43808,22 | 43808,22   | 43808,22  | 43808,22 |
| 22                                                    | 48493,36               | 48493,36 | 48493,3667 | 48493,35  | 48493,36 |
| 24                                                    | 53208,95               | 53208,95 | 53208,9333 | 53208,95  | 53208,94 |
| 26                                                    | 58095,81               | 58095,8  | 58095,8    | 58095,8   | 58095,8  |
| 28                                                    | 63134,26               | 63164,25 | 63164,2667 | 63164,25  | 63164,26 |

### 2.1.1.3. Invloed van tussenafstand $a_1$

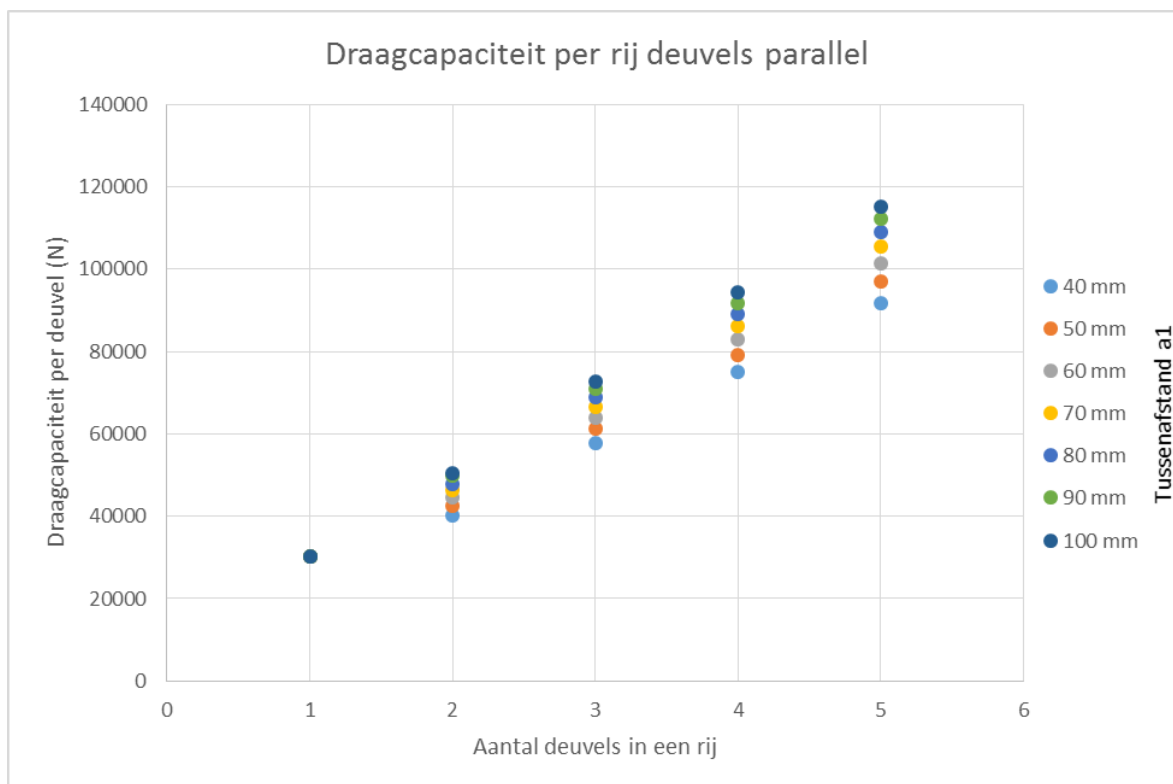
Tabel 6 - Gelijkblijvende parameters

|                      |         |
|----------------------|---------|
| $t_1$                | 93,5 mm |
| $t_2$                | 187 mm  |
| Dikte staalplaat     | 12 mm   |
| Aantal staalplaten   | 2       |
| Deuvel diameter      | 12 mm   |
| Aantal rijen deuvels | 1       |

Tabel 7 - Variabele parameters

|                        |           |
|------------------------|-----------|
| Tussenafstand $a_1$    | 40-100 mm |
| Aantal deuvels per rij | 1-5       |

Het vergroten van de tussenafstand parallel aan de vezel resulteert in een grotere draagcapaciteit van de rij deuvels. In figuur 3 is de toename van de draagcapaciteit te zien bij een toename van de tussenafstand  $a_1$ . Uit de grafiek blijkt dat de draagcapaciteit van de verbinding met kleine hoeveelheden toeneemt bij het vergroten van de tussenafstand. Om de kleinste totale rij lengte te verkrijgen is het toepassen van deuvels met een kleine tussenafstand voordeliger. Dit blijkt bijvoorbeeld uit het feit dat een verbinding van 3 deuvels met een tussenafstand van 40mm een grotere capaciteit heeft dan een verbinding van 2 deuvels met een tussenafstand van 80mm. De totale rijlengte is hetzelfde maar de verbinding met de kleine tussenafstand is sterker.



Figuur 3 - Draagcapaciteit per rij deuvelds parallel aan de vezelrichting voor een verschillende tussenafstand  $a_1$  en aantal deuvelds in een rij

Tabel 8 – Resultaten draagcapaciteit per rij deuvelds

| Draagcapaciteit per rij deuvelds rekenwaarde parallel |                     |         |          |          |         |          |          |
|-------------------------------------------------------|---------------------|---------|----------|----------|---------|----------|----------|
|                                                       | Tussenafstand $a_1$ |         |          |          |         |          |          |
|                                                       | 40 mm               | 50 mm   | 60 mm    | 70 mm    | 80 mm   | 90 mm    | 100 mm   |
| Aantal deuvelds in een rij                            |                     |         |          |          |         |          |          |
| 1                                                     | 30264,5             | 30264,5 | 30264,5  | 30264,5  | 30264,5 | 30264,5  | 30264,5  |
| 2                                                     | 40187,8             | 42493,5 | 44475,2  | 46222,6  | 47791,7 | 49754,6  | 50533,5  |
| 3                                                     | 57886,4             | 61207,5 | 64061,9  | 66578,9  | 68839   | 70896,1  | 72788,3  |
| 4                                                     | 74993,2             | 79295,6 | 82993,6  | 86254,4  | 89182,4 | 91847,5  | 94298,9  |
| 5                                                     | 91672,8             | 96932,2 | 101452,7 | 105438,7 | 109018  | 112275,8 | 115272,5 |

## 2.2. 1 staalplaat in de ligger

Tabel 9 - Gelijkblijvende parameters

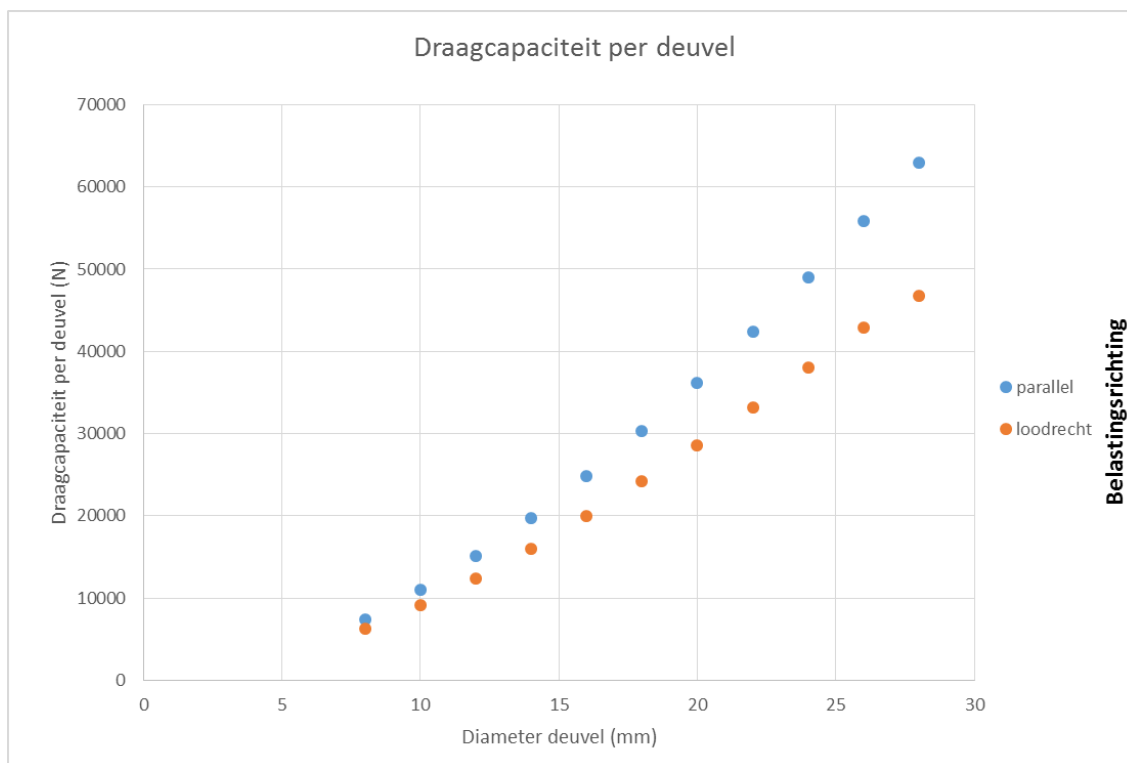
|                        |        |
|------------------------|--------|
| $t_1$                  | 193 mm |
| Dikte staalplaat       | 12 mm  |
| Aantal staalplaten     | 1      |
| Aantal rijen deuvels   | 1      |
| Aantal deuvels per rij | 1      |

Tabel 10 - Variabele parameters

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Diameter deuvel | 8-28 mm |
|-----------------|---------|

### 2.2.1. Verandering deuvel diameter

Het vergroten van de deuvel diameter resulteert in een groei van de draagcapaciteit per deuvel die steiler loopt dan een lineaire functie. In figuur 4 is te zien dat bij de diameter van 26mm een kleine knik zit bij de draagcapaciteit per deuvel loodrecht op de vezelrichting. Dit komt doordat het maatgevende bezwijkmechanisme veranderd van h naar g. Deze verandering van bezwijkmechanisme zal altijd als eerst optreden bij de richting loodrecht in de vezel, omdat de stuiksterkte in deze richting lager ligt. Hierdoor wordt het bezwijken van het hout door stuik eerder maatgevend ten opzichte van de richting parallel aan de vezel. Verder is uit de grafiek op te maken dat de totale draagcapaciteit per deuvel groter is in de richting parallel aan de vezel dan de richting loodrecht op de vezel. Echter kan bij een verbinding met meerdere deuvels in een rij toch de richting loodrecht op de vezel sterker zijn door de reductiefactor die toegepast wordt bij meerdere deuvels in een rij parallel aan de vezel.



Figuur 4 - Draagcapaciteit per deuvel parallel en loodrecht aan de vezelrichting voor verschillende deuvel diameters

Tabel 11 - Resultaten draagcapaciteit per deuvel

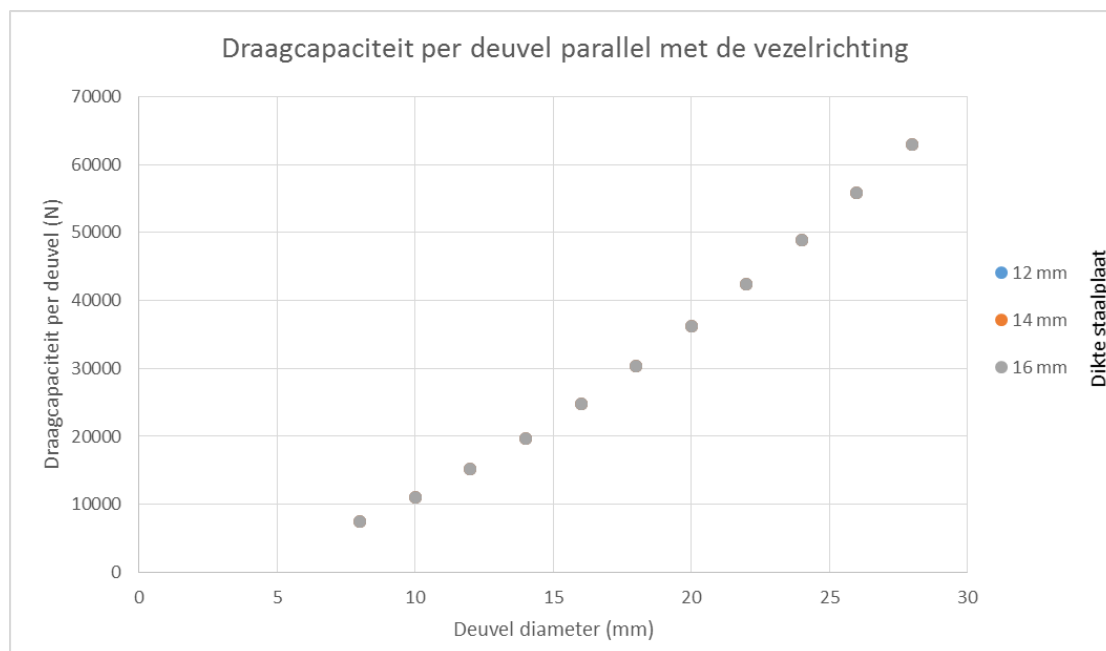
| Draagcapaciteit per deuvel |          |           |
|----------------------------|----------|-----------|
|                            | Richting |           |
|                            | parallel | loodrecht |
| Deuvel diameter            |          |           |
| 8                          | 7457,48  | 6258,18   |
| 10                         | 11021,93 | 9153,21   |
| 12                         | 15132,26 | 12438,64  |
| 14                         | 19743,13 | 16066,73  |
| 16                         | 24813,72 | 19995,46  |
| 18                         | 30306,35 | 24187,1   |
| 20                         | 36185,55 | 28607,19  |
| 22                         | 42417,43 | 33223,9   |
| 24                         | 48969,23 | 38007,49  |
| 26                         | 55808,99 | 42929,99  |
| 28                         | 62905,26 | 46793,06  |

## 2.2.2. Verandering dikte staalplaat

Tabel 12 - Variabele parameters

|                  |         |
|------------------|---------|
| Diameter deuvel  | 8-28 mm |
| Dikte staalplaat | 12-16   |

Het veranderen van de dikte van de staalplaat heeft geen invloed op de draagcapaciteit van de deuvelverbinding. Dit komt doordat de formule die gebruikt moet worden voor het berekenen van een hout-staal-hout verbinding niet afhankelijk is van de dikte van de staalplaat. Hierdoor moet er bij elke dikte dezelfde formule ingevuld worden, waarbij de dikte van het staalplaat niet in meegenomen is en dus de draagcapaciteit gelijk blijft. De dikte staalplaat zal echter wel getoetst moeten worden op bezwijken. Voor de richting loodrecht op de vezel geldt hetzelfde verhaal.



Figuur 5 - Draagcapaciteit per deuvel parallel aan de vezelrichting voor verschillende deuveldiameters en staalplaat diktes

Tabel 13 - Resultaten draagcapaciteit per deugel

| Draagcapaciteit per deugel<br>rekenwaarde parallel |                  |          |          |
|----------------------------------------------------|------------------|----------|----------|
|                                                    | Dikte staalplaat |          |          |
|                                                    | 12 mm            | 14 mm    | 16 mm    |
| Deugel diameter                                    |                  |          |          |
| 8                                                  | 7457,481         | 7457,481 | 7457,481 |
| 10                                                 | 11021,93         | 11021,93 | 11021,93 |
| 12                                                 | 15132,26         | 15132,26 | 15132,26 |
| 14                                                 | 19743,13         | 19743,13 | 19743,13 |
| 16                                                 | 24813,72         | 24813,72 | 24813,72 |
| 18                                                 | 30306,35         | 30306,35 | 30306,35 |
| 20                                                 | 36185,55         | 36185,55 | 36185,55 |
| 22                                                 | 42417,43         | 42417,43 | 42417,43 |
| 24                                                 | 48969,23         | 48969,23 | 48969,23 |
| 26                                                 | 55808,99         | 55808,99 | 55808,99 |
| 28                                                 | 62905,26         | 62905,26 | 62905,26 |

### 2.3. 2 staalplaten in de ligger

Tabel 14 - Gelijkblijvende parameters

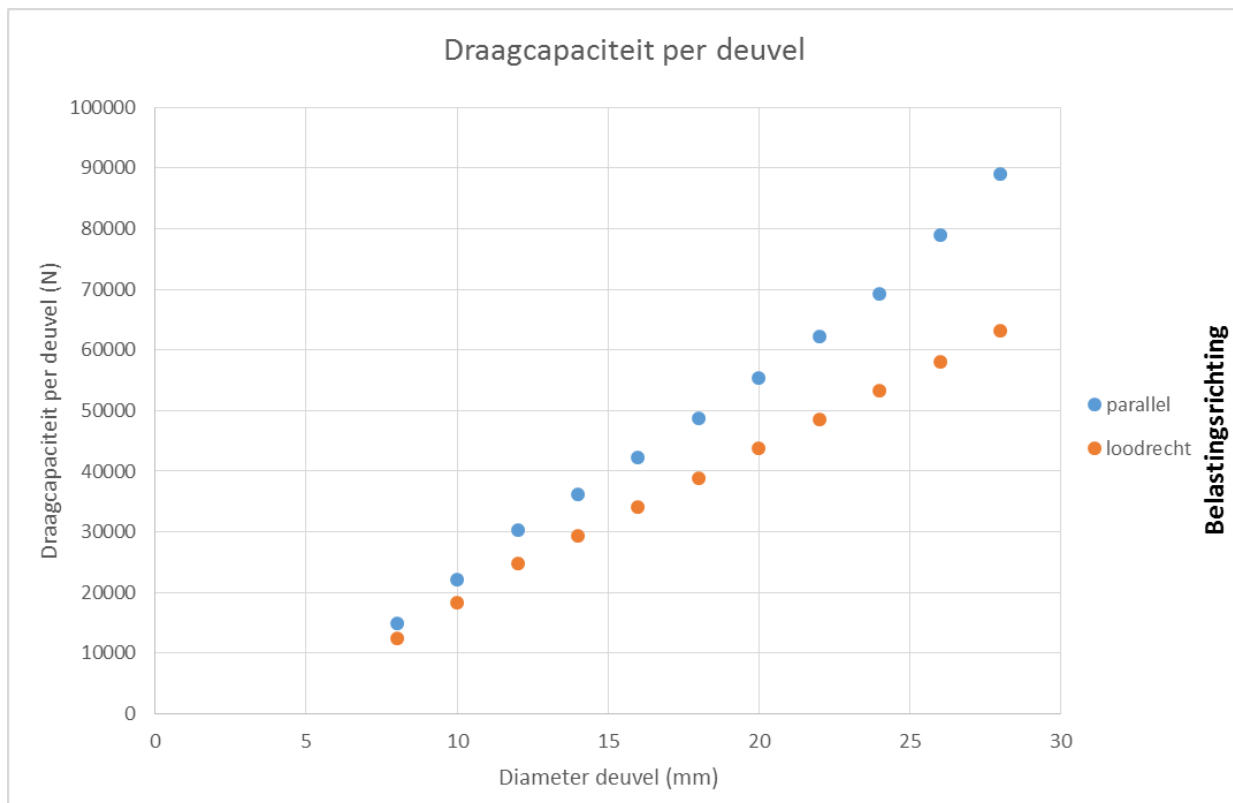
|                        |         |
|------------------------|---------|
| t <sub>1</sub>         | 93,5 mm |
| t <sub>2</sub>         | 187 mm  |
| Dikte staalplaat       | 12 mm   |
| Aantal staalplaten     | 2       |
| Aantal deugels per rij | 1       |
| Aantal rijen deugels   | 1       |

Tabel 15 - Variabele parameters

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Diameter deugel | 8-28 mm |
|-----------------|---------|

#### 2.3.1. Verandering deugeldiameter

De toename van de draagcapaciteit per deugel neemt minder gestaag toe dan bij een verbinding met een staalplaat in het midden. Bovendien zijn in figuur 6, 2 knikken te zien parallel aan de vezel en 1 knik loodrecht aan de vezel. Dit wordt veroorzaakt, doordat tijdens het toenemen van de deugeldiameter een verschuiving plaats vindt welk bezwijkmechanisme maatgevend is.



Figuur 6 - Draagcapaciteit per deuvel parallel en loodrecht aan de vezelrichting voor verschillende deuveldiameters

Tabel 16 - Resultaten draagcapaciteit per deuvel

| Draagcapaciteit per deuvel |          |           |
|----------------------------|----------|-----------|
|                            | Richting |           |
|                            | parallel | loodrecht |
| Deuvel diameter            |          |           |
| 8                          | 14914,95 | 12516,36  |
| 10                         | 22043,85 | 18306,42  |
| 12                         | 30264,52 | 24877,28  |
| 14                         | 36181,39 | 29444,41  |
| 16                         | 42359,67 | 34134,39  |
| 18                         | 48777,34 | 38928,55  |
| 20                         | 55413,5  | 43808,22  |
| 22                         | 62246,18 | 48493,36  |
| 24                         | 69252,95 | 53208,95  |
| 26                         | 78925,82 | 58095,81  |
| 28                         | 88961,47 | 63134,26  |

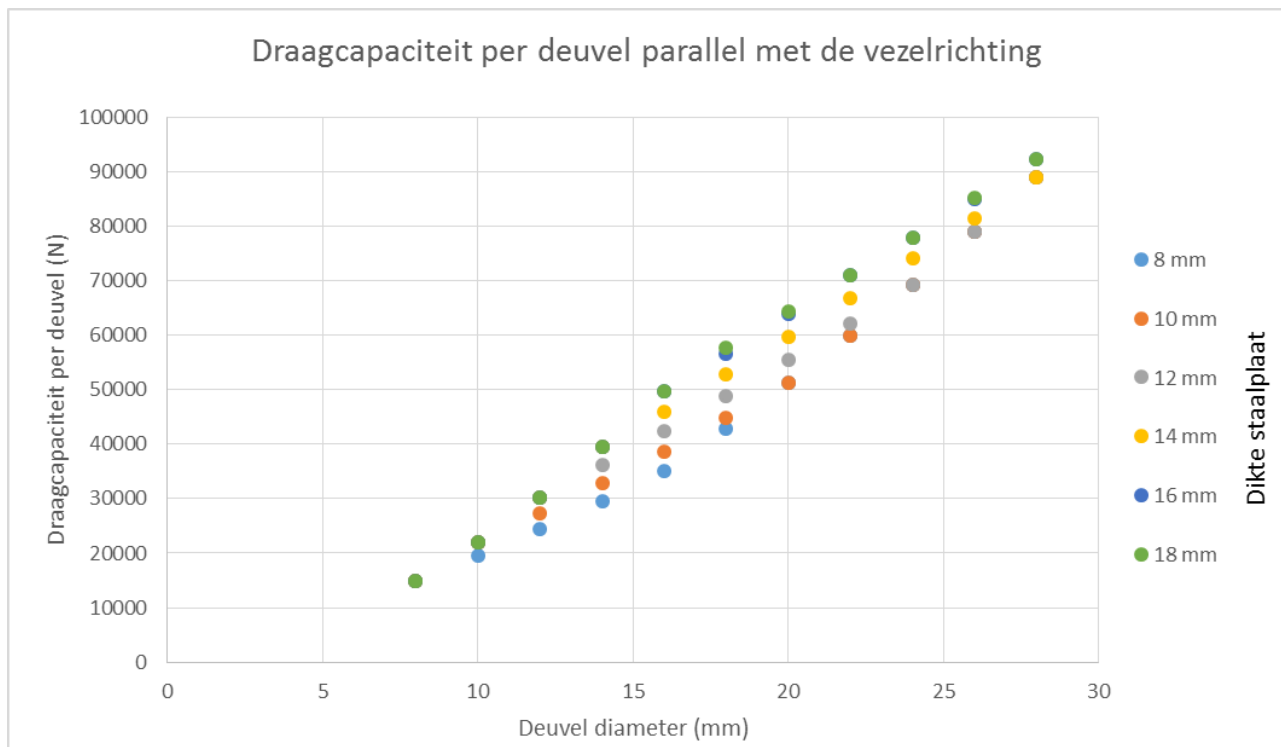
### 2.3.2. Veranderingering dikte staalplaat

Tabel 17 - Variabele parameters

|                  |         |
|------------------|---------|
| Dikte staalplaat | 8-18 mm |
| Diameter deuvel  | 8-28    |

### 2.3.2.1. Parallel aan de vezelrichting

Het veranderen van de dikte van de staalplaat heeft invloed op de draagcapaciteit van de verbinding. Bij het toepassen van dunne staalplaten ligt de draagcapaciteit van verbinding lager in vergelijking met dikke staalplaten. Dit komt, doordat een dunne staalplaat eerder de classificatie dik verlaat bij het toenemen van de deuvel diameter. Op het moment dat dit het geval is wordt de draagcapaciteit berekend door een interpolatie van formule k en m, waarvan de uitkomst lager ligt wanneer alleen formule m gebruikt wordt. Dit houdt in dat de maximale draagcapaciteit van een deuvelverbinding met 2 staalplaten wordt bereikt als de classificatie van de staalplaat dik is of bezwijkmechanisme g maatgevend is. Uit figuur 7 is op te maken welke dikte van het staalplaat minimaal gebruikt moet worden om de maximale draagcapaciteit te bereiken. Bij een dikte van iets boven de 16mm is het punt bereikt waarop voor elke deuvel diameter een maximale draagcapaciteit behaald wordt.



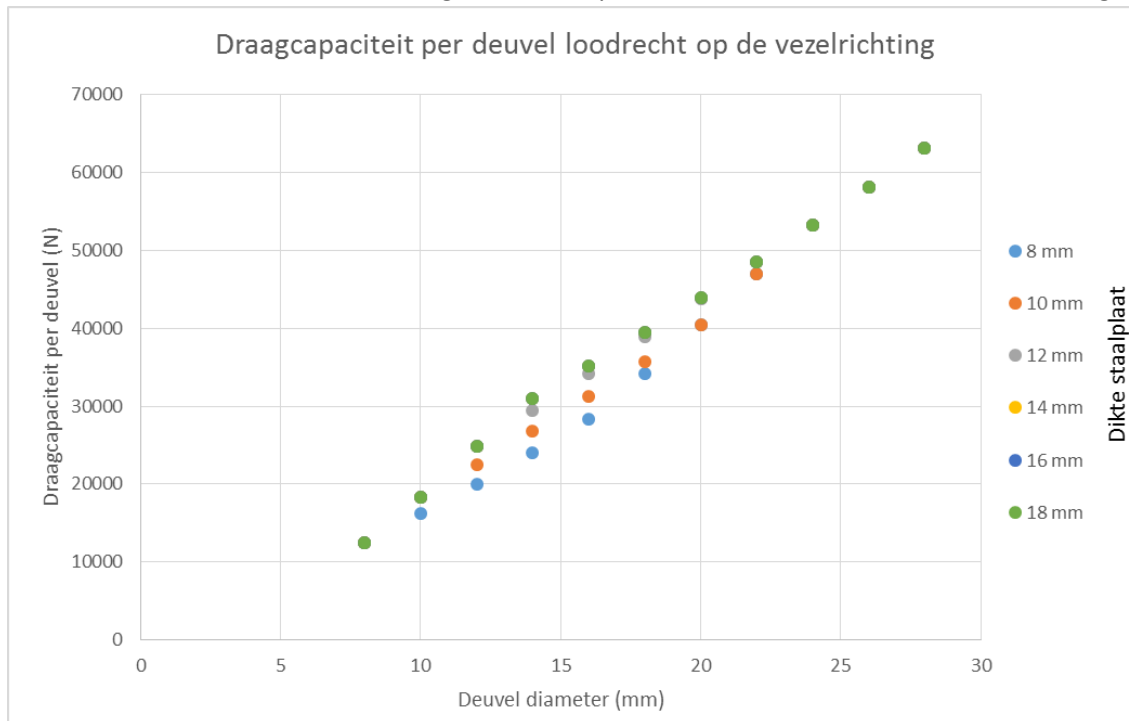
Figuur 7 - Draagcapaciteit per deuvel parallel aan de vezelrichting voor verschillende deuveldiameters en staalplaat diktes

Tabel 18 - Resultaten draagcapaciteit per deugel

| Draagcapaciteit per deugel rekenwaarde parallel |                  |          |          |          |          |          |
|-------------------------------------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                                 | Dikte staalplaat |          |          |          |          |          |
|                                                 | 8 mm             | 10 mm    | 12 mm    | 14 mm    | 16 mm    | 18 mm    |
| Deugel diameter                                 |                  |          |          |          |          |          |
| 8                                               | 14914,95         | 14914,95 | 14914,95 | 14914,95 | 14914,95 | 14914,95 |
| 10                                              | 19461,25         | 22043,85 | 22043,85 | 22043,85 | 22043,85 | 22043,85 |
| 12                                              | 24355,01         | 27309,76 | 30264,52 | 30264,52 | 30264,52 | 30264,52 |
| 14                                              | 29573,18         | 32877,54 | 36181,89 | 39486,3  | 39486,3  | 39486,25 |
| 16                                              | 35091,9          | 38725,78 | 42359,67 | 45993,55 | 49627,5  | 49627,44 |
| 18                                              | 42859,66         | 44832,22 | 48777,34 | 52722,46 | 56667,6  | 57625,14 |
| 20                                              | 51174,1          | 51174,1  | 55413,5  | 59652,9  | 63892,3  | 64267,4  |
| 22                                              | 59987,32         | 59987,32 | 62246,18 | 66763,91 | 71045,1  | 71045,14 |
| 24                                              | 69252,95         | 69252,95 | 69252,95 | 74033,87 | 77973,3  | 77973,28 |
| 26                                              | 78925,82         | 78925,82 | 78925,82 | 81440,61 | 85064,1  | 85095,81 |
| 28                                              | 88961,47         | 88961,47 | 88961,47 | 88961,47 | 92327,3  | 92327,32 |

### 2.3.2.2. Loodrecht op de vezelrichting

In de richting loodrecht op de vezelrichting treedt hetzelfde effect bij het verdikken van de staalplaat als parallel aan de vezelrichting. Echter doordat de stuiksterkte van het hout loodrecht op de vezelrichting zwakker is wordt bezwijkmechanisme eerder maatgevend dan bij de richting parallel aan de vezel. Dit resulteert erin dat de maximale draagcapaciteit van de verbinding voor alle diameters bij een lagere staaldikte bereikt wordt, namelijk rond de 13mm. Aangezien de kracht van de toegepaste verbinding voor het kenniskwartier in de richting loodrecht op de vezel belast wordt is deze dikte maatgevend.



Figuur 8 - Draagcapaciteit per deugel loodrecht op de vezelrichting voor verschillende deugeldiameters en staalplaat diktes



Tabel 19 - Resultaten draagcapaciteit per deugel

| Draagcapaciteit per deugel rekenwaarde Loodrecht |                  |          |          |          |          |          |
|--------------------------------------------------|------------------|----------|----------|----------|----------|----------|
|                                                  | Dikte staalplaat |          |          |          |          |          |
|                                                  | 8 mm             | 10 mm    | 12 mm    | 14 mm    | 16 mm    | 18 mm    |
| Deugel diameter                                  |                  |          |          |          |          |          |
| 8                                                | 12516,36         | 12516,36 | 12516,36 | 12516,36 | 12516,36 | 12516,36 |
| 10                                               | 16161,69         | 18306,42 | 18306,42 | 18306,42 | 18306,42 | 18306,42 |
| 12                                               | 20019,69         | 22448,49 | 24877,28 | 24877,28 | 24877,28 | 24877,28 |
| 14                                               | 24066,31         | 26755,36 | 29444,41 | 30973,42 | 30973,42 | 30973,42 |
| 16                                               | 28277,86         | 31206,12 | 34134,39 | 35201,2  | 35201,2  | 35201,2  |
| 18                                               | 34205,73         | 35780    | 38928,55 | 39511,58 | 39511,58 | 39511,58 |
| 20                                               | 40456,68         | 40456,68 | 43808,22 | 43934,12 | 43934,12 | 43934,12 |
| 22                                               | 46985,69         | 46985,69 | 48493,36 | 48493,36 | 48493,36 | 48493,36 |
| 24                                               | 53208,95         | 53208,95 | 53208,95 | 53208,95 | 53208,95 | 53208,95 |
| 26                                               | 58095,81         | 58095,81 | 58095,81 | 58095,81 | 58095,81 | 58095,81 |
| 28                                               | 63134,26         | 63134,26 | 63134,26 | 63134,26 | 63134,26 | 63134,26 |

#### 2.4. 3 staalplaten in de ligger

Tabel 20 - Gelijkblijvende parameters

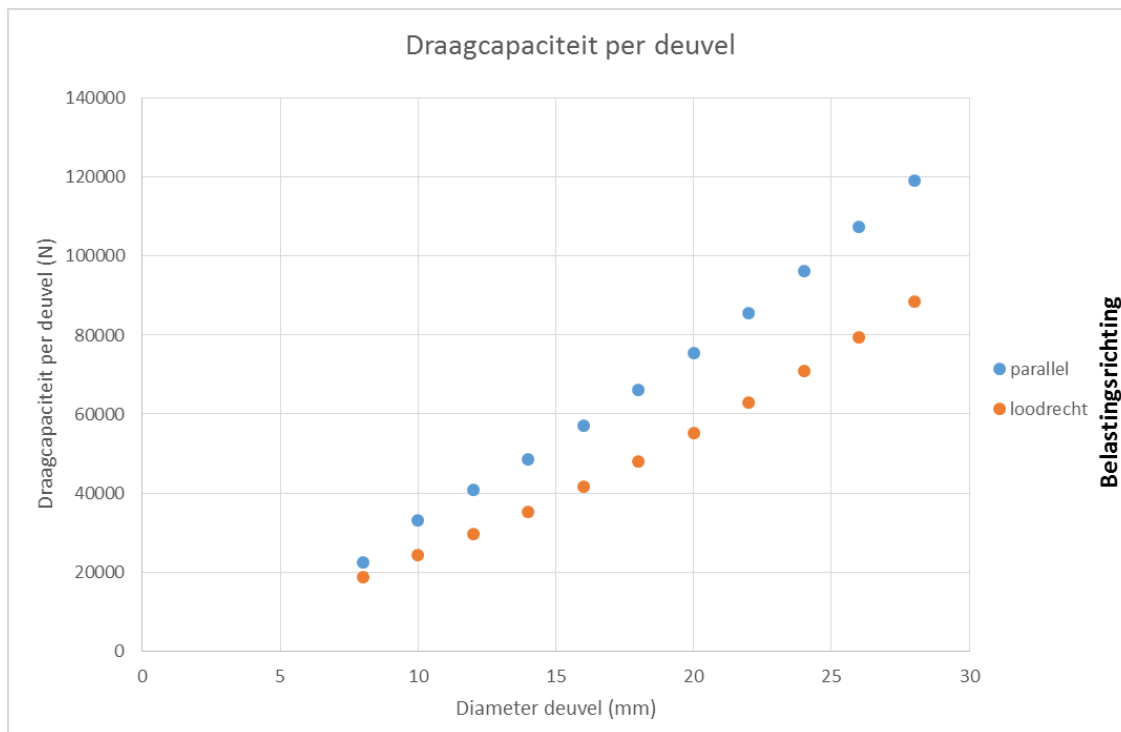
|                        |           |
|------------------------|-----------|
| t <sub>1</sub>         | 60,167 mm |
| t <sub>2</sub>         | 120,33 mm |
| t <sub>3</sub>         | 120,33 mm |
| Dikte staalplaat       | 12 mm     |
| Aantal staalplaten     | 3         |
| Aantal deugels per rij | 1         |
| Aantal rijen deugels   | 1         |

Tabel 21 - Variabele parameter

|                 |         |
|-----------------|---------|
| Diameter deugel | 8-28 mm |
|-----------------|---------|

##### 2.4.1. Verandering deugeldiameter

Bij het veranderen van de deugeldiameter valt op dat bij deze verbinding al zeer snel bezwijkmechanisme g wordt bereikt. Dit zorgt ervoor dat de draagcapaciteit na een deugel dikte van 10mm voor de richting parallel als loodrecht geleidelijk toeneemt, omdat hierna de maatgevende bezwijkmechanisme niet meer verandert.



Figuur 9 - Draagcapaciteit per deuvel parallel en loodrecht aan de vezelrichting voor verschillende deuveldiameters

Tabel 22 - Resultaten draagcapaciteit per deuvel

| Draagcapaciteit per deuvel |          |           |
|----------------------------|----------|-----------|
|                            | Richting |           |
|                            | parallel | loodrecht |
| Deuvel diameter            |          |           |
| 8                          | 22372,4  | 18774,54  |
| 10                         | 33065,8  | 24167,05  |
| 12                         | 40744,1  | 29552,04  |
| 14                         | 48663,9  | 35310,71  |
| 16                         | 57070,6  | 41490,76  |
| 18                         | 66001,2  | 48126,18  |
| 20                         | 75483,7  | 55238,42  |
| 22                         | 85538,12 | 62837,48  |
| 24                         | 96176,76 | 70923,09  |
| 26                         | 107404,5 | 79485,79  |
| 28                         | 119219,4 | 88508     |

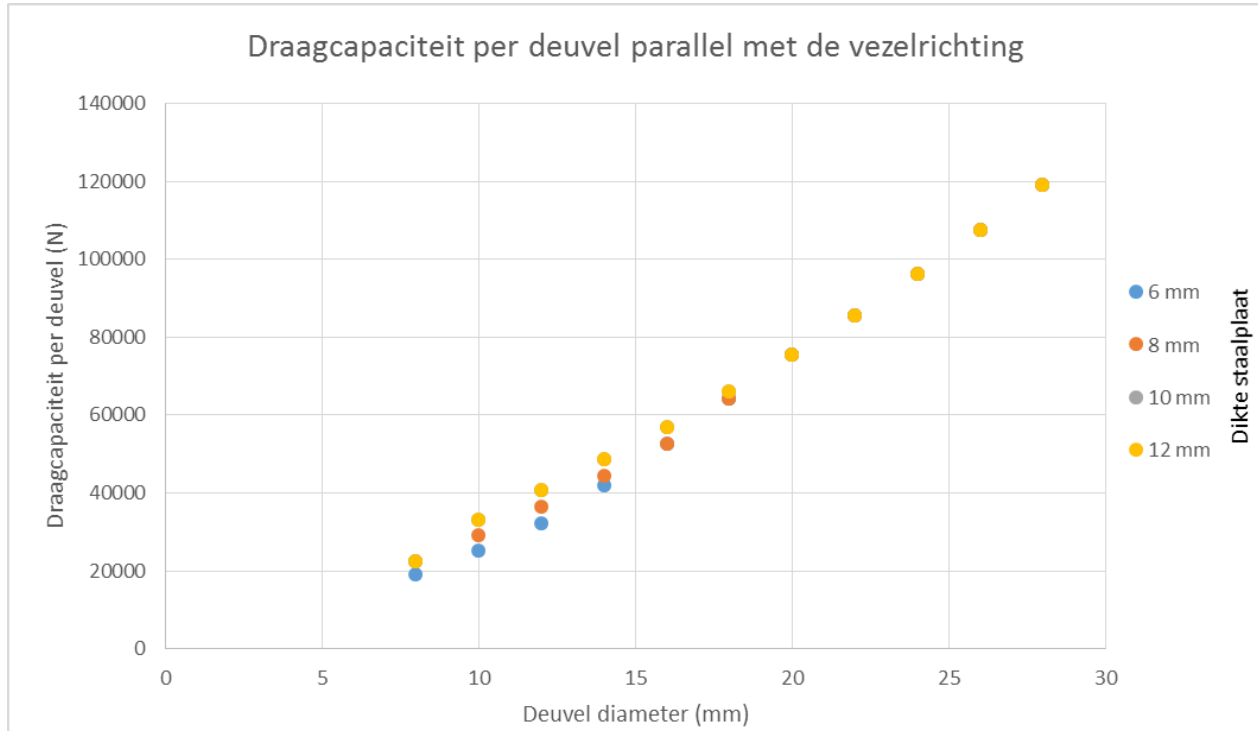
#### 2.4.2. Verandering dikte staalplaat

Tabel 23 - Variabele parameters

|                  |         |
|------------------|---------|
| Diameter deuvel  | 8-28 mm |
| Dikte staalplaat | 6-12 mm |

#### 2.4.2.1. Parallel aan de vezelrichting

Bij het vergroten van de dikte van de staalplaat treedt hetzelfde verschijnsel op als bij twee staalplaten in de ligger. Echter doordat bij deze verbinding bezwijkmechanisme g eerder maatgevend is parallel aan de vezel ligt het punt waarop het verdikken van de staalplaat geen effect meer heeft al bij een staalplaat dikte van 10mm. Hiernaast is het verlies in draagcapaciteit minder bij een kleine staaldikte.



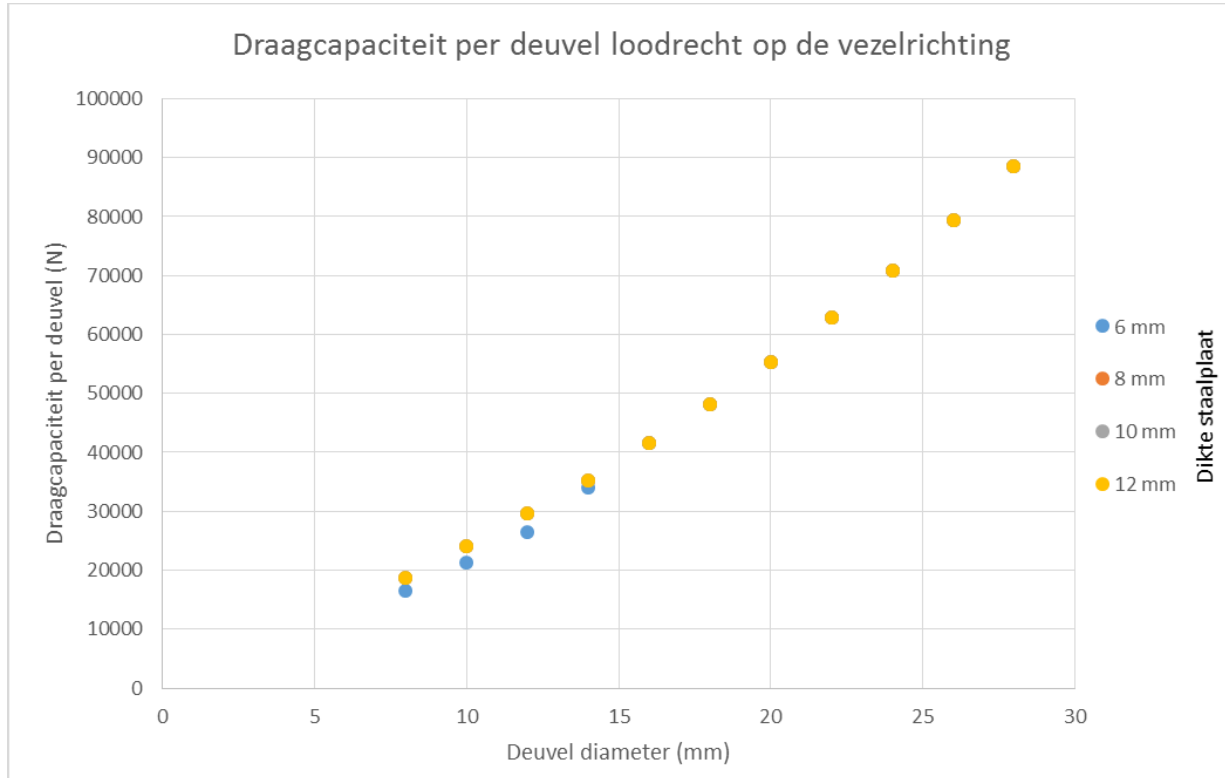
Figuur 10 - Draagcapaciteit per deuvel parallel aan de vezelrichting voor verschillende deuveldiameters en staalplaat diktes

Tabel 24 - Resultaten draagcapaciteit per deuvel

| Draagcapaciteit per deuvel rekenwaarde parallel |                  |          |          |          |
|-------------------------------------------------|------------------|----------|----------|----------|
|                                                 | Dikte staalplaat |          |          |          |
|                                                 | 6 mm             | 8 mm     | 10 mm    | 12 mm    |
| Deuvel diameter                                 |                  |          |          |          |
| 8                                               | 19096,07         | 22372,44 | 22372,44 | 22372,44 |
| 10                                              | 25317,98         | 29191,88 | 33065,78 | 33065,78 |
| 12                                              | 32100,37         | 36532,51 | 40744,08 | 40744,08 |
| 14                                              | 41881,5          | 44359,77 | 48663,91 | 48663,91 |
| 16                                              | 52637,85         | 52637,85 | 57070,63 | 57070,63 |
| 18                                              | 64289,48         | 64289,48 | 66001,17 | 66001,17 |
| 20                                              | 75483,67         | 75483,67 | 75483,67 | 75483,67 |
| 22                                              | 85538,12         | 85538,12 | 85538,12 | 85538,12 |
| 24                                              | 96176,76         | 96176,76 | 96176,76 | 96176,76 |
| 26                                              | 107404,5         | 107404,5 | 107404,5 | 107404,5 |
| 28                                              | 119219,4         | 119219,4 | 119219,4 | 119219,4 |

#### 2.4.2.2. Loodrecht op de vezelrichting

Voor de richting loodrecht op de vezel geldt hetzelfde verhaal. In deze richting ligt het punt waarop bezwijkmechanisme g bereikt wordt nog eerder, waardoor het verdikken van de staalplaat geen effect meer heeft bij een staalplaat dikte van 8mm.



Figuur 11 - Draagcapaciteit per deuvel loodrecht op de vezelrichting voor verschillende deuveldiameters en staalplaat diktes

Tabel 25 - Resultaten draagcapaciteit per deuvel

| Draagcapaciteit per deuvel rekenwaarde<br>Loodrecht |                  |          |          |          |
|-----------------------------------------------------|------------------|----------|----------|----------|
|                                                     | Dikte staalplaat |          |          |          |
|                                                     | 6 mm             | 8 mm     | 10 mm    | 12 mm    |
| Diameter deuvel                                     |                  |          |          |          |
| 8                                                   | 16551,97         | 18774,54 | 18774,54 | 18774,54 |
| 10                                                  | 21353,84         | 24167,05 | 24167,05 | 24167,05 |
| 12                                                  | 26386,34         | 29552,04 | 29552,04 | 29552,04 |
| 14                                                  | 34082,68         | 35310,71 | 35310,71 | 35310,71 |
| 16                                                  | 41490,76         | 41490,76 | 41490,76 | 41490,76 |
| 18                                                  | 48126,18         | 48126,18 | 48126,18 | 48126,18 |
| 20                                                  | 55238,42         | 55238,42 | 55238,42 | 55238,42 |
| 22                                                  | 62837,48         | 62837,48 | 62837,48 | 62837,48 |
| 24                                                  | 70923,09         | 70923,09 | 70923,09 | 70923,09 |
| 26                                                  | 79485,79         | 79485,79 | 79485,79 | 79485,79 |
| 28                                                  | 88508            | 88508    | 88508    | 88508    |

## 2.5. Vergelijking tussen 1,2 en 3 staalplaten in de ligger

Tabel 26 - Gelijkblijvende parameters

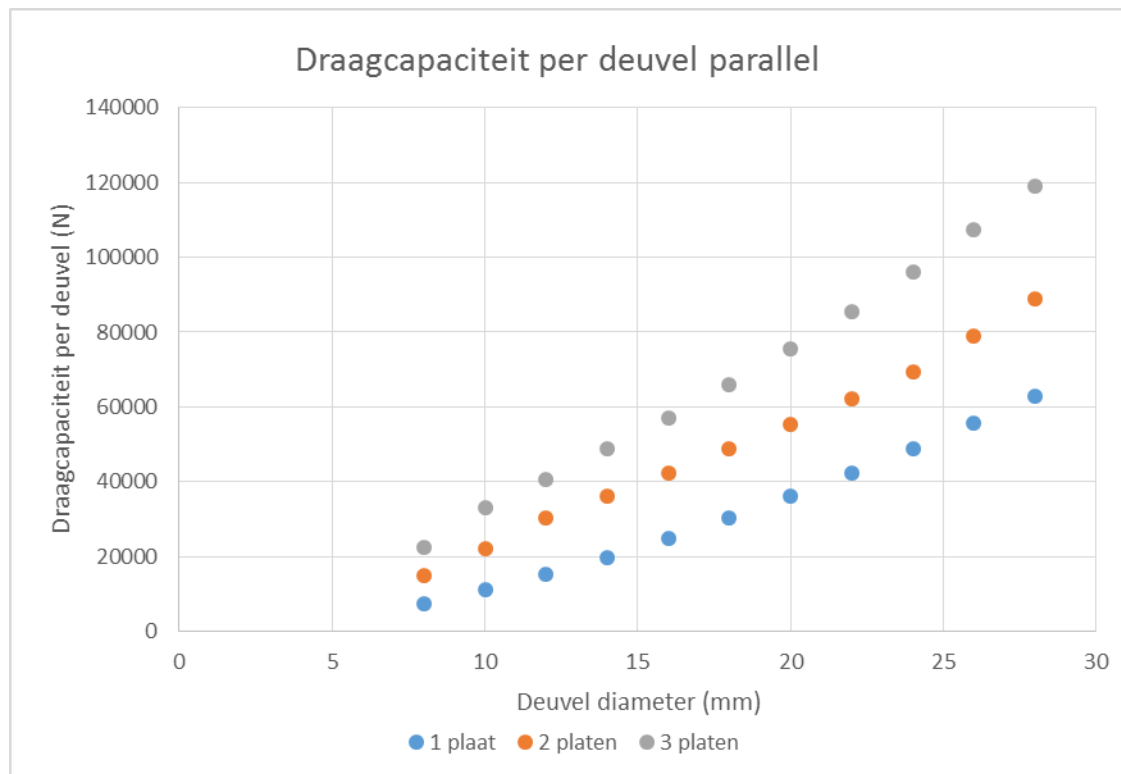
|                                |       |
|--------------------------------|-------|
| Dikte staalplaat               | 12 mm |
| Aantal deuveldiameters per rij | 1     |
| Aantal rijen deuveldiameters   | 1     |

Tabel 27 - Variabele parameters

|                         |               |
|-------------------------|---------------|
| Diameter deuveldiameter | 8-28 mm       |
| Aantal staalplaten      | 1-3           |
| $t_1$                   | 60,167-193 mm |
| $t_2$                   | 0 – 187 mm    |
| $t_3$                   | 0 – 120,33 mm |

### 2.5.1. Parallel aan de vezelrichting

Bij een toename van het aantal staalplaten in de ligger neemt de maximale draagvermogen bij een gelijkblijvende deuveldiameter toe. Dit komt doordat de deuveldiameter meer afschuifvlakken heeft en een kleinere slankheidsratio. Dit resulteert echter ook in het feit dat bij een verbinding met 3 staalplaten eerder een buigmechanisme gaat optreden. Het toepassen van meerdere staalplaten in de verbinding bevordert de draagcapaciteit van de verbinding, maar vraagt extra aandacht voor het realiseren van een goede verbinding.



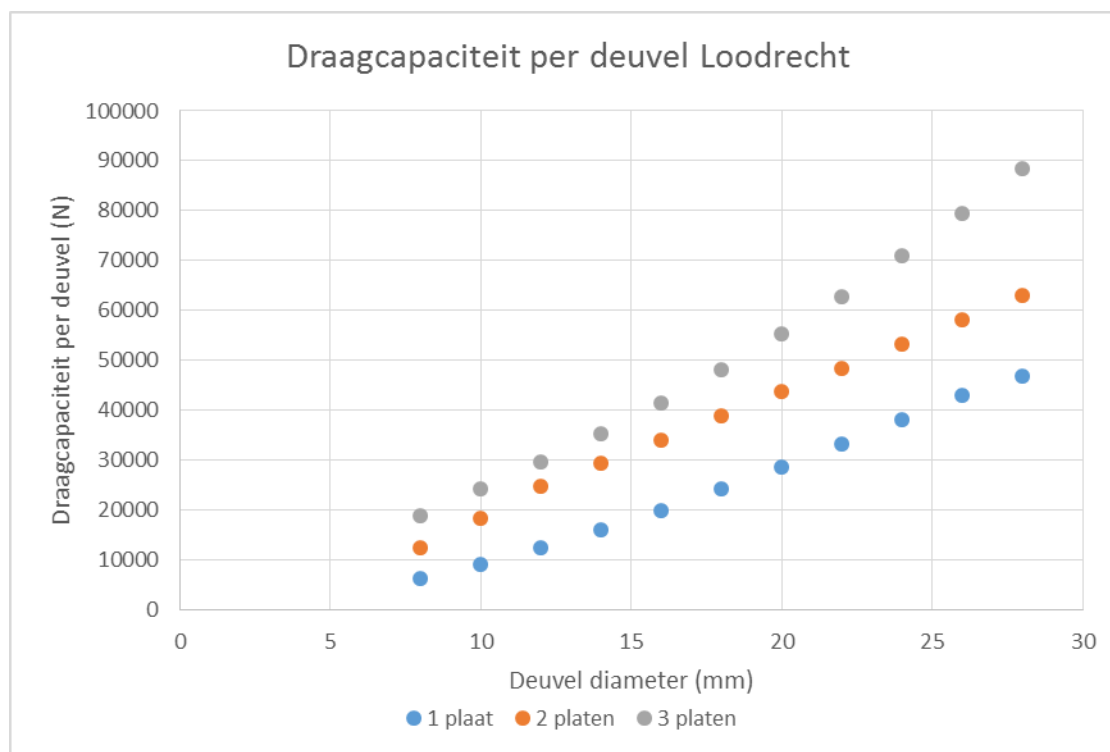
Figuur 12 - Draagcapaciteit per deuveldiameter parallel aan de vezelrichting voor een verschillend aantal staalplaten en deuveldiameters

Tabel 28 - Resultaten draagcapaciteit per deugel

| Draagcapaciteit per deugel<br>rekenwaarde parallel |                    |          |          |
|----------------------------------------------------|--------------------|----------|----------|
|                                                    | Aantal staalplaten |          |          |
|                                                    | 1 plaat            | 2 platen | 3 platen |
| Deugel diameter                                    |                    |          |          |
| 8                                                  | 7457,481           | 14914,95 | 22372,44 |
| 10                                                 | 11021,93           | 22043,85 | 33065,78 |
| 12                                                 | 15132,26           | 30264,52 | 40744,08 |
| 14                                                 | 19743,13           | 36181,89 | 48663,91 |
| 16                                                 | 24813,72           | 42359,67 | 57070,63 |
| 18                                                 | 30306,35           | 48777,34 | 66001,17 |
| 20                                                 | 36185,55           | 55413,5  | 75483,67 |
| 22                                                 | 42417,43           | 62246,18 | 85538,12 |
| 24                                                 | 48969,23           | 69252,95 | 96176,76 |
| 26                                                 | 55808,99           | 78925,82 | 107404,5 |
| 28                                                 | 62905,26           | 88961,47 | 119219,4 |

#### 2.5.2. Loodrecht op de vezelrichting

In de richting loodrecht op de vezel is ongeveer dezelfde lijn in de draagvermogen van de verbinding te zien als bij de richting parallel op de vezel. Hier treedt echter nog eerder bezwijkmechanisme g op, waardoor het realiseren van een taaie verbinding lastiger wordt.



Figuur 13 - Draagcapaciteit per deugel loodrecht op de vezelrichting voor een verschillend aantal staalplaten en deugeldiameters

Tabel 29 - Resultaten draagcapaciteit per deuvel

| Draagcapaciteit per deuvel<br>rekenwaarde loodrecht |                    |          |          |
|-----------------------------------------------------|--------------------|----------|----------|
|                                                     | Aantal staalplaten |          |          |
|                                                     | 1 plaat            | 2 platen | 3 platen |
| Diameter deuvel                                     |                    |          |          |
| 8                                                   | 6258,18            | 12516,36 | 18774,54 |
| 10                                                  | 9153,21            | 18306,42 | 24167,05 |
| 12                                                  | 12438,64           | 24877,28 | 29552,04 |
| 14                                                  | 16066,73           | 29444,41 | 35310,71 |
| 16                                                  | 19995,46           | 34134,39 | 41490,76 |
| 18                                                  | 24187,1            | 38928,55 | 48126,18 |
| 20                                                  | 28607,19           | 43808,22 | 55238,42 |
| 22                                                  | 33223,9            | 48493,36 | 62837,48 |
| 24                                                  | 38007,49           | 53208,95 | 70923,09 |
| 26                                                  | 42929,99           | 58095,81 | 79485,79 |
| 28                                                  | 46793,06           | 63134,26 | 88508    |

## 2.6. Veranderen deuvelsterkte

Tabel 30 - Gelijkblijvende parameters

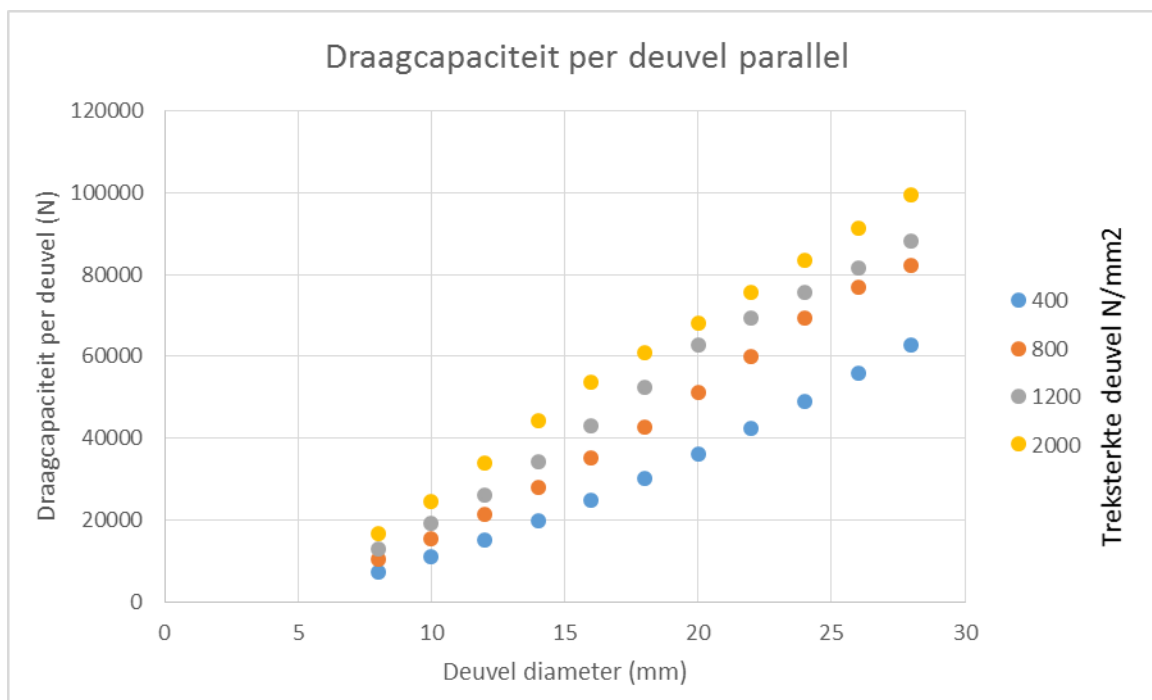
|                        |        |
|------------------------|--------|
| $t_1$                  | 193 mm |
| Dikte staalplaat       | 12 mm  |
| Aantal staalplaten     | 1      |
| Aantal deuvels per rij | 1      |
| Aantal rijen deuvels   | 1      |

Tabel 31 - Variabele parameters

|                    |                            |
|--------------------|----------------------------|
| Diameter deuvel    | 8-28 mm                    |
| Treksterkte deuvel | 400-2000 N/mm <sup>2</sup> |

### 2.6.1. Parallel aan de vezelrichting

Door het vergroten van de treksterkte van de deuvel wordt het draagvermogen van de verbinding groter. In figuur 14 is te zien hoe de draagvermogen per deuvel toeneemt bij een grotere treksterkte van de deuvel. Middels het gebruiken van een sterkere deuvel kan dezelfde draagcapaciteit gehaald worden als bij een verbinding met 2 of 3 staalplaten in de ligger. Echter zorgt resulteert dit versterken van de deuvel in het eerder bereiken van het ongewenste bezwijkmechanisme g. Dit is af te lezen in tabel 33.



Figuur 14 - Draagcapaciteit per deuvel parallel aan de vezelrichting voor een verschillende deuvelsterkte en deuveldiameters

Tabel 32 - Resultaten draagcapaciteit per deuvel

| Draagcapaciteit per deuvel rekenwaarde parallel |                    |          |          |          |
|-------------------------------------------------|--------------------|----------|----------|----------|
|                                                 | Treksterkte deuvel |          |          |          |
|                                                 | 400                | 800      | 1200     | 2000     |
| Diameter deuvel                                 |                    |          |          |          |
| 8                                               | 7457,481           | 10546,47 | 12916,74 | 16675,43 |
| 10                                              | 11021,93           | 15587,36 | 19090,54 | 24645,78 |
| 12                                              | 15132,26           | 21400,25 | 26209,85 | 33836,76 |
| 14                                              | 19743,13           | 27921    | 34196,1  | 44146,97 |
| 16                                              | 24813,72           | 35091,9  | 42978,62 | 53778    |
| 18                                              | 30306,35           | 42859,66 | 52492,14 | 60870,65 |
| 20                                              | 36185,55           | 51174,1  | 62675,22 | 68147,79 |
| 22                                              | 42417,43           | 59987,31 | 69336,63 | 75629,1  |
| 24                                              | 48969,23           | 69252,95 | 75521,86 | 83330,83 |
| 26                                              | 55808,99           | 76859,07 | 81756,29 | 91265,86 |
| 28                                              | 62905,26           | 82158,48 | 88049,49 | 99443,73 |



Tabel 33 - Maatgevende bezwijkmechanisme loodrecht op de vezelrichting

| Bezwijkmechanisme Loodrecht |                    |     |      |      |
|-----------------------------|--------------------|-----|------|------|
|                             | Treksterkte deuvel |     |      |      |
|                             | 400                | 800 | 1200 | 2000 |
| Diameter deuvel             |                    |     |      |      |
| 8                           | h                  | h   | h    | h    |
| 10                          | h                  | h   | h    | h    |
| 12                          | h                  | h   | h    | h    |
| 14                          | h                  | h   | h    | g    |
| 16                          | h                  | h   | g    | g    |
| 18                          | h                  | h   | g    | g    |
| 20                          | h                  | g   | g    | g    |
| 22                          | h                  | g   | g    | g    |
| 24                          | h                  | g   | g    | g    |
| 26                          | h                  | g   | g    | g    |
| 28                          | g                  | g   | g    | g    |

## BIJLAGE 5

Excel berekening maatgevende ligger volgens  
Eurocode 5

### OPDRACHTGEVER

**Arcadis**

Afdeling gebouwen

Lichtenauerlaan 100  
3062 ME Rotterdam

Begeleider:

Gerard van engelen

Senior Specialist Structural Engineering

### LEERINSTELLING

**Hogeschool Rotterdam**

Opleiding Civiele Techniek

G.J. de Jonghweg 4-6  
3015GG Rotterdam

Begeleider:

Sven van Rosmalen

### AFSTUDEERDERS

Roel Majoor

Maarten Schoen

Gerard van Engelen:

.....

## Ligger berekening

### Bepalen belastingen (Invoer)

Werkende breedte = 7,7 m

Blijvende belastingen ( $G_k$ ) per meter

E.G. vloer

Breedte 7,7 m

Dikte 0,32 m

P 5 kN/m<sup>3</sup>

E.G. ligger

Breedte 0,45 m

Hoogte 0,7 m

P 4,3 kN/m<sup>3</sup>

veranderlijke belastingen ( $Q_k$ ) per meter

Kantoor belasting

Breedte 7,7 m

Q 2,5 kN/m<sup>2</sup>

Scheidingswanden

Breedte 7,7 m

Q 1,2 kN/m<sup>2</sup>

### Bepalen belastingen (Uitvoer)

$G_k$  ligger (totaal)

E.G. vloer

7,7 \* 1 \* 0,32 \* 5 = 12,3 kN/m<sup>1</sup>

E.G. ligger

0,45 \* 1 \* 0,7 \* 4,3 = 1,35 kN/m<sup>1</sup> +

Totaal 13,7

$Q_k$  ligger (totaal)

Vloerbelasting kantoor

7,7 \* 1 \* 2,5 = 19,25 kN/m<sup>1</sup>

scheidingswanden

7,7 \* 1 \* 1,2 = 9,24 kN/m<sup>1</sup> +

Totaal 28,5 kN/m<sup>1</sup>

gewicht vloerpaneel volgens stora enso

### Belasting combinaties (Invoer)

Opgelegde belasting verdieping:

$\psi_0$  = 0,5

### Belasting combinaties (Uitvoer)

6.10a

1,5 \* 13,7 + 1,65 \* 0,5 \* 28,5 = 44,0

6.10b

1,3 \* 13,7 + 1,65 \* 1 \* 28,5 = 64,8

| Controle ligger (Invoer)                        |  |                                 |  | Controle ligger (Uitvoer) |  |                                                             |  | VOLDOET |  | Sterkte                    |  |
|-------------------------------------------------|--|---------------------------------|--|---------------------------|--|-------------------------------------------------------------|--|---------|--|----------------------------|--|
| Buigsterkte:                                    |  | 30 / $\gamma_m \cdot k_{mod} =$ |  | 19,2 N/mm <sup>2</sup>    |  |                                                             |  |         |  |                            |  |
| Zwaarst belaste ligger                          |  | 64,79                           |  | kN/m                      |  |                                                             |  |         |  |                            |  |
| Afmetingen ligger                               |  |                                 |  |                           |  |                                                             |  |         |  |                            |  |
| Lengte                                          |  | 9,12 m                          |  | $\gamma_m$                |  | 1,25                                                        |  |         |  |                            |  |
| Breedte                                         |  | 0,45                            |  | $k_{mod}$                 |  | 0,8                                                         |  |         |  |                            |  |
| Hoogte                                          |  | 0,7                             |  |                           |  |                                                             |  |         |  |                            |  |
| Materiaal eigenschappen gelamineerd hout GL 30h |  |                                 |  |                           |  |                                                             |  |         |  |                            |  |
| $f_{m,g,k}$                                     |  | 30                              |  | N/mm <sup>2</sup>         |  | Buigsterkte                                                 |  |         |  |                            |  |
| $f_{t,0,g,k}$                                   |  | 24                              |  | N/mm <sup>2</sup>         |  | Treksterkte                                                 |  |         |  |                            |  |
| $E_{0,g,mean}$                                  |  | 13600                           |  | N/mm                      |  | Elasticiteits modulus                                       |  |         |  |                            |  |
| $\rho_{g,k}$                                    |  | 430                             |  | kg/m <sup>3</sup>         |  | Dichtheid                                                   |  |         |  |                            |  |
| $f_{v,g,k}$                                     |  | 3,5                             |  | N/mm <sup>2</sup>         |  | Afschuifsterkte loodrecht op vezel                          |  |         |  |                            |  |
| Gegevens deuvel                                 |  |                                 |  |                           |  |                                                             |  |         |  |                            |  |
| Aantal deuvels in een kolom                     |  | 5                               |  | st.                       |  |                                                             |  |         |  |                            |  |
| Diameter deuvel                                 |  | 14                              |  | mm                        |  |                                                             |  |         |  |                            |  |
| Moment                                          |  |                                 |  |                           |  |                                                             |  |         |  |                            |  |
| =                                               |  | 1/8                             |  | *                         |  | q                                                           |  | *       |  | $l^2$                      |  |
| =                                               |  | 0,125                           |  | *                         |  | 65                                                          |  | *       |  | 9,12 <sup>2</sup>          |  |
|                                                 |  |                                 |  |                           |  |                                                             |  |         |  | = 673,6 kNm                |  |
| Weerstandsmoment                                |  |                                 |  |                           |  |                                                             |  |         |  |                            |  |
| =                                               |  | 1/6                             |  | *                         |  | b                                                           |  | *       |  | $h^2$                      |  |
| =                                               |  | 0,167                           |  | *                         |  | 450                                                         |  | *       |  | 700 <sup>2</sup>           |  |
|                                                 |  |                                 |  |                           |  |                                                             |  |         |  | = 36750000 mm <sup>3</sup> |  |
| $\sigma$                                        |  |                                 |  |                           |  |                                                             |  |         |  |                            |  |
| =                                               |  | M                               |  | /                         |  | W                                                           |  |         |  |                            |  |
| =                                               |  | 673,6                           |  | /                         |  | 36750000                                                    |  |         |  | = 18,3 N/mm <sup>2</sup>   |  |
| UC                                              |  | =                               |  | 18,3                      |  | /                                                           |  | 19,2    |  | = 0,95                     |  |
| Dwarskracht                                     |  |                                 |  |                           |  |                                                             |  |         |  |                            |  |
| $\tau_d$                                        |  | =                               |  | $\frac{Q \cdot l}{2}$     |  | = 295,4                                                     |  | kN      |  |                            |  |
| $F_{v,d}$                                       |  | =                               |  | $A_r \cdot F_{v,g,d}$     |  | = 635,0                                                     |  | kN      |  |                            |  |
|                                                 |  | $A_r$                           |  | =                         |  | b * h - aantal deuvels in kolom * diameter * breedte ligger |  |         |  |                            |  |
|                                                 |  | $A_r$                           |  | =                         |  | 283500 mm <sup>2</sup>                                      |  |         |  |                            |  |
|                                                 |  | $f_{v,g,k}$                     |  | =                         |  | 2,24 N/mm <sup>2</sup>                                      |  |         |  |                            |  |
| UC                                              |  | =                               |  | 295                       |  | /                                                           |  | 635     |  | = 0,47                     |  |

| Controle ligger vervorming (Invoer)                                                                                           |  | Controle ligger (Uitvoer)                                                                                                                    |                          | VOLDOET                                        | Vervorming |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------|------------------------------------------------|------------|
| $W_{inst}$<br>= 30,4 tot 18,2                                                                                                 |  | $u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q_1} + \sum u_{fin,Q_i}$ (2.2)                                                                                 |                          |                                                |            |
| $W_{net,fin}$<br>= 36,48 tot 26,1                                                                                             |  | waarin:<br>$u_{fin,G} = u_{inst,G} (1 + k_{def})$ voor de blijvende belasting $G$ (2.3)                                                      |                          |                                                |            |
| $W_{fin}$<br>= 60,8 tot 30,4                                                                                                  |  | $u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} (1 + \varphi_{2,1} k_{def})$ voor de overheersende veranderlijke belasting $Q_1$ (2.4)                           |                          |                                                |            |
| Gegevens ligger:<br>lengte = 9120 mm<br>$W_c$ = 10 mm<br>$I = 1/12 \cdot b \cdot h^3 = 1,29E+10 \text{ mm}^4$                 |  | $u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} (\varphi_{0,i} + \varphi_{2,i} k_{def})$ voor de gelijktijdige veranderlijke belastingen $Q_i$ ( $i > 1$ ) (2.5) |                          |                                                |            |
| Eigen gewicht vloer 12,32 kN/m<br>Eigen gewicht ligger 1,35 kN/m<br>Kantoorbelasting 19,25 kN/m<br>Scheidingswanden 9,24 kN/m |  | $W_{inst}$<br>= 21,71                                                                                                                        | $U_{fin,Q,2}$<br>= 4,47  | $U_{fin,Q,2} \text{ (NB2011)}$<br>= 3,52       |            |
| $k_{def}$ 0,8<br>$\varphi_2$ 0,3<br>$\varphi_0$ 0,7<br>$\varphi_0 \text{ NB2011}$ 0,5                                         |  | $U_{fin,g}$<br>= 12,7                                                                                                                        | $U_{fin}$<br>= 29,44     | $U_{fin} \text{ (NB2011)}$<br>= 28,49 < 61     |            |
|                                                                                                                               |  | $U_{fin,Q,1}$<br>= 12,29                                                                                                                     | $U_{net,fin}$<br>= 19,44 | $U_{net,fin} \text{ (NB2011)}$<br>= 18,49 < 36 |            |
|                                                                                                                               |  | Aanbeveling:                                                                                                                                 |                          | = 18,49 < 15                                   |            |

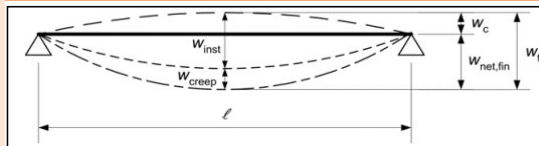
|                      | $W_{inst}$               | $W_{net,fin}$            | $W_{fin}$                |
|----------------------|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| Beam on two supports | $\ell/300$ to $\ell/500$ | $\ell/250$ to $\ell/350$ | $\ell/150$ to $\ell/300$ |
| Cantilevering beams  | $\ell/150$ to $\ell/250$ | $\ell/125$ to $\ell/175$ | $\ell/75$ to $\ell/150$  |

**7.2 Limiting values for deflections of beams**

(1) The components of deflection resulting from a combination of actions (see 2.2.3(5)) are shown in Figure 7.1, where the symbols are defined as follows, see 2.2.3:

- $W_c$  is the precamber (if applied);
- $W_{inst}$  is the instantaneous deflection;
- $W_{creep}$  is the creep deflection;
- $W_{fin}$  is the final deflection;
- $W_{net,fin}$  is the net final deflection.



Het eigen gewicht van de ligger is iets groter in het rekenprogramma van Stora Enso. Hiernaast wordt in  $U_{fin,Q,2}$  de waarde voor  $\varphi_{10}$  op 1 aangenomen bij Stora Enso, hierom verschilt de uitkomst in doorbuiging iets. Wanneer wij dit juist aannemen komen de uitkomsten overeen.

## Controle ligger stabiliteit

(invoer)

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,d}}{\sigma_{m,crit}}}$$

$$\sigma_{m,crit} = M_{y,crit}/W_y = \frac{\pi * \sqrt{E_{0,05} * I_z * G_{0,05} * I_{tor}}}{L_{ef} * W_y}$$

$E_{0,05}$  is de 5-percentielwaarde van de elasticiteitsmodulus evenwijdig aan de vezelrichting;

$G_{0,05}$  is de 5-percentielwaarde van de afschuivingsmodulus evenwijdig aan de vezelrichting;

$I_z$  is het traagheidsmoment om de z-as (zwakke as);

$I_{tor}$  is het torsietraagheidsmoment;

$L_{ef}$  is de meewerkende balklengte, afhankelijk van de steunpuntsvoorwaarden en de belastingsconfiguratie, volgens tabel 6.1;

$W_y$  is het weerstandsmoment om de y-as (sterke as).

$$f_{m,d} = 19,2$$

$$E_{0,05} = 10800 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{0,05} = 540 \text{ N/mm}^2$$

$$I_z = 5,32E+09$$

$$I_{tor} = 1,27E+10$$

$$L_{ef} = 10133$$

$$W_y = 36750000$$

$$I^a = 0,9 \text{ (op 2 steunp. Bij gelijkm. Verd. Belas.)}$$

$$a = 700$$

$$b = 450$$

$$a/b = 1,56$$

$$\beta = 0,20$$

## Controle ligger stabiliteit

(uitvoer)

VOLDOET

$$\sigma_{m,crit} = 167,6$$

$$\lambda_{rel,m} = 0,34$$

Kies  $k_{crit}$  nummer: 1.

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{voor } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75 \lambda_{rel,m} & \text{voor } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{voor } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

Nummer:

|    |                   |
|----|-------------------|
| 1. | $k_{crit} = 1$    |
| 2. | $k_{crit} = 1,31$ |
| 3. | $k_{crit} = 8,73$ |

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} \text{ geeft: } 18,33 \leq 1 * 19,2$$

18,33 <= 19,2 **VOLDOET**

(3) Indien er enkel een moment  $M_y$  optreedt om de sterke y-as, behoren de spanningen aan de volgende uitdrukking te voldoen:

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} f_{m,d} \quad (6.33)$$

(1)P De kipstabiliteit moet zijn getoetst zowel in het geval van alleen een moment  $M_y$  om de sterke  $y$ -as, als in het geval van een combinatie van een moment  $M_y$  met een drukkracht  $N_c$ .

(2) De relatieve slankheid bij buiging behoort als volgt te zijn genomen:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \tag{6.30}$$

waarin  $\sigma_{m,crit}$  is de kritische buigspanning berekend volgens de klassieke stabiliteitstheorie en gebruikmakend van de 5-percentielstijfheidswaarden.

De kritische buigspanning behoort als volgt te zijn genomen:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor}}}{\ell_{ef} W_y} \tag{6.31}$$

Rectangle [\[ edit \]](#)

$$J \approx \beta ab^3$$

where

$a$  is the length of the long side

$b$  is the length of the short side

$\beta$  is found from the following table:

| a/b      | $\beta$ |
|----------|---------|
| 1.0      | 0.141   |
| 1.5      | 0.196   |
| 2.0      | 0.229   |
| 2.5      | 0.249   |
| 3.0      | 0.263   |
| 4.0      | 0.281   |
| 5.0      | 0.291   |
| 6.0      | 0.299   |
| 10.0     | 0.312   |
| $\infty$ | 0.333   |

### 6.3.3 Liggers onderworpen aan buiging of aan buiging en druk

(1)P De kipstabiliteit moet zijn getoetst zowel in het geval van alleen een moment  $M_y$  om de sterke  $y$ -as, als in het geval van een combinatie van een moment  $M_y$  met een drukkracht  $N_c$ .

(2) De relatieve slankheid bij buiging behoort als volgt te zijn genomen:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,k}}{\sigma_{m,crit}}} \tag{6.30}$$

waarin  $\sigma_{m,crit}$  is de kritische buigspanning berekend volgens de klassieke stabiliteitstheorie en gebruikmakend van de 5-percentielstijfheidswaarden.

De kritische buigspanning behoort als volgt te zijn genomen:

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi \sqrt{E_{0,05} I_z G_{0,05} I_{tor}}}{\ell_{ef} W_y} \tag{6.31}$$

waarin:

$E_{0,05}$  is de 5-percentielwaarde van de elasticiteitsmodulus evenwijdig aan de vezelrichting;

$G_{0,05}$  is de 5-percentielwaarde van de afschuivingsmodulus evenwijdig aan de vezelrichting;

$I_z$  is het traagheidsmoment om de  $z$ -as (zwakke as);

$I_{tor}$  is het torsietraagheidsmoment;

$\ell_{ef}$  is de meewerkende balklengte, afhankelijk van de steunpuntsvoorwaarden en de belastingsconfiguratie, volgens tabel 6.1;

$W_y$  is het weerstandsmoment om de  $y$ -as (sterke as).

## Brand

### Bepalen rekenwaarde sterkte eigenschappen gelamineerd hout bij brand

| Materiaal eigenschappen gelamineerd hout GL 30h |       |                   |                       |
|-------------------------------------------------|-------|-------------------|-----------------------|
| $f_{m,g,k}$                                     | 30    | N/mm <sup>2</sup> | Buigsterkte           |
| $f_{t,0,g,k}$                                   | 24    | N/mm <sup>2</sup> | Treksterkte           |
| $E_{0,g,mean}$                                  | 13600 | N/mm              | Elasticiteits modulus |
| $E_{0,g,05}$                                    | 11300 | N/mm              | Elasticiteits modulus |

Voor de toetsing van de draagkracht van de ligger bij brand moeten de 20 percentielwaarden van de sterkte eigenschappen gebruikt worden

| 20% - fractielwaarde van stijfheid | 20% - fractielwaarde van sterkte eigenschap |
|------------------------------------|---------------------------------------------|
| $S_{20} = k_{fi} S_{05}$           | $f_{20} = k_{fi} f$                         |

Tabel 2.1 — Waarden voor  $k_{fi}$

|                          |      |
|--------------------------|------|
| Gezaagd hout             | 1,25 |
| Gelijmd gelamineerd hout | 1,15 |

$$k_{fi} = 1,15$$

| Materiaal eigenschappen gelamineerd hout GL 30h |       |                   |                       |
|-------------------------------------------------|-------|-------------------|-----------------------|
| $f_{m,g,k,20}$                                  | 34,5  | N/mm <sup>2</sup> | Buigsterkte           |
| $f_{t,0,g,k,20}$                                | 27,6  | N/mm <sup>2</sup> | Treksterkte           |
| $E_{0,g,20}$                                    | 12995 | N/mm              | Elasticiteits modulus |

### Bepalen inbranddiepte ligger

Het effect van hoekafrondingen moet meegenomen worden bij een ligger, dus wordt de inbranddiepte berekend als de schijnbare inbranddiepte: --->

$$d_{char,n} = \beta_n t$$

$$d_{char,n} = \beta_n * t = 84 \text{ mm}$$

$\beta_n = 0,7$  schijnbare inbrandsnelheid  
 $t = 120$  tijdsduur van de blootstelling aan brand  
 $p = 430$  volumieke massa

|                                                                                                | $\beta_0$ | $\beta_n$ |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
|                                                                                                | mm/min    | mm/min    |
| a) Naaldhout en beuken                                                                         |           |           |
| Gelijmd gelamineerd hout met een karakteristieke volumieke massa van $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ | 0,65      | 0,7       |
| Gezaagd hout met een karakteristieke volumieke massa van $\geq 290 \text{ kg/m}^3$             | 0,65      | 0,8       |

Oorspronkelijke afmetingen:

$$\begin{aligned} \text{Breedte} &= 450 \text{ mm} \\ \text{Hoogte} &= 700 \text{ mm} \end{aligned}$$

Afmetingen na 120 min brand:

$$\begin{aligned} \text{Breedte} &= 282 \text{ mm} \\ \text{Hoogte} &= 616 \text{ mm} \end{aligned}$$

Type verbinding: Connections with fasteners in shear with side members of wood and wood-based panels

### Belasting combinaties

(Invoer)

$$\begin{aligned} \text{Brand} \\ \psi &= 0,3 \end{aligned}$$

### Belasting combinaties (Uitvoer)

$$\begin{aligned} \text{Combinatie t.g.v. brand} \\ 6.11a \quad 1 * \quad 13,7 + \quad 1 * \quad 0,3 * \quad 28,5 = \quad 22,2 \text{ kN/m} \end{aligned}$$



# Toetsing ligger met gereduceerde doorsnedemethode

$k_{mod} = 1$  (invoer)

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

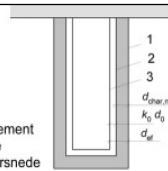
(5) De rekenwaarden van de sterkte- en stijfheidseigenschappen van de effectieve doorsnede behoren te zijn berekend met  $k_{mod,fi} = 1,0$ .

$$K_{mod,fi} = 1$$

$$\gamma_{M,fi} = 1$$

## Verklaring

- 1 initieel oppervlak van het element
- 2 grens van de restdoorsnede
- 3 grens van de effectieve doorsnede



Tabel 4.1 — Bepaling van  $k_0$  voor onbeschermd oppervlakken met  $t$  in min (zie figuur 4.2a)

|                 | $k_0$  |
|-----------------|--------|
| $t < 20$ min    | $t/20$ |
| $t \geq 20$ min | 1,0    |

$$d_{char,n} = 84 \text{ mm}$$

$k_{mod} = 1$  (uitvoer)

| Materiaal eigenschappen gelamineerd hout GL 30h |       |                   |                       |
|-------------------------------------------------|-------|-------------------|-----------------------|
| $f_{d,fi,m,g}$                                  | 34,5  | N/mm <sup>2</sup> | Buigsterkte           |
| $f_{d,fi,t,0,g}$                                | 27,6  | N/mm <sup>2</sup> | Treksterkte           |
| $S_{d,fi}(E_{0,g,g})$                           | 12995 | N/mm              | Elasticiteits modulus |

## Gereduceerde dwarsdoorsnede:

$$d_{ef} = d_{char,n} + k_0 \cdot d_0 = 91 \text{ mm}$$

$$d_0 = 7 \text{ mm} \quad (\text{Standaard gegeven})$$

$$k_0 = 1 \quad \text{voor onbeschermd oppervlakten}$$

$$d_{char,n} = 84 \text{ mm}$$

## Ligger afmetingen na 120 min brand:

$$\text{Breedte} = 282 \text{ mm}$$

$$\text{Hoogte} = 616 \text{ mm}$$

## Ligger afmetingen na 120 min brand met gereduceerde dwarsdoorsnede:

$$\text{Breedte} = 268 \text{ mm}$$

$$\text{Hoogte} = 609 \text{ mm}$$

## Weerstandsmoment

$$= \frac{1}{6} \cdot b \cdot h^2 = 0,167 \cdot 268 \cdot 609^2 = 16566018 \text{ Nmm}^3$$

## $M_{max}$

$$= \frac{\sigma}{34,5} \cdot W = 16566018 \cdot 571,5 \text{ kNm}$$

## Optredend moment M

$$\frac{1}{8} \cdot Q \cdot L^2 = 0,13 \cdot 22,2 \cdot 9,12^2 = 231,0 \text{ kNm}$$

## $\sigma_{m,d} = M/W$

$$\frac{231,03 \cdot 10^6}{16566018} = 13,95$$

## UC

$$\frac{\sigma_{m,d}}{13,95} / \frac{f_{m,k}}{34,5} = 0,40 < 1,0 \quad \text{VOLDOET}$$

# Toetsing ligger met gereduceerde materiaaleigenschappen methode

k mod = verschillend (invoer)

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$S_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

$$Y_{M,fi} = 1$$

Ligger afmetingen na 120 min brand:

$$\text{Breedte} = 282 \text{ mm}$$

$$\text{Hoogte} = 616 \text{ mm}$$

$$p = \text{de omtrek van de aan brand blootgestelde doorsnede (in m)}$$

$$A_r = \text{oppervlakte restdoorsnede (in m}^2\text{)}$$

$$p = 1,51 \text{ m}$$

$$A_r = 0,17 \text{ m}^2$$

k mod = verschillend (uitvoer)

$$\text{Voor de buigsterkte} \quad k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{200} \frac{p}{A_r} = 0,96$$

$$\text{Voor de druksterkte} \quad k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{125} \frac{p}{A_r} = 0,93$$

$$\text{voor de treksterkte}/E_{mod} \quad k_{mod,fi} = 1,0 - \frac{1}{330} \frac{p}{A_r} = 0,97$$

| Materiaal eigenschappen gelamineerd hout GL 30h |                            |                       |  |
|-------------------------------------------------|----------------------------|-----------------------|--|
| $f_{t,m,g,d}$                                   | 32,99656 N/mm <sup>2</sup> | Buigsterkte           |  |
| $f_{t,t,0,g,d}$                                 | 26,87106 N/mm <sup>2</sup> | Treksterkte           |  |
| $E_{t,0,g,d}$                                   | 12651,79 N/mm              | Elasticiteits modulus |  |

$$\begin{aligned} &\text{Weerstandsmoment} \\ &= \frac{1}{6} * b * h^2 \\ &= 0,167 * 282 * 616^2 = 17834432 \text{ Nmm}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} &\frac{M_{max}}{\sigma} * W \\ &= 33,0 * 17834432 = 588,5 \text{ kNm} \end{aligned}$$

$$\frac{\sigma_{m,d} = M/W}{231,0 * 10^6 / 17834432} = 12,95$$

$$\begin{aligned} &\text{UC} \\ &\frac{\sigma_{m,d}}{13,0} / \frac{f_{m,k}}{34,5} = 0,38 < 1,0 \quad \text{VOLDOET} \end{aligned}$$

## BIJLAGE 6

Handberekening ligger ter controle Excel berekening  
Bijlage 6

### OPDRACHTGEVER

**Arcadis**

Afdeling gebouwen

Lichtenauerlaan 100  
3062 ME Rotterdam

Begeleider:

Gerard van engelen  
Senior Specialist Structural Engineering

### LEERINSTELLING

**Hogeschool Rotterdam**

Opleiding Civiele Techniek

G.J. de Jonghweg 4-6  
3015GG Rotterdam

Begeleider:

Sven van Rosmalen

### AFSTUDEERDERS

Roel Majoor  
Maarten Schoen

Gerard van Engelen:

.....

## Inhoud

|        |                                                  |    |
|--------|--------------------------------------------------|----|
| 1.     | Inleiding.....                                   | 2  |
| 2.     | Algemene materiaaleigenschappen .....            | 3  |
| 3.     | Belastingen.....                                 | 4  |
| 3.1.   | Belastingcombinaties.....                        | 4  |
| 4.     | Controle ligger.....                             | 5  |
| 4.1.   | Sterkte.....                                     | 5  |
| 4.2.   | Vervorming .....                                 | 5  |
| 4.3.   | Stabiliteit.....                                 | 7  |
| 4.4.   | Brand.....                                       | 8  |
| 4.4.1. | Belastingen.....                                 | 8  |
| 1.1.   | Belastingcombinaties.....                        | 8  |
| 1.1.1. | Rekenwaarde sterkteeigenschappen.....            | 9  |
| 1.1.2. | Inbranddiepte .....                              | 9  |
| 1.1.3. | Gereduceerde doorsnede methode .....             | 10 |
| 1.1.4. | Gereduceerde materiaaleigenschappen methode..... | 11 |
| 1.1.5. | Conclusie.....                                   | 12 |

| Versie | Datum      | Opmerkingen                  |
|--------|------------|------------------------------|
| 0.1    | 2-12-2016  | Eerste uitgave               |
| 1.0    | 13-12-2016 | Opmerkingen van PTi verwerkt |

## 1. Inleiding

Deze berekening dient ter controle van de Excelsheet uit bijlage 5 en de uitkomsten hiervan komen dan ook overeen met de uitkomsten van de Excel sheet. In deze berekening wordt het draagvermogen van de ligger getoetst.

Voor de berekeningen zijn de volgende normen gehanteerd:

|            |                               |                                                                                                            |
|------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eurocode   | NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011     | Grondslagen van het constructief ontwerp                                                                   |
| Eurocode   | NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB:2011  | Nationale bijlage bij NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011                                                            |
| Eurocode 1 | NEN-EN 1991-1-1+C1:2011       | Belastingen op constructies                                                                                |
| Eurocode 1 | NEN-EN 1991-1-1+C1/NB:2011    | Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-1+C1:2011                                                              |
| Eurocode 5 | NEN-EN 1995-1-1+C1+A1:2011    | Algemeen - Ontwerp en berekening<br>Houtconstructies: Gemeenschappelijke regels<br>en regels voor gebouwen |
| Eurocode 5 | NEN-EN 1995-1-1+C1+A1/NB:2011 | Nationale bijlage bij NEN-EN 1995-1-1+C1+A1:2011                                                           |
| Eurocode 5 | NEN-EN 1995-1-2+C2:2011       | Ontwerp en berekening van houtconstructies<br>bij brand                                                    |
| Eurocode 5 | NEN-EN 1995-1-2/NB:2011       | Nationale bijlage bij NEN-EN 1995-1-2+C2:2011                                                              |
| NL norm    | NEN-EN 14080:2013             | Houtconstructies – Gelijmd gelamineerd hout<br>en gelijmd massief hout                                     |

## 2. Algemene materiaaleigenschappen

Vochtgehalte bij 20°C en een relatieve vochtigheid hoger dan 85% geeft: Klimaatklasse 2

Belastingduurklasse middellang, kortste van alle belasting duur klassen (opgelegde vloerbelasting) is maatgevend.

[art. 2.3.1.2 en art. 2.3.1.3, NEN-EN 1995-1-1]

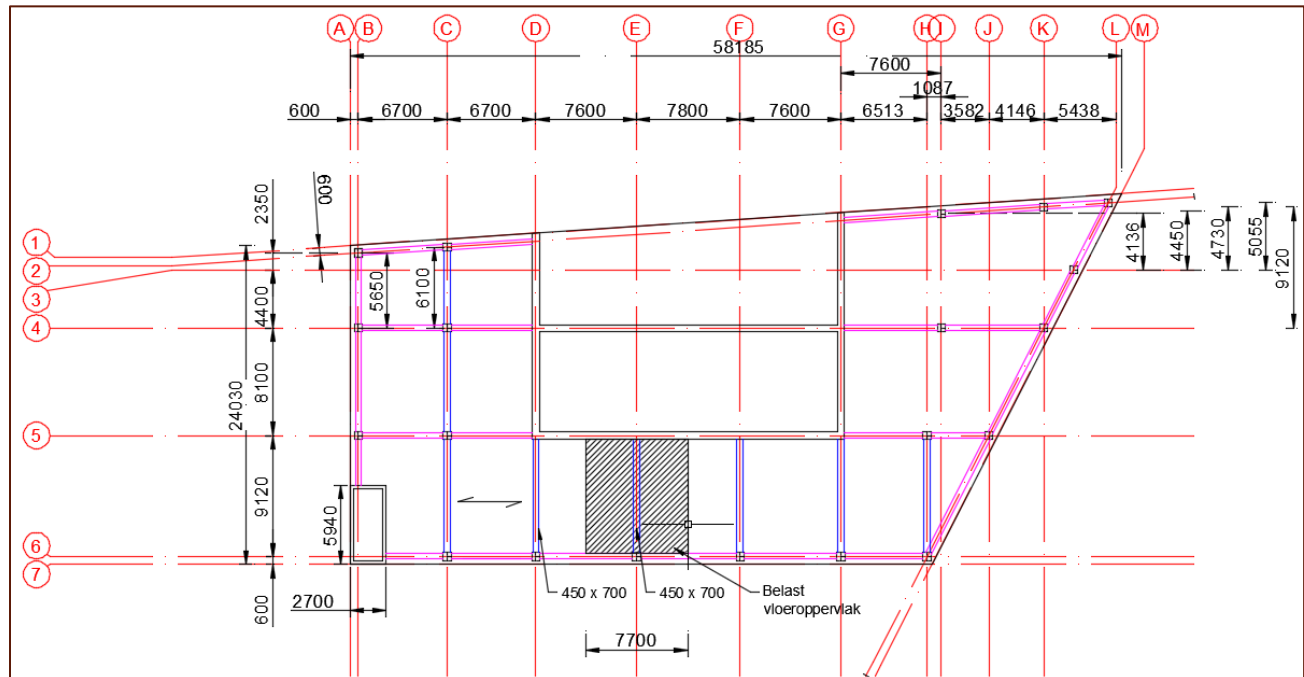
**Materiaaleigenschappen gelamineerde ligger: Houtkwaliteit GL 30h** [Tabel 5, NEN-EN 14080]

Houtkwaliteit GL 30h (blijkt slecht leverbaar, GL 24h is de standaard)

### Karakteristiek:

|                                               |                |   |                                               |                                       |
|-----------------------------------------------|----------------|---|-----------------------------------------------|---------------------------------------|
| Buigsterkte,                                  | $F_{m,g,k}$    | = | 30 N/mm <sup>2</sup>                          |                                       |
| Treksterkte vezelrichting,                    | $F_{t,0,g,k}$  | = | 24 N/mm <sup>2</sup>                          |                                       |
| Treksterkte loodrecht op vezelrichting        | $F_{t,90,g,k}$ | = | 2,5 N/mm <sup>2</sup>                         |                                       |
| Afschuifsterkte loodrecht op de vezelrichting | $F_{v,g,k}$    | = | 3,5 N/mm <sup>2</sup>                         | $F_{v,g,d} = 3,5 * 0,8 / 1,25 = 2,24$ |
| Elasticiteitsmodules,                         | $E_{0,g,mean}$ | = | 13600 N/mm                                    |                                       |
| Elasticiteitsmodules,                         | $E_{0,g,05}$   | = | 11300 N/mm                                    |                                       |
| Dichtheid,                                    | $\rho_{g,k}$   | = | 430 kg/m <sup>3</sup>                         |                                       |
| Breedte ligger                                | b              | = | 450 mm                                        |                                       |
| Hoogte ligger                                 | h              | = | 700 mm                                        |                                       |
| Diameter deuveld                              | d              | = | 14 mm                                         |                                       |
| Aantal deuvelds in een kolom                  |                | = | 5                                             |                                       |
| Reductie dwarsdoorsnede t.g.v. 1 deuveld      | r              | = | 14 * 450 = 6300 mm <sup>2</sup>               |                                       |
| Gereduceerde dwarsdoorsnede                   | $A_r$          | = | 450*700 - (5 * 6300) = 283500 mm <sup>2</sup> |                                       |
| Tijdsduur blootstelling aan brand, eis        | t              | = | 120 minuten                                   |                                       |

### Belast oppervlak en locatie desbetreffende ligger



### 3. Belastingen

[NEN-EN 1991-1-1+C1]

Werkende vloerbreedte op ligger: 7,7 meter

Blijvende belastingen  $G_k$ :

Eigen gewicht vloer:  $7,7 * 1 * 0,32 * 5 = 12,32 \text{ kN/m}^1$

Dichtheid: 5  $\text{kN/m}^3$

Dikte: 0,32 meter

Eigen gewicht ligger:  $1 * 0,45 * 0,7 * 4,3 = 1,36 \text{ kN/m}^1$

Breedte: 0,45 meter

Hoogte: 0,7 meter

Dichtheid: 4,3  $\text{kN/m}^3$

$\frac{+}{13,68 \text{ kN/m}^1}$

Veranderlijke belastingen  $Q_k$ :

Kantoorbelasting:  $7,7 * 1 * 2,5 = 19,25 \text{ kN/m}^1$  [Tabel NB.1 – 6.2., NEN-EN 1991-1-1/NB]

Gebouwen: 2,5  $\text{kN/m}^2$

Scheidingswanden:  $7,7 * 1 * 1,2 = 9,24 \text{ kN/m}^1$

1,2  $\text{kN/m}^2$

$\frac{+}{28,49 \text{ kN/m}^1}$

#### 3.1. Belastingcombinaties

Opgelegde belasting geeft  $\psi_0 = 0,5$

[tab. NB.2 – A1.1 NEN-EN 1990+A1+A1/NB]

6.10a

$1,5 * 13,6 + 1,65 * 0,5 * 28,49 = 44 \text{ kN/m}^1$

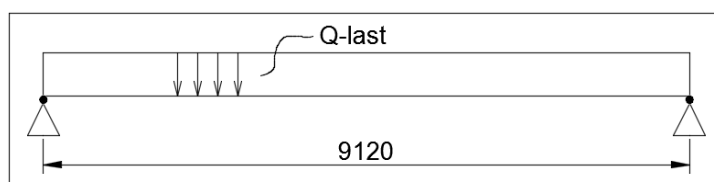
[Art. 6.4.3.2. NEN-EN 1991-1-1+C1]

6.10b

$1,3 * 13,6 + 1,65 * 1 * 28,49 = 65 \text{ kN/m}^1$

[Art. 6.4.3.2. (3) NEN-EN 1991-1-1+C1]

#### 3.2. Schema



$Q = 65 \text{ kN/m}$

## 4. Controle ligger

### 4.1. Sterkte

Optredend moment:

$$M = \frac{1}{8} * q * l^2 = \frac{1}{8} * 65 * 9,12^2 = 674 \text{ kNm}$$

Weerstandsmoment:

$$W = \frac{1}{6} * b * h^2 = \frac{1}{6} * 450 * 700^2 = 36.750.000 \text{ mm}^3$$

$\sigma_{m,d}$ :

$$\frac{M}{W} = \frac{674 * 10^6}{36750000} = 18,34 \text{ N/mm}^2$$

UC:

$$\sigma_{m,d} / f_{m,d} = 18,34 / 19,2 = 0,96 < 1,0 \text{ voldoet} \quad [\text{Art. 6.1.6 NEN-EN 1995-1-1}]$$

Dwarskracht:

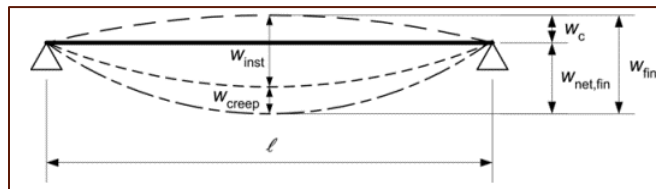
$$\tau_d = \frac{Q * l}{2} = \frac{65 * 9,12}{2} = 296 \text{ kN}$$

$$f_{v,d} = A_r * F_{v,g,d} = 283500 * 2,24 = 635 \text{ kN}$$

UC:

$$\tau_d / f_{v,d} = 296 / 635 = 0,47 < 1,0 \text{ voldoet} \quad [\text{Art. 6.1.7 NEN-EN 1995-1-1}]$$

### 4.2. Vervorming



[Figuur 7.1 NEN-EN 1995-1-1]

Eigen gewicht vloer: 12,32 kN/m<sup>1</sup>

Eigen gewicht ligger: 1,36 kN/m<sup>1</sup>

Opgelegde vloerbelasting: 19,25 kN/m<sup>1</sup>

Scheidingswanden: 9,24 kN/m<sup>1</sup>

Traagheidsmoment I:  $\frac{1}{12} * b * h^3 = \frac{1}{12} * 450 * 700^3 = 1,29 * 10^{10} \text{ mm}^4$

K<sub>def</sub> = 0,8

[tabel 3.2, NEN-EN 1990+A1+A1]

$\psi_2$  = 0,3

[tab. NB.2 – A1.1 NEN-EN 1990+A1+A1/NB]

$\psi_0$  = 0,5

[tab. NB.2 – A1.1 NEN-EN 1990+A1+A1/NB]



|                            | $W_{inst}$                          | $W_{net,fin}$                       | $W_{fin}$                           |
|----------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|-------------------------------------|
| Ligger op twee steunpunten | $\varnothing 300 - \varnothing 500$ | $\varnothing 250 - \varnothing 350$ | $\varnothing 150 - \varnothing 300$ |
| Ligger in uitkraging       | $\varnothing 150 - \varnothing 250$ | $\varnothing 125 - \varnothing 175$ | $\varnothing 75 - \varnothing 150$  |

[Tabel 7.2 NEN-EN 1995-1-1]

$$W_{inst} = 9120/300 = 30,40\text{mm} \quad \text{tot} \quad 9120/500 = 18,24\text{mm}$$

$$W_{net,fin} = 9120/250 = 36,48\text{mm} \quad \text{tot} \quad 9120/350 = 26,06\text{mm}$$

$$W_{fin} = 9120/250 = 60,80\text{mm} \quad \text{tot} \quad 9120/350 = 30,40\text{mm}$$

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q_1} + \sum u_{fin,Q_i} \quad (2.2)$$

waarin:

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} (1 + k_{def}) \quad \text{voor de blijvende belasting } G \quad (2.3)$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} (1 + \varphi_{2,1} k_{def}) \quad \text{voor de overheersende veranderlijke belasting } Q_1 \quad (2.4)$$

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} (\varphi_{0,i} + \varphi_{2,i} k_{def}) \quad \text{voor de gelijktijdige veranderlijke belastingen } Q_i (i > 1) \quad (2.5)$$

[Art 2.2.3. NEN-EN 1995-1-1]

$$W_{inst} = \frac{5 \cdot Q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} = \frac{5 \cdot 42,17 \cdot 9120^4}{384 \cdot 13600 \cdot 1,29 \cdot 10^{10}} = 21,65\text{mm}$$

$$U_{fin,g} = \frac{5 \cdot Q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \cdot (1 + k_{def}) = \frac{5 \cdot 13,68 \cdot 9120^4}{384 \cdot 13600 \cdot 1,29 \cdot 10^{10}} \cdot (1 + 0,8) = 12,64\text{mm}$$

$$U_{fin,Q,1} = \frac{5 \cdot Q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \cdot (1 + k_{def} \cdot \Psi_2) = \frac{5 \cdot 19,25 \cdot 9120^4}{384 \cdot 13600 \cdot 1,29 \cdot 10^{10}} \cdot (1 + 0,8 \cdot 0,3) = 12,25\text{mm}$$

$$U_{fin,Q,2} = \frac{5 \cdot Q \cdot L^4}{384 \cdot E \cdot I} \cdot (\Psi_0 + k_{def} \cdot \Psi_2) = \frac{5 \cdot 9,24 \cdot 9120^4}{384 \cdot 13600 \cdot 1,29 \cdot 10^{10}} \cdot (0,5 + 0,8 \cdot 0,3) = 3,51\text{mm}$$

$$U_{fin} = U_{fin,g} + U_{fin,Q,1} + U_{fin,Q,2} = 12,64 + 12,25 + 3,51 = 28,4 \text{ mm} < 61 \text{ mm, voldoet}$$

$$U_{net,fin} = U_{fin} - W_c = 29,34 - 10 = 18,4 \text{ mm} < 36 \text{ mm, voldoet [Figuur 7.1 NEN-EN 1995-1-1]}$$

- Een toog van 10mm wordt toegepast
- Ondersteuning waarop scheidingswanden rusten wordt een doorbuiging van niet meer dan 15mm aanbevolen.

#### 4.3. Stabiliteit

$$\sigma_{m,d} \leq k_{crit} * f_{m,d} \text{ geeft: } 18,33 \leq 1 * 19,2, \text{voldoet} \quad [\text{Art. 6.3.3. (3) NEN-EN 1995-1-1}]$$

Waarin:

$$k_{crit} = \begin{cases} 1 & \text{voor } \lambda_{rel,m} \leq 0,75 \\ 1,56 - 0,75\lambda_{rel,m} & \text{voor } 0,75 < \lambda_{rel,m} \leq 1,4 \\ \frac{1}{\lambda_{rel,m}^2} & \text{voor } 1,4 < \lambda_{rel,m} \end{cases}$$

[Art. 6.3.3. (4) NEN-EN 1995-1-1]

Waarin:

$$\lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{f_{m,d}}{\sigma_{m,crit}}} = 0,34 \quad [\text{Art. 6.3.3.(2) NEN-EN 1995-1-1}]$$

Waarin:

$$f_{m,d} = 19,2 \text{ N/mm}^2$$

$$\sigma_{m,crit} = \frac{M_{y,crit}}{W_y} = \frac{\pi * \sqrt{E_{0,05} * I_z * G_{0,05} * I_{tor}}}{L_{ef} * W_y}$$

[Art. 6.3.3.(2) NEN-EN 1995-1-1]

$$\sigma_{m,crit} = \frac{3,14 * \sqrt{10800 * 5,32 * 10^9 * 540 * 1,27 * 10^{10}}}{10133,33 * 36750000} = 167,1 \text{ N/mm}^2$$

Waarin:

$$F_{m,d} = 19,2 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,05} = 10800 \text{ N/mm}^2$$

$$G_{0,05} = 540 \text{ N/mm}^2$$

$$I_z = 5,32 * 10^9 \text{ mm}^4$$

$$I_{tor} = \beta * h * (b^3) = 0,19967 * 700 * (450^3) = 1,27 * 10^{10} \text{ mm}^4 \quad [\text{figuur 1}]$$

$$L_{ef} = L / I^a = 9120 / 0,9 = 10133,33 \text{ m}$$

$$W_y = 36750000 \text{ mm}^3$$

$$I^a = 0,9 \text{ voor een ligger op twee steunp. Bij gelijkmatig verdeelde belasting}$$

$$a = h = 700 \text{ mm}$$

$$b = b = 450 \text{ mm}$$

$$a/b = 1,56$$

$$\beta = 0,19967$$

$$\text{Geeft: } \lambda_{rel,m} = \sqrt{\frac{19,2}{172,9}} = 0,33$$

$$\text{Geeft: } K_{crit} = 1$$

**Rectangle** [edit]

$$J \approx \beta a b^3$$

where

a is the length of the long side

b is the length of the short side

$\beta$  is found from the following table:

| a/b | $\beta$ |
|-----|---------|
| 1.0 | 0.141   |
| 1.5 | 0.196   |
| 2.0 | 0.229   |
| 2.5 | 0.249   |
| 3.0 | 0.263   |
| 4.0 | 0.281   |
| 5.0 | 0.291   |
| 6.0 | 0.299   |

Figuur 1 - Torsiemoment  
Bron: wikipedia

#### 4.4. Brand

##### 4.4.1. Belastingen

Werkende vloerbreedte op ligger: 7,7 meter

##### Blijvende belastingen $G_k$ :

Eigen gewicht vloer:  $7,7 * 1 * 0,32 * 5 = 12,32 \text{ kN/m}^1$

Dichtheid: 5  $\text{kN/m}^3$

Dikte: 0,32 meter

Eigen gewicht ligger:  $1 * 0,45 * 0,7 * 4,3 = 1,36 \text{ kN/m}^1$

Breedte: 0,45 meter

Hoogte: 0,7 meter

Dichtheid: 4,3  $\text{kN/m}^3$

+  
13,68  $\text{kN/m}^1$

##### Veranderlijke belastingen $Q_k$ :

Kantoorbelasting:  $7,7 * 1 * 2,5 = 19,25 \text{ kN/m}^1$  [Tabel NB.1 – 6.2., NEN-EN 1991-1-1/NB]

Gebouwen: 2,5  $\text{kN/m}^2$

Scheidingswanden:  $7,7 * 1 * 1,2 = 9,24 \text{ kN/m}^1$

1,2  $\text{kN/m}^2$

+  
28,49  $\text{kN/m}^1$

#### 5.1. Belastingcombinaties

Geen combinatie met wind dus uitsluitend  $\psi_{2,1} = 0,3$  [Tabel NB.7 & A1.1, NEN-EN 1990+A1+A1]

##### 6.11a

$1,0 * 13,6 + 1,0 * 0,3 * 28,49 = 22 \text{ kN/m}^1$  [Tabel NB.7 – A1.3, NEN-EN 1990+A1+A1/NB]

##### **A1.3.2 Rekenwaarden van belastingen in buitengewone en ontwerp- en berekeningssituatie**

(1) De partiële factoren voor belastingen wat betreft de uiterste grenstoestanden in geval van buitengewone en ontwerp- en berekeningssituatie (formules 6.11a tot en met 6.12b) behoren gelijk aan 1,0 te zijn.  $\psi$ -waarden zijn gegeven in tabel A1.1.

OPMERKING Voor de aardbevingsontwerpsituatie zie ook EN 1998.

**Tabel NB.7 – A1.3 — Rekenwaarden van belastingen voor het gebruik in buitengewone en aardbevingsbelastingcombinaties**

| Ontwerpsituatie             | Blijvende belastingen    |                          | Overheersende buitengewone of aardbevingsbelasting | Veranderlijke belastingen gelijktijdig met de overheersende |                              |
|-----------------------------|--------------------------|--------------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------|
|                             | Ongunstig                | Gunstig                  |                                                    | Belangrijkste (indien aanwezig)                             | Andere                       |
| Buitengewoon (Vgl. 6.11a/b) | $1,0 G_{k,j,\text{sup}}$ | $1,0 G_{k,j,\text{inf}}$ | $1,0 A_d$                                          | $\psi_{1,1} Q_{k,1}^a$                                      | $\psi_{2,i} Q_{k,i} (i > 1)$ |
| Aardbeving (Vgl. 6.12a/b)   | $1,0 G_{k,j,\text{sup}}$ | $1,0 G_{k,j,\text{inf}}$ | $1,0 A_{ek}$ of $1,0 A_{Ed}$                       | $\psi_{2,1} Q_{k,1}$                                        | $\psi_{2,i} Q_{k,i} (i > 1)$ |

<sup>a</sup> Uitsluitend voor wind in combinatie met brand bij het beoordelen van disproportionele schade volgens NEN-EN 1991-1-7; voor overige gevallen  $\psi_{2,1}$ .

### 5.1.1. Rekenwaarde sterkte-eigenschappen

$$f_{20} = k_{fi} * f$$

[art 2.3 (3) NEN-EN 1995-1-2]

$$S_{20} = k_{fi} * S_{05}$$

[art 2.3 (3) NEN-EN 1995-1-2]

#### Waarin:

$$k_{fi} = 1,15 \quad (\text{voor 'Connections with fasteners in shear with side members of wood and wood-based panels'})$$

[Tabel 2.1, NEN-EN 1995-1-2]

#### Geeft:

$$f_{m,g,k,20} = 1,15 * 30 = 34,5 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{t,0,g,k,20} = 1,15 * 24 = 27,6 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,g,20} = 1,15 * 11300 = 12995 \text{ N/mm}$$

### 5.1.2. Inbranddiepte

Het effect van hoekafrondingen moet meegenomen worden bij een ligger, dus wordt de inbranddiepte berekend als de schijnbare inbranddiepte.

$$d_{char,n} = \beta_n * t = 0,7 * 120 = 84 \text{ mm}$$

[art. 3.4.2 (2), NEN-EN 1995-1-2]

#### Waarin:

$$\text{Schijnbare inbrandsnelheid} \quad \beta_n = 0,7$$

[tabel 3.1, NEN-EN 1995-1-2]

$$\text{Tijdsduur blootstelling aan brand} \quad t = 120 \text{ minuten}$$

$$\text{Volumieke massa} \quad \rho = 430 \text{ kg/m}^3$$

|                                                                                                | $\beta_n$ | $\beta_n$ |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
|                                                                                                | mm/min    | mm/min    |
| <b>a) Naaldhout en beuken</b>                                                                  |           |           |
| Gelijmd gelamineerd hout met een karakteristieke volumieke massa van $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ | 0,65      | 0,7       |
| Gezaagd hout met een karakteristieke volumieke massa van $\geq 290 \text{ kg/m}^3$             | 0,65      | 0,8       |

Oorspronkelijke afmetingen ligger: 450 x 700mm (b x h)

Afmetingen na inbranddiepte: 282 x 616mm (b x h)

### 5.1.3. Gereduceerde doorsnede methode

(5) De rekenwaarden van de sterkte- en stijfheidseigenschappen van de effectieve doorsnede behoren te zijn berekend met  $k_{mod,fi} = 1,0$ .

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \quad S_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}}$$

[art. 2.3, NEN-EN 1995-1-2]

Waarin:

$k_{mod,fi} = 1,0$  [art. 4.2.2 (5), NEN-EN 1995-1-2]

$\gamma_{M,fi} = 1,0$  [art. 2.3, NEN-EN 1995-1-2B]

$f_{m,g,k,20} = 34,5 \text{ N/mm}^2$

$f_{t,0,g,k,20} = 27,6 \text{ N/mm}^2$

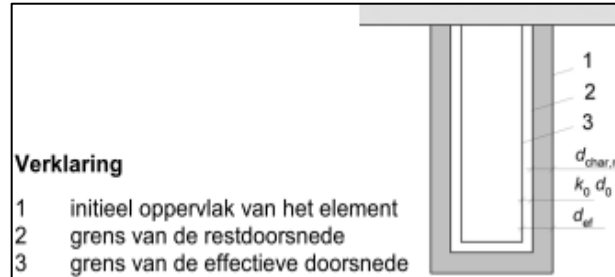
$S_{0,g,20}(E_{0,g,20}) = 12995 \text{ N/mm}$

Geeft:

$f_{d,fi,m,g} = 1 * 34,5 / 1 = 34,5 \text{ N/mm}^2$

$f_{d,fi,t,0,g} = 1 * 27,6 / 1 = 27,6 \text{ N/mm}^2$

$S_{d,fi}(E_{0,g,d}) = 1 * 12995 / 1 = 12995 \text{ N/mm}$



[figuur. 4.1, NEN-EN 1995-1-2]

Tabel 4.1 — Bepaling van  $k_0$  voor onbeschermd oppervlakken met  $t$  in min (zie figuur 4.2a)

|                         | $k_0$  |
|-------------------------|--------|
| $t < 20 \text{ min}$    | $t/20$ |
| $t \geq 20 \text{ min}$ | 1,0    |

Gereduceerde dwarsdoorsnede  $d_{ef} = d_{char,n} + k_0 + d_0$

[art. 4.2.2 (1), NEN-EN 1995-1-2]

Waarin:

$d_0 = 7 \text{ mm}$  (standaard gegeven)

[art. 4.2.2 (1), NEN-EN 1995-1-2]

$k_0 = 1$  (voor onbeschermd oppervlakten)

[tabel. 4.1, NEN-EN 1995-1-2]

$d_{char,n} = 84 \text{ mm}$

Geeft:

$84 + 1 * 7 = 91 \text{ mm}$

Breedte ligger:  $450 - 2 * 91 = 268 \text{ mm}$

Hoogte ligger:  $700 - 91 = 609 \text{ mm}$

Optredend moment:

$$M = \frac{1}{8} * q * l^2 = \frac{1}{8} * 22 * 9,12^2 = 230 \text{ kNm}$$

Weerstandsmoment:

$$W = \frac{1}{6} * b * h^2 = \frac{1}{6} * 268 * 609^2 = 16.566.018 \text{ mm}^3$$

$M_{Max}$ :

$$\sigma * w = 34,5 * 16.566.018 = 571 \text{ kNm}$$

$\sigma_{m,d}$ :

$$\frac{M}{W} = \frac{230 * 10^6}{16556018} = 13,89 \text{ N/mm}^2$$

UC:

$$\sigma_{m,d} / f_{m,k} = 13,18 / 34,5 = 0,40 \leq 1,0, \text{voldoet}$$

#### 5.1.4. Gereduceerde materiaaleigenschappen methode

$$\boxed{f_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}}} \quad \boxed{S_{d,fi} = k_{mod,fi} \frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}}} \quad [\text{art. 2.3, NEN-EN 1995-1-2}]$$

Waarin:

[art. 4.2.3 (3), NEN-EN 1995-1-2]

Voor de buigsterkte:  $k_{mod,fi} = \boxed{1,0 - \frac{1}{200} \frac{p}{A_r}} = 1,0 - ((1/200) * (1,514/0,17)) = 0,96$

Voor de druksterkte:  $k_{mod,fi} = \boxed{1,0 - \frac{1}{125} \frac{p}{A_r}} = 1,0 - ((1/125) * (1,514/0,17)) = 0,93$

Voor de treksterkte en  $E_{mod}$ :  $k_{mod,fi} = \boxed{1,0 - \frac{1}{330} \frac{p}{A_r}} = 1,0 - ((1/330) * (1,514/0,17)) = 0,97$

Waarin:

Omtrek van de aan brand blootgestelde doorsnede

$$P = 1,514 \text{ m}$$

Oppervlakte restdoorsnede

$$A_r = 0,173712 \text{ m}^2$$

Hoogte = 0,616 m

Breedte = 0,282 m

Geeft:

$$f_{fi,m,g,d} = 0,96 * 34,5 = 32,99 \text{ N/mm}^2$$

$$f_{fi,t,0,g,d} = 0,97 * 27,6 = 26,87 \text{ N/mm}^2$$

$$E_{0,g,d} = 0,97 * 12995 = 12651 \text{ N/mm}$$

Optredend moment:

$$M = \frac{1}{8} * q * l^2 = \frac{1}{8} * 22 * 9,12^2 = 230 \text{ kNm}$$

Weerstandsmoment:

$$W = \frac{1}{6} * b * h^2 = \frac{1}{6} * 282 * 616^2 = 17.834.423 \text{ mm}^3$$

$M_{\text{Max}}$ :

$$\sigma * W = 32,99 * 17.834.423 = 588 \text{ kNm}$$

$\sigma_{m,d}$ :

$$\frac{M}{W} = \frac{230 * 10^6}{17834423} = 12,89 \text{ N/mm}^2$$

UC:

$$\sigma_{m,d} / f_{m,k} = 12,89 / 34,5 = 0,37 \leq 1,0, \text{voldoet}$$

#### 5.1.5. Conclusie

De berekening op basis van de gereduceerde doorsnede en de gereduceerde materiaaleigenschappen voldoet in beide gevallen ruim. De uitkomst uit beide methoden komt praktisch overeen, de gereduceerde materiaaleigenschappen methode geeft een iets lagere uitkomst en wordt daarom als maatgevend bevonden.

## BIJLAGE 7A

Excelberekening deuvelverbinding

### OPDRACHTGEVER

**Arcadis**

Afdeling gebouwen

Lichtenauerlaan 100  
3062 ME Rotterdam

Begeleider:

Gerard van engelen

Senior Specialist Structural Engineering

### LEERINSTELLING

**Hogeschool Rotterdam**

Opleiding Civiele Techniek

G.J. de Jonghweg 4-6  
3015GG Rotterdam

Begeleider:

Sven van Rosmalen

### AFSTUDEERDERS

Roel Majoor

Maarten Schoen

Gerard van Engelen:

.....



## Berekening deuvelfverbinding

### Bepalen rekenwaarde materiaal eigenschap (invoer)

volgens NEN-EN 1995-1-1+C1+A1:2011

Klimaatklasse

- 1 vochtgehalte bij 20°C en een rel. vochtigheid hoger dan 65%
- 2 vochtgehalte bij 20°C en een rel. vochtigheid hoger dan 85%
- 3 klimaatomstandigheden met hogere vochtgehalten t.o.v. k2

Klimaatklasse: 2

Belastingduurklasse: Middellang

(kortste maatgevend)

$\gamma_M$  1,30 (Voor verbindingen)

Tabel 2.2 — Voorbeelden van toekenning van belastingduurklassen

| Belastingduurklasse | Belastingsvoorbeelden    |
|---------------------|--------------------------|
| Blijvend            | Eigen gewicht            |
| Lang                | Opslag                   |
| Middellang          | Opgelegde vloerbelasting |
| Kort                | Sneeuw, wind             |
| Zeer kort           | Bijzondere belasting     |

Tabel 2.1 — Belastingduurklassen

| Belastingduurklasse | Grootteorde van de cumulatieve duur van de karakteristieke belasting |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Blijvend            | Langer dan 10 jaar                                                   |
| Lang                | 6 maanden – 10 jaar                                                  |
| Middellang          | 1 week – 6 maanden                                                   |
| Kort                | Minder dan 1 week                                                    |
| Zeer kort           |                                                                      |

### Bepalen rekenwaarde materiaal eigenschap (uitvoer)

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M} \rightarrow X_k = f_{m,g,k} \& f_{t,0,g,k} \& \rho_{g,k}$$

$k_{mod}$  0,8  
(afhankelijk van klimaat en belastingduurklasse)

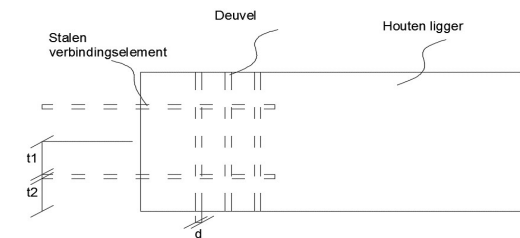
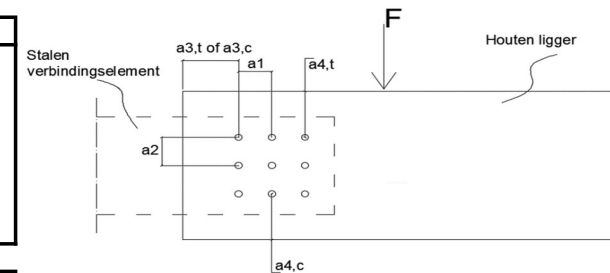
| Materiaal eigenschappen gelamineerd hout GL 30h |       |                   |                       | Rekenwaarde waarde |                   |
|-------------------------------------------------|-------|-------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|
| $f_{m,g,k}$                                     | 30    | N/mm <sup>2</sup> | Buigsterkte           | 18,5               | N/mm <sup>2</sup> |
| $f_{t,0,g,k}$                                   | 24    | N/mm <sup>2</sup> | Treksterkte           | 14,8               | N/mm <sup>2</sup> |
| $E_{0,g,mean}$                                  | 13600 | N/mm              | Elasticiteits modulus | nvt                | N/mm              |
| $\rho_{g,k}$                                    | 430   | kg/m <sup>3</sup> | Dichtheid             | 264,6              | kg/m <sup>3</sup> |

| Materiaal eigenschappen deuvelf        |     |                   |             |
|----------------------------------------|-----|-------------------|-------------|
| d                                      | 16  | mm                | diameter    |
| $f_{u,k}$                              | 400 | N/mm <sup>2</sup> | Treksterkte |
| Tussenafstand 1 ( $a_1$ )              |     | 60                | mm          |
| Tussenafstand 2 ( $a_2$ )              |     | 60                | mm          |
| Eindafstand ( $a_{3,t}$ of $a_{3,c}$ ) |     | 120               | mm          |
| Randafstand 1 ( $a_{4,t}$ )            |     | 80                | mm          |
| Randafstand 2 ( $a_{4,c}$ )            |     | 80                | mm          |

| Materiaal eigenschappen staalplaat |     |                   |
|------------------------------------|-----|-------------------|
| t                                  | 12  | mm                |
| $f_{u,k}$                          | 235 | N/mm <sup>2</sup> |
|                                    |     | Treksterkte       |

| Slankheid ratio         |             |       |
|-------------------------|-------------|-------|
| $\lambda = \frac{t}{d}$ | t =         | 93 mm |
|                         | d =         | 16 mm |
|                         | $\lambda =$ | 5,81  |
|                         | $\lambda =$ | > 4   |
| VOLDOET                 |             |       |

|               |        |
|---------------|--------|
| ligger hoogte | 700 mm |
| 328 <         | 700    |
| VOLDOET       |        |



## Bepalen stuiksterkte (invoer)

### Bepalen stuiksterkte invoer

Hoek  $\alpha$  waaronder de kracht aangrijpt = 90 graden

Houtsoort = LVL

Reductie waarde  $k_{90}$ : 1,54  $k_{90}$

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 d & \text{for softwoods} \\ 1,30 + 0,015 d & \text{for LVL} \\ 0,90 + 0,015 d & \text{for hardwoods} \end{cases}$$

## Bepalen stuiksterkte (uitvoer)

### Stuiksterkte hout parallel aan de vezelrichting

$$f_{h,0,k} = 0,082 (1 - 0,01 d) \rho_k = f_{h,0,k} \quad 29,6 \text{ N/mm}^2$$

### Stuiksterkte onder een hoek met de vezelrichting

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = f_{h,\alpha,k} \quad 19,2 \text{ N/mm}^2$$

### Stuiksterkte loodrecht op de vezelrichting

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = f_{h,90,k} \quad 19,2 \text{ N/mm}^2$$

### Berekening vloeimoment deuveld

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} = M_{y,Rk} \quad 162141,1 \text{ Nmm}$$

## Bepalen minimale (tussen) deuvelfafstanden (invoer)

Richting van de reactiekracht in de deuvelfverbinding:

hoek  $\alpha = 270 \quad 0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$

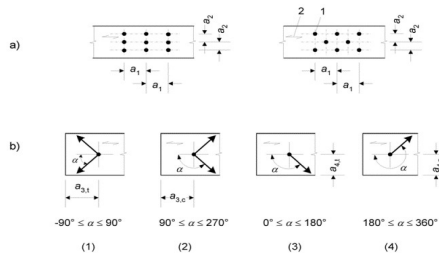
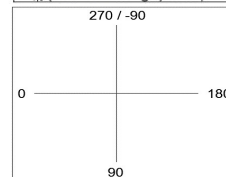


Figure 8.7 – Spacings and end and edge distances  
(a) Spacing parallel to grain in a row and perpendicular to grain between rows, (b) Edge and end distances

## Bepalen minimale (tussen) deuvelfafstanden (uitvoer)

Table 8.5 – Minimum spacings and edge and end distances for dowels

| Spacing and edge/end distances (see Figure 8.7) | Angle                                                                                                               | Minimum spacing or edge/end distance                                                                                 |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $a_1$ (parallel to grain)                       | $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$                                                                                | $(3 + 2  \cos \alpha ) d$                                                                                            |
| $a_2$ (perpendicular to grain)                  | $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$                                                                                | $3 d$                                                                                                                |
| $a_{3,l}$ (loaded end)                          | $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$                                                                               | $\max(7 d; 80 \text{ mm})$                                                                                           |
| $a_{3,c}$ (unloaded end)                        | $90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$<br>$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$<br>$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$ | $\max(a_{3,l}  \sin \alpha  d; 3 d)$<br>$\max(a_{3,l}  \sin \alpha  d; 3 d)$<br>$\max(a_{3,l}  \sin \alpha  d; 3 d)$ |
| $a_{4,l}$ (loaded edge)                         | $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$                                                                                | $\max((2 + 2 \sin \alpha) d; 3 d)$                                                                                   |
| $a_{4,c}$ (unloaded edge)                       | $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$                                                                              | $3 d$                                                                                                                |



Tussenafstand  $\alpha_1 = 48 \text{ mm}$

Tussenafstand  $\alpha_2 = 48 \text{ mm}$

Eindafstand  $a_{3,t}$  of  $a_{3,c} = 112 \text{ mm}$

$(\alpha_{3,t} |\sin \alpha|)$  is aangenomen in plaats van  $(\alpha_{3,t} |\sin \alpha|) d$

Randafstand  $\alpha_{4,t} = 64 \text{ mm}$  Boven

Randafstand  $\alpha_{4,c} = 48 \text{ mm}$  Onder

### Gekozen tussenafstand

|              |        |         |
|--------------|--------|---------|
| $\alpha_1 =$ | 60 mm  | VOLDOET |
| $\alpha_2 =$ | 60 mm  | VOLDOET |
| $\alpha_1 =$ | 120 mm | VOLDOET |

### Gekozen randafstand

|                |       |         |
|----------------|-------|---------|
| $\alpha_{4,t}$ | 80 mm | VOLDOET |
| $\alpha_{4,c}$ | 80 mm | VOLDOET |

## Bepalen max. tolerantie waarden bouten, gaten en ringen

(1) The minimum dowel diameter should be 6 mm. The tolerances on the dowel diameter should be - 0/+0,1 mm. Pre-bored holes in the timber members should have a diameter not greater than the dowel.

### 10.4.3 Bolts and washers

(1) Bolt holes in timber should have a diameter not more than 1 mm larger than the bolt. Bolt holes in steel plates should have a diameter not more than 2 mm or 0,1d (whichever is the greater) larger than the bolt diameter  $d$ .

(2) Washers with a side length or a diameter of at least  $3d$  and a thickness of at least  $0,3d$  should be used under the head and nut. Washers should have a full bearing area.

(3) Bolts and lag screws should be tightened so that the members fit closely, and they should be re-tightened if necessary when the timber has reached equilibrium moisture content to ensure that the load-carrying capacity and stiffness of the structure is maintained.

(4) The minimum diameter requirements given in Table 10.1 apply to bolts used with timber connectors, where:

$d_c$  is the connector diameter, in mm;

$d$  is the bolt diameter, in mm

$d_1$  is the diameter of centre hole of connector.

Minimale diameter deuvel  $d \geq 6$  mm

Maximale diameter  $d < 30$  mm

## Bepalen max. tolerantie waarden bouten, gaten en ringen (uitvoer)

Gekozen diameter deuvel

16 mm

VOLDOET

Gat toleranties voor deuvels in hout

$d = 17$  mm

Gat toleranties voor deuvels in staal

$d = 18$  mm

Minimale afmetingen sluitring

$d = 48$  mm

diameter sluitring

$t = 4,8$  mm

dikte sluitring

Table 10.1 – Requirements for diameters of bolts used with timber connectors

| Type of connector<br>EN 912 | $d_c$      | $d$<br>minimum | $d$<br>maximum |
|-----------------------------|------------|----------------|----------------|
|                             | mm         | mm             | mm             |
| A1 – A6                     | $\leq 130$ | 12             | 24             |
| A1, A4, A6                  | $> 130$    | $0,1 d_c$      | 24             |
| B                           |            | $d_1 - 1$      | $d_1$          |

## Bepalen klassificatie staalplaat (invoer)

Het draagvermogen van de staal-hout verbinding hangt af van de dikte van de staalplaat. Er wordt onderscheid gemaakt tussen dunne, dikke staalplaten. Afhankelijk van de dikte moet er met een andere formule de draagvermogen berekend worden.

Dunne staalplaten wanneer:  $t \leq 0,5d$

Dikke staalplaat wanneer:  $t \geq d$   
met max gat tolerantie van  $0,1 \cdot d$

Bij een staalplaat die tussen dun en dik in zit worden beide formules geïntepoleerd

## Bepalen klassificatie staalplaat (invoer)

Bepalen dikte van de staalplaat voor berekening sterkte deuvel verbinding, Voorwaarden voor indelen naar dikte is:

$t =$  dikte gekozen staalplaat = 12 mm

$d =$  diameter gekozen deuvel = 16 mm

Dunne staalplaat 8 mm

Dikke staalplaat 16 mm

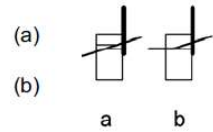
Kwalificatie staalplaat: Tussen

Tolerantie op gat diameter: 1,6 mm

## Berekening draagvermogen volgens eurocode (schema's)

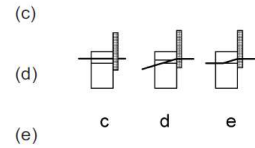
### Dunne staalplaat in enkelsnedige verbinding

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 f_{h,k} t_1 d \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



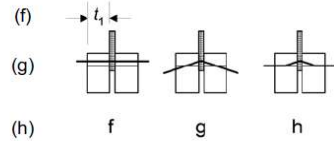
### Dikke staalplaat in enkelsnedige verbinding

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} t_1 d \\ f_{h,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



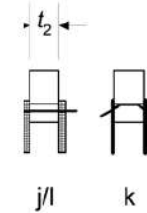
### Staalplaat van elke dikte als middelste element in een dubbelsnedige verbinding

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \\ f_{h,1,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



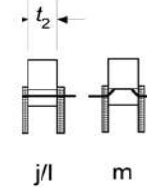
### Dunne staalplaten als buitenste element in een dubbelsnedige verbinding

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{(j)} \\ \text{(k)} \end{array}$$



### Dikke staalplaat als buitenste elementen in een dubbelsnedige verbinding

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{(l)} \\ \text{(m)} \end{array}$$



where:

- $F_{v,Rk}$  is the characteristic load-carrying capacity per shear plane per fastener;
- $f_{h,k}$  is the characteristic embedment strength in the timber member;
- $t_1$  is the smaller of the thickness of the timber side member or the penetration depth;
- $t_2$  is the thickness of the timber middle member;
- $d$  is the fastener diameter;
- $M_{y,Rk}$  is the characteristic fastener yield moment;
- $F_{ax,Rk}$  is the characteristic withdrawal capacity of the fastener.

## Draagcapaciteit meersnede verbinding (invoer)

De weerstand van elk afschuifvlak moet berekend worden door aan te nemen dat elk afschuifvlak onderdeel is van een three member verbinding

Bezwijkmode (e), (f) en (j/l) mogen niet gecombineerd worden

### Invoer

|                                                 |                        |
|-------------------------------------------------|------------------------|
| $t_1$                                           | 93,5 mm                |
| $t_2$                                           | 187 mm                 |
| Afschuifvlakken deugel                          | 4 st.                  |
| Aant. deugels in een rij                        | 3 st.                  |
| Aantal rijen                                    | 3 st.                  |
| Hoek $\alpha$                                   | 90 Graden              |
| Stuiksterkte hout parallel aan de vezelrichting | 29,6 N/mm <sup>2</sup> |
| Stuiksterkte onder hoek met de vezelrichting    | 19,2 N/mm <sup>2</sup> |
| Stuiksterkte loodrecht op de vezelrichting      | 19,2 N/mm <sup>2</sup> |
| Vloeimoment deugel                              | 162141,1 N/mm          |

## Draagcapaciteit meersnede verbinding (uitvoer)

### Alle staalplaten

|   |            |   |       |   |                                       |
|---|------------|---|-------|---|---------------------------------------|
| g | $F_{v,Rk}$ | = | 20760 | N | in vezelrichting                      |
| g | $F_{v,Rk}$ | = | 14300 | N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |
| h | $F_{v,Rk}$ | = | 20161 | N | in vezelrichting                      |
| h | $F_{v,Rk}$ | = | 16246 | N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

### Dunne staalplaten

|     |   |            |   |       |   |                                       |
|-----|---|------------|---|-------|---|---------------------------------------|
| Dun | k | $F_{v,Rk}$ | = | 14256 | N | in vezelrichting                      |
|     | k | $F_{v,Rk}$ | = | 11488 | N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

### Dikke staalplaten

|     |   |            |   |       |   |                                       |
|-----|---|------------|---|-------|---|---------------------------------------|
| Dik | m | $F_{v,Rk}$ | = | 20161 | N | in vezelrichting                      |
|     | m | $F_{v,Rk}$ | = | 16246 | N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

### Tussen

### Tussen staalplaten

|              |            |   |       |   |                                       |
|--------------|------------|---|-------|---|---------------------------------------|
| interpolatie | $F_{v,Rk}$ | = | 17209 | N | in vezelrichting                      |
| tussen k & m | $F_{v,Rk}$ | = | 13867 | N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

**Min waarden uit de formule 'g' & 'h' & k('Dun') OF m('Dik') OF k&m('Tussen') = draagcapaciteit per afschuifvlak**

|             |            |   |       |   |                                       |
|-------------|------------|---|-------|---|---------------------------------------|
| min g,h,k,m | $F_{v,Rk}$ | = | 17209 | N | in vezelrichting                      |
|             | $F_{v,Rk}$ | = | 13867 | N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

Wanneer de staalplaat geclassificeerd is als 'tussen' wordt de waarde voor de op te nemen kracht per afschuifvlak berekend door het interpoleren tussen de waarden van de dun en dik geclassificeerde staalplaten. Hierom zijn de waarden voor de dunne en dikke staalplaten in dit geval wel berekend.

| Effectieve deuvels en totaal draagcapaciteit (invoer)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                      |  | Aantal effectieve deuvels en totaal draagcapaciteit (uitvoer)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |  |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--|
| <p>Bij een meervoudige deuvelverbinding moet een reductiefactor meegenomen worden als er meerdere deuvels in een rij zitten</p> <p>Afschuifvlakken deuvel                      4 st.</p> <p>Aant. deuvels in een rij                        3 st.</p> <p>Aantal rijen                                        3 st.</p> <p>Hoek <math>\alpha</math>                                            90 Graden</p> <p>draagcapaciteit per afschuifvlak</p> <p>in vezelrichting                                    17209    N</p> <p>in hoek <math>\alpha</math> met de vezelrichting                13867    N</p> <p><math>k_{mod}</math>                                                =                                                        0,8</p> <p><math>\gamma_M</math>                                                    =                                                        1,3</p> <p>Bij hoeken tussen <math>0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ</math> kan <math>n_{ef}</math> worden bepaald door lineaire interpolatie</p> |  | <p>Effectieve deuvels in een rij parallel aan de vezelrichting                      <math>n_{ef} = \min \left\{ \frac{n}{n^{0,9} \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}}} \right\}</math></p> <p><math>n_{ef,P}</math>                                                =                                                        1,97</p> <p>Effectieve deuvels in een rij loodrecht op de vezelrichting                      <math>n_{ef} = n</math></p> <p><math>n_{ef,L}</math>                                                =                                                        3</p> <p>Effectieve deuvels in een rij in een hoek <math>\alpha</math> op de vezelrichting                      <math>(= N_{ef,P} + (N_{ef,L} - N_{ef,P}) / 90 * \alpha)</math>                      <math>F_{v,d,Rk} = n_{ef} F_{v,Rk}</math></p> <p><math>n_{ef}</math>                                                =                                                        3</p> <p>Draagcapaciteit per rij deuvels (= aantal effectieve deuvels * aantal afschuifvlakken * draagcapaciteit per afschuifvlak)</p> <p><math>F_{v,Rk}</math>                                                =                                                        135593    N                                                in vezelrichting</p> <p><math>F_{v,\alpha,Rk}</math>                                            =                                                        166405    N                                                in hoek <math>\alpha</math> met de vezelrichting</p> <p>Draagcapaciteit per rij deuvels rekenwaarde (= draagcapaciteit deuvel * <math>k_{mod}</math> / <math>\gamma_M</math>)</p> <p><math>F_{v,Rd}</math>                                                =                                                        83442    N                                                in vezelrichting</p> <p><math>F_{v,\alpha,Rd}</math>                                            =                                                        102403    N                                                in hoek <math>\alpha</math> met de vezelrichting</p> <p>Draagcapaciteit totaal (= draagcapaciteit per rij deuvels * aantal rijen)</p> <p><math>F_{v,d,tot}</math>                                                =                                                        250325    N                                                in vezelrichting</p> <p><math>F_{v,\alpha,d,tot}</math>                                            =                                                        307210    N                                                in hoek <math>\alpha</math> met de vezelrichting</p> |  |
| Stijfheid verbinding (invoer)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              |  | Stijfheid verbinding (uitvoer)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |  |
| <p><math>\rho_{g,k}</math>                                                =                                                        430 kG/m<sup>3</sup></p> <p>d                                                        =                                                        16 mm</p> <p>Bij staal-hout of beton-hout verbindingen, mag <math>K_{ser}</math> vermenigvuldigd worden met 2</p> <p>De verschuivingmodulus van een verbinding bij de uiterste grenstoestand <math>K_u</math> behoort te worden genomen als:</p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |  | <p>Elastische vervorming verbinding per afschuifvlak</p> <p><math>K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} d}{23}</math>                                    =                                                        12406    N/mm                                    per afschuifvlak</p> <p>Elastische vervorming gehele verbinding                      (= <math>K_{ser}</math> * aant. rijen deuvels * aant. deuvels / rij * aant. afschuifvlakken / deuvel)</p> <p><math>K_{ser,tot}</math>                                                446609    N/mm                                    (bruikbaarheidsgrenstoestand)</p> <p><math>K_u</math>                                                    297739    N/mm                                    (uiterste grenstoestand)                      <math>K_u = \frac{2}{3} K_{ser}</math></p>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                             |  |

| Vervorming (invoer)                                                                                                                                                                                                    |                                                           |         | Vervorming (uitvoer)                                                                                                                              |      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------|---------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----|
| Lengte ligger:                                                                                                                                                                                                         | 9,12m                                                     |         | Speling deuvel gatin houten ligger                                                                                                                | 1    | mm |
| Opleg reactie:                                                                                                                                                                                                         |                                                           |         | Speling deuvel gat in stalen element                                                                                                              | 2    | mm |
| T.g.v. het eigengewicht                                                                                                                                                                                                | G =                                                       | 53804 N | u <sub>speling,tot</sub>                                                                                                                          | 3    | mm |
| Overheersende veranderlijke belasting                                                                                                                                                                                  | Q <sub>1</sub> =                                          | 87780 N | Uit tabel 7.1 volgt dat de speling bij de vervorming opgeteld moet worden                                                                         |      |    |
| Overige veranderlijke belasting                                                                                                                                                                                        | Q <sub>i</sub> =                                          | 42134 N | u <sub>inst</sub>                                                                                                                                 | 3,41 | mm |
| Ψ <sub>0</sub>                                                                                                                                                                                                         | 0,7 NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011 - Tabel A1.1                |         | (= (G + Q <sub>1</sub> + Q <sub>i</sub> )/K <sub>ser,tot</sub> + u <sub>speling,tot</sub> )                                                       |      |    |
| Ψ <sub>2</sub>                                                                                                                                                                                                         | 0,3 NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011 - Tabel A1.1                |         | u <sub>fin,g</sub>                                                                                                                                | 0,22 | mm |
| k <sub>def</sub>                                                                                                                                                                                                       | 0,8 <b>Klimaat klasse 2 aangenomen, Nog nader bepalen</b> |         | $u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q_1} + \sum u_{fin,Q_i}$ (2.2)                                                                                      |      |    |
| (3) Bij verbindingen bestaande uit houten elementen met eenzelfde tijdsafhankelijk gedrag behoort de waarde van k <sub>def</sub> te zijn verdubbeld.                                                                   |                                                           |         | u <sub>fin,Q,1</sub>                                                                                                                              | 0,24 | mm |
| (4) Bij een verbinding bestaande uit twee houtachtige elementen met een verschillend tijdsafhankelijk gedrag behoort de uiteindelijke vervorming te zijn berekend met de volgende vervormingsfactor k <sub>def</sub> : |                                                           |         | u <sub>fin,Q,i</sub>                                                                                                                              | 0,09 | mm |
| $k_{def} = 2 \sqrt{k_{def,1} \cdot k_{def,2}}$                                                                                                                                                                         |                                                           |         | waarin:                                                                                                                                           |      |    |
| staal hout verbinding dus geen vermenigvuldiging factor                                                                                                                                                                |                                                           |         | u <sub>fin</sub>                                                                                                                                  | 3,55 | mm |
|                                                                                                                                                                                                                        |                                                           |         | $u_{fin,G} = u_{inst,G} (1 + k_{def})$ voor de blijvende belasting G (2.3)                                                                        |      |    |
|                                                                                                                                                                                                                        |                                                           |         | $u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} (1 + \varphi_{2,1} k_{def})$ voor de overheersende veranderlijke belasting Q <sub>1</sub> (2.4)                       |      |    |
|                                                                                                                                                                                                                        |                                                           |         | $u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} (\varphi_{0,i} + \varphi_{2,i} k_{def})$ voor de gelijktijdige veranderlijke belastingen Q <sub>i</sub> (i > 1) (2.5) |      |    |

(5)P It shall be taken into account that the load-carrying capacity of steel-to-timber connections with a loaded end may be reduced by failure along the perimeter of the fastener group.

NOTE: A method of determining the strength of the fastener group is given in Annex A (informative).

Tabel 3.2 — Waarden van  $k_{\text{def}}$  voor hout en houtachtige materialen

| Materiaal                | Norm     | Klimaatklasse |      |      |
|--------------------------|----------|---------------|------|------|
|                          |          | 1             | 2    | 3    |
| Gelijmd gelamineerd hout | EN 14080 | 0,60          | 0,80 | 2,00 |

$$K_{\text{mean,fin}} = \frac{K_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})}$$

#### 7.1 Joint slip

(1) For joints made with dowel-type fasteners the slip modulus  $K_{\text{ser}}$  per shear plane per fastener under service load should be taken from Table 7.1 with  $\rho_m$  in kg/m<sup>3</sup> and  $d$  or  $d_e$  in mm. For the definition of  $d_e$ , see EN 13271.

NOTE: In EN 26891 the symbol used is  $k_s$  instead of  $K_{\text{ser}}$ .

Table 7.1 – Values of  $K_{\text{ser}}$  for fasteners and connectors in N/mm in timber-to-timber and wood-based panel-to-timber connections

| Fastener type                                     | $K_{\text{ser}}$            |
|---------------------------------------------------|-----------------------------|
| Dowels                                            | $\rho_m^{1,5} d / 23$       |
| Bolts with or without clearance <sup>a</sup>      |                             |
| Screws                                            |                             |
| Nails (with pre-drilling)                         |                             |
| Nails (without pre-drilling)                      | $\rho_m^{1,5} d^{0,8} / 30$ |
| Staples                                           | $\rho_m^{1,5} d^{0,8} / 80$ |
| Split-ring connectors type A according to EN 912  |                             |
| Shear-plate connectors type B according to EN 912 | $\rho_m d / 2$              |
| Toothed-plate connectors:                         |                             |
| – Connectors types C1 to C9 according to EN 912   | $1,5 \rho_m d / 4$          |
| – Connectors type C10 and C11 according to EN 912 | $\rho_m d / 2$              |

<sup>a</sup> The clearance should be added separately to the deformation.

Tabel 3.1 — Waarden van  $k_{\text{mod}}$

| Materiaal                | Norm     | Klimaat-klasse | Belastingsduurklasse |      |            |      |           |
|--------------------------|----------|----------------|----------------------|------|------------|------|-----------|
|                          |          |                | Blijvend             | Lang | Middellang | Kort | Zeer kort |
| Gelijmd gelamineerd hout | EN 14080 | 1              | 0,60                 | 0,70 | 0,80       | 0,90 | 1,10      |
|                          |          | 2              | 0,60                 | 0,70 | 0,80       | 0,90 | 1,10      |
|                          |          | 3              | 0,50                 | 0,55 | 0,65       | 0,70 | 0,90      |

Tabel NB.2 – A1.1 —  $\psi$ -factoren voor gebouwen

| Belasting                                                                                                                                                                                                           | $\psi_0$             | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------|----------|
| Voorgeschreven belastingen in gebouwen, categorie                                                                                                                                                                   |                      |          |          |
| Categorie A: woon- en verblijfsruimtes                                                                                                                                                                              | 0,4                  | 0,5      | 0,3      |
| Categorie B: kantoorruimtes                                                                                                                                                                                         | 0,5                  | 0,5      | 0,3      |
| Categorie C: bijeenkomst-ruimtes                                                                                                                                                                                    | 0,6/0,4 <sup>a</sup> | 0,7      | 0,6      |
| Categorie D: winkelruimtes                                                                                                                                                                                          | 0,4                  | 0,7      | 0,6      |
| Categorie E: opslagruimtes                                                                                                                                                                                          | 1,0                  | 0,9      | 0,8      |
| Categorie F: verkeersruimte, voertuiggewicht ≤ 30 kN                                                                                                                                                                | 0,7                  | 0,7      | 0,6      |
| Categorie G: verkeersruimte <sup>b</sup> , 30 kN < voertuiggewicht ≤ 160 kN                                                                                                                                         | 0,7                  | 0,5      | 0,3      |
| Categorie H: daken                                                                                                                                                                                                  | 0                    | 0        | 0        |
| Sneeuwbelasting                                                                                                                                                                                                     | 0                    | 0,2      | 0        |
| Belasting door regenwater                                                                                                                                                                                           | 0                    | 0        | 0        |
| Windbelasting                                                                                                                                                                                                       | 0                    | 0,2      | 0        |
| Temperatuur (geen brand)                                                                                                                                                                                            | 0                    | 0,5      | 0        |
| <sup>a</sup> De waarde 0,6 geldt voor delen van het gebouw die in geval van een calamiteit zwaar kunnen worden belast door een mensenmenigte (vluchtroutes, trappen enz.); de waarde 0,4 geldt in overige gevallen. |                      |          |          |
| <sup>b</sup> Met verkeersruimte wordt in dit geval een ruimte bedoeld waar voertuigen kunnen rijden, bijvoorbeeld parkeergarages.                                                                                   |                      |          |          |

(3) For steel-to-timber or concrete-to-timber connections,  $K_{\text{ser}}$  should be based on  $\rho_m$  for the timber member and may be multiplied by 2,0.

Tabel 2.3 — Aanbevolen partiële factoren  $\gamma_M$  voor materiaaleigenschappen en weerstanden

|                           |      |
|---------------------------|------|
| Fundamentele combinaties: |      |
| Gezaagd hout              | 1,3  |
| Gelijmd gelamineerd hout  | 1,25 |
| LVL, multiplex, OSB       | 1,2  |
| Spaanplaten               | 1,3  |
| Vezelplaten, hard         | 1,3  |
| Vezelplaten, medium       | 1,3  |
| Vezelplaten, MDF          | 1,3  |
| Vezelplaten, zacht        | 1,3  |
| Verbindingen              | 1,3  |
| Metalen hechtplaten       | 1,25 |
| Bijzondere combinaties    | 1,0  |



|                  |                                                                                |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| $f_{m,0,rep}$    | buigsterkte evenwijdig aan de vezel                                            |
| $E_{0,ser,rep}$  | elasticiteitsmodulus evenwijdig aan de vezel in de bruikbaarheidsgrenstoestand |
| $\rho_{rep}$     | volumieke massa                                                                |
| $f_{t,0,rep}$    | treksterkte evenwijdig aan de vezel                                            |
| $f_{t,90,rep}$   | treksterkte loodrecht op de vezel                                              |
| $f_{c,0,rep}$    | druksterkte evenwijdig aan de vezel                                            |
| $f_{c,90,rep}$   | druksterkte loodrecht op de vezel                                              |
| $f_{v,0,rep}$    | schuifsterkte                                                                  |
| $E_{0,u,rep}$    | elasticiteitsmodulus evenwijdig aan de vezel in de uiterste grenstoestand      |
| $E_{90,ser,rep}$ | elasticiteitsmodulus loodrecht op de vezel bij naaldhout                       |
| $E_{90,ser,rep}$ | elasticiteitsmodulus loodrecht op de vezel bij loofhout                        |
| $G_{ser,rep}$    | afschuivingmodulus                                                             |

|                                       |         |            |                 |
|---------------------------------------|---------|------------|-----------------|
| ter vergelijking met het gebouw treet |         |            |                 |
| gegevens treet                        |         | totaal     | uitkomst treet  |
| diameter deuvels                      | 12      | 12702,0067 | 609696,3239 447 |
| Pm =                                  | 430*2 = | 840        |                 |
| aantal deuvels                        | 12      |            |                 |

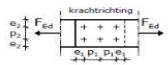
|            |       |   |          |
|------------|-------|---|----------|
| 447 /      | (2/3) | = | 670,5    |
| 670,5 /    | 2     | = | 335,25   |
| 335,25 *   | 1,25  | = | 419,0625 |
| 419,0625 / | 1,25  | = | 335,25   |
| 335,25 *   | 2     | = | 670,5    |
| 670,5 *    | (2/3) | = | 447      |

Table 5 — Characteristic strength and stiffness properties an N/mm² and densities in kg/m³ for homogeneous glulam

| Property                           | Symbol          | Glulam strength class |        |        |        |        |        |        |
|------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                    |                 | GL 20h                | GL 22h | GL 24h | GL 26h | GL 28h | GL 30h | GL 32h |
| Bending strength                   | $f_{m,g,k}$     | 20                    | 22     | 24     | 26     | 28     | 30     | 32     |
| Tensile strength                   | $f_{t,0,g,k}$   | 16                    | 17,6   | 19,2   | 20,8   | 22,3   | 24     | 25,6   |
|                                    | $f_{t,90,g,k}$  | 0,5                   |        |        |        |        |        |        |
| Compression strength               | $f_{c,0,g,k}$   | 20                    | 22     | 24     | 26     | 28     | 30     | 32     |
|                                    | $f_{c,90,g,k}$  | 2,5                   |        |        |        |        |        |        |
| Shear strength (shear and torsion) | $f_{v,g,k}$     | 3,5                   |        |        |        |        |        |        |
| Rolling shear strength             | $f_{r,g,k}$     | 1,2                   |        |        |        |        |        |        |
| Modulus of elasticity              | $E_{0,g,mean}$  | 8 400                 | 10 500 | 11 500 | 12 100 | 12 600 | 13 600 | 14 200 |
|                                    | $E_{0,g,05}$    | 7 000                 | 8 800  | 9 600  | 10 100 | 10 500 | 11 300 | 11 800 |
|                                    | $E_{90,g,mean}$ | 300                   |        |        |        |        |        |        |
|                                    | $E_{90,g,05}$   | 250                   |        |        |        |        |        |        |
| Shear modulus                      | $G_{g,mean}$    | 650                   |        |        |        |        |        |        |
|                                    | $G_{g,05}$      | 540                   |        |        |        |        |        |        |
| Rolling shear modulus              | $G_{r,g,mean}$  | 65                    |        |        |        |        |        |        |
|                                    | $G_{r,g,05}$    | 54                    |        |        |        |        |        |        |
| Density                            | $\rho_{g,k}$    | 340                   | 370    | 385    | 405    | 425    | 430    | 440    |
|                                    | $\rho_{g,mean}$ | 370                   | 410    | 420    | 445    | 460    | 480    | 490    |

## Controle staalplaat

### Invoer



e = eindafstand  
p = steek  
e<sub>1</sub> en p<sub>1</sub> : evenwijdig aan krachtrichting  
e<sub>2</sub> en p<sub>2</sub> : loodrecht op krachtrichting

| minimumwaarden<br>volgens Eurocode 3 | maximumwaarden<br>volgens Eurocode 3 | bout-<br>diameter d <sub>b</sub> | minimale boutafstanden |                |                |                |
|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------------------|------------------------|----------------|----------------|----------------|
|                                      |                                      |                                  | p <sub>1</sub>         | p <sub>2</sub> | e <sub>1</sub> | e <sub>2</sub> |
| e <sub>1</sub> ≥ 1,2 d <sub>b</sub>  | e <sub>1</sub> ≤ 4 t + 40 mm         | M12                              | 35                     | 35             | 20             | 20             |
| e <sub>2</sub> ≥ 1,5 d <sub>b</sub>  | e <sub>2</sub> ≤ 4 t + 40 mm         | M16                              | 40                     | 45             | 25             | 25             |
| p <sub>1</sub> ≥ 2,2 d <sub>b</sub>  | p <sub>1</sub> ≤ 14 t of 200 mm      | M20                              | 50                     | 55             | 30             | 30             |
| p <sub>2</sub> ≥ 3,0 d <sub>b</sub>  | p <sub>2</sub> ≤ 14 t of 200 mm      | M24                              | 60                     | 65             | 35             | 35             |
|                                      |                                      | M30                              | 70                     | 80             | 40             | 40             |

Bout diameter = M16

p1 = 60 mm  
p2 = 60 mm  
e1 = 50 mm  
e2 = 120 mm

f<sub>ub</sub> = 400 N/mm<sup>2</sup>  
f<sub>u</sub> = 235 N/mm<sup>2</sup>  
Diameter deuvel = 16 mm  
Dikte staalplaat = 12 mm  
d0 = 18 mm  
Speling op gat = 2 mm

Partiele veiligheid Y<sub>M2</sub> = 1,25

Totaal aantal deuvels = 9 st.

Oplegreactie = 260000 N

### Uitvoer

p1 min = 40 < 60 **VOLDOET**  
p2 min = 45 < 60 **VOLDOET**  
e1 min = 25 < 50 **VOLDOET**  
e2 min = 25 < 120 **VOLDOET**

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

a<sub>b</sub> is de minimale waarde van: 1 ; f<sub>ub</sub>/f<sub>u</sub> ; a<sub>d</sub>

1  
f<sub>ub</sub>/f<sub>u</sub> = 1,702128  
a<sub>d</sub> = Eindbouten: e<sub>1</sub>/(3\*d<sub>0</sub>) = 0,93  
Binnenste bouten: p<sub>1</sub>/(3\*d<sub>0</sub>)-(1/4) = 0,86

Geeft:

Eindbouten: Binnenste bouten:  
a<sub>b</sub> = 0,93 a<sub>b</sub> = 0,86

k<sub>1</sub> is de minimale waarde van: 2,8 \* (e<sub>2</sub>/d<sub>0</sub>) - 1,7 ; 1,4 \* (p<sub>2</sub>/d<sub>0</sub>) - 1,7 ; 2,5  
2,5

2,8 \* (e<sub>2</sub>/d<sub>0</sub>) - 1,7 = 16,97  
1,4 \* (p<sub>2</sub>/d<sub>0</sub>) - 1,7 = 2,97

Geeft:

Eindbouten: Binnenste bouten:  
k<sub>1</sub> = 2,5 k<sub>1</sub> = 2,5

Eind/randbouten:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 83556 \text{ N}$$

Binnenste bouten:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 77707 \text{ N}$$

Optredende kracht per deuvel = optredende oplegreactie / totaal aantal deuvels  
= 28888,89 < 77706,67 **Voldoet**

### Controle splijtsterkte ligger (invoer) NL

$$F_{90,Rk} = 14bw \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}}$$

|                     |                       |
|---------------------|-----------------------|
| Modificatie facor   | 1 (voor verbindingen) |
| Belaste randafstand | 410 mm                |
| Hoogte ligger       | 700 mm                |
| Breedte ligger      | 400 mm                |

### Controle splijtsterkte ligger (uitvoer) NL

$$F_{90,Rk} = 176169,2$$

$$F_{90,Rk} = F_{90,Rk} * Y_m * k_{mod} = 108412 \text{ N}$$

### Controle splijtsterkte ligger (invoer) DUI

$$F_{uit} = t_{ef}^{0.8} h^{0.8} k_z k_s k_r k_g f_{t,90}$$

|            |   |                                           |
|------------|---|-------------------------------------------|
| $t_{ef}$   | = | 96 mm                                     |
| $h$        | = | 700 mm                                    |
| $f_{t,90}$ | = | treksterkte loodrecht op de vezelrichting |
|            |   | 2,5 N/mm <sup>2</sup>                     |
| $k_z$      | = | 12,68                                     |
| $h_e$      | = | 410 mm                                    |
| $k_s$      | = | 1,0                                       |
| $l_r$      | = | 152 mm                                    |
| $k_r$      | = | 1,37                                      |
| $nr$       | = | 3                                         |
| $h_{i,1}$  |   | 350 mm                                    |
| $h_{i,2}$  |   | 290 mm                                    |
| $h_{i,3}$  | = | $h_e$ = 410 mm                            |
| $k_g$      | = | 1                                         |
| $s$        | = | 30                                        |

### Controle splijtsterkte ligger (uitvoer) DUI

$$k_z = 6.5 + \frac{18h_e^2}{h^2}$$

$$k_s = \max \left\{ \begin{array}{l} 1.0 \\ 0.7 + \frac{1.4l_r}{h} \end{array} \right.$$

$$k_r = \frac{n_r}{\sum_{i=1}^{n_r} \left( \frac{h - h_e}{h - h_i} \right)^2}$$

$$k_g = \begin{cases} 0.5 & , 2s \geq 2h \\ 1.0 & , 2s \leq 0.5h \\ \frac{2s}{4h} + 0.5 & , 0.5h \leq 2s \leq 2 \end{cases}$$

$$F_{uit,d} = 317561 \text{ N} \quad (\text{karakteristiek})$$

$$F_{uit,d} = 195422 \text{ N} \quad (\text{rekenwaarde})$$

## Brand

### Materiaal eigenschappen gelamineerd hout GL 30h

|                |                      |                       |
|----------------|----------------------|-----------------------|
| $f_{m,g,k}$    | 30 N/mm <sup>2</sup> | Buigsterkte           |
| $f_{t,0,g,k}$  | 24 N/mm <sup>2</sup> | Treksterkte           |
| $E_{0,g,mean}$ | 13600 N/mm           | Elasticiteits modulus |
| $E_{0,g,05}$   | 11300 N/mm           | Elasticiteits modulus |

Voor de toetsing van de draagkracht van de ligger bij brand moeten de 20 percentielwaarden van de sterkte eigenschappen gebruikt worden

| 20% - fractielwaarde van stijfheid | 20% - fractielwaarde van sterkte eigenschap |
|------------------------------------|---------------------------------------------|
| $S_{20} = k_{fi} S_{05}$           | $f_{20} = k_{fi} f$                         |

Tabel 2.1 — Waarden voor  $k_{fi}$

|                          |      |
|--------------------------|------|
| Gezaagd hout             | 1,25 |
| Gelijmd gelamineerd hout | 1,15 |

$k_{fi} = 1,15$

### Materiaal eigenschappen gelamineerd hout GL 30h

|                  |                        |                       |
|------------------|------------------------|-----------------------|
| $f_{m,g,k,20}$   | 34,5 N/mm <sup>2</sup> | Buigsterkte           |
| $f_{t,0,g,k,20}$ | 27,6 N/mm <sup>2</sup> | Treksterkte           |
| $E_{0,g,20}$     | 12995 N/mm             | Elasticiteits modulus |

### Bepalen inbranddiepte ligger

Het effect van hoekafrondingen moet meegenomen worden bij een ligger, dus wordt de inbranddiepte berkend als de schijnbare inbranddiepte

$$d_{char,n} = \beta_n t$$

$d_{char,n} = \beta_n * t = 84 \text{ mm}$   
 $\beta_n = 0,7$  schijnbare inbrandsnelheid  
 $t = 120$  tijdsduur van de blootstelling aan brand  
 $P = 430$  volumieke massa

|                                                                                                | $\beta_0$<br>mm/min | $\beta_n$<br>mm/min |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| a) Naaldhout en beuken                                                                         |                     |                     |
| Gelijmd gelamineerd hout met een karakteristieke volumieke massa van $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ | 0,65                | 0,7                 |
| Gezaagd hout met een karakteristieke volumieke massa van $\geq 290 \text{ kg/m}^3$             | 0,65                | 0,8                 |

### Oorspronkelijke afmetingen:

Breedte = 450 mm  
 Hoogte = 700 mm

### Afmetingen na 120 min brand:

Breedte = 282 mm  
 Hoogte = 616 mm

Type verbinding:

Connections with fasteners in shear with side members of wood and wood-based panels

## Toetsing Deuvelverbinding

$E_{d,fi} < R_{d,t,fi}$  (invoer)

$$R_{d,t,fi} = n \cdot (R_{20} / Y_{M,fi}) = 163346$$

$R_{d,t,fi}$  = de ontwerpwaarde voor de draagcapaciteit  
 $R_{20}$  = de 20% waarde van de draagcapaciteit bij normale temperaturen (zonder effect van de belastingduur en vocht)  
 $\eta$  = conversie factor  
 $Y_{M,fi}$  = partiele veiligheids factor voor hout in brand

Note 2: Design resistances are applied for connections, see 6.2.2 and 6.4. For connections a conversion factor  $\eta$  is given in 6.2.2.1.

$$\begin{aligned}
 R_{20} &= k_{fi} \cdot R_k = 1,15 \cdot 499215 = 574097,8 \text{ N} \\
 k_{fi} &= 1,15 \\
 R_k &= 499215
 \end{aligned}$$

$$Y_{M,fi} = 1$$

$$\begin{aligned}
 n &= e^{(-k \cdot t_{d,fi})} = e^{-1,257} = 0,28 \\
 k &= 0,085 \text{ (mits } d > 12 \text{ mm)} \\
 t_{d,fi} &= 14,79
 \end{aligned}$$

$k$  is een parameter gegeven in tabel 6.3;

$t_{d,fi}$  is de rekenwaarde van de brandweerstand van de onbeschermde verbinding, in min.

$E_{d,fi} < R_{d,t,fi}$  (uitvoer)

$$E_{d,fi} < R_{d,t,fi} \text{ geeft: } 117000 < 163346 \text{ VOLDOET}$$

### 6.2.2.2 Beschermde verbindingen

(1) 6.2.1.2 is van toepassing, behalve dat  $t_{d,fi}$  behoort te zijn berekend volgens uitdrukking (6.7).

(2) Als alternatieve methode voor de bescherming van kop- en zij-oppervlakken van elementen, mogen de eind- en randafstanden worden vergroot met  $a_{fi}$  overeenkomstig uitdrukking (6.1). Echter, voor brandweerstanden van meer dan 30 min behoren de eindafstanden te zijn vergroot met  $2a_{fi}$ . Deze vergroting van de eindafstand geldt ook voor middenhout in een verbinding.

$$t_{d,fi} = \frac{1}{k} \ln \frac{\eta_{fi} \eta_0 k_{mod} Y_{M,fi}}{Y_M K_{fi}} = 14,79$$

De waarde van  $\eta_{fi}$  moet gelijk aan 0,45 zijn genomen, behalve voor opgelegde belastingen volgens klasse E1 van NEN-EN 1991-1-1:2002 (ruimten waar gemakkelijk goederen kunnen worden opgestapeld, inclusief toegangsruimten) in welk geval de waarde van  $\eta_{fi}$  gelijk aan 0,7 moet zijn genomen.

$$\eta_{fi} = 0,45$$

$$\eta_0 = 1,18$$

$$k_{mod} = 0,8$$

$$k_{fi} = 1,15$$

$$Y_M = 1,30$$

$$Y_{M,fi} = 1$$

$$k = 0,085$$

$$\text{Oplegreactie} = 260000 \text{ N}$$

$$\text{sterkte deuvelverb} = 307210 \text{ N}$$

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d = 117000$$

$$\eta_{fi} = 0,45$$

$$E_d = 260000$$

## Vervorming Deuvelverbinding

### 4.3 Vereenvoudigde regels voor de berekening van constructieve elementen en onderdelen

#### 4.3.1 Algemeen

(1) Druk loodrecht op de vezel mag zijn verwaarloosd.

(2) Afschuiving mag zijn verwaarloosd in rechthoekige en cirkelvormige doorsneden. Voor liggers met een uitkeping behoort te zijn gecontroleerd dat de restdoorsnede bij de uitkeping ten minste 60 % bedraagt van de doorsnede die is benodigd in een situatie zonder brand.

#### 4.3.2 Liggers

(1) Indien het stabiliteitsverband bezwijkt gedurende de vereiste brandtijd, behoort de kipstabiliteit van de ligger te zijn beschouwd zonder enige zijdelingse steun van het verband.

$$K_{fi} = K_u \cdot \eta_{fi} = 199485 \text{ N/mm}$$

$$K_u = 297739 \text{ N/mm}$$

$$\eta_{fi} = 0,67$$

$$((G + Q_1 + Q_2) / K_{fi} + U_{speling,tot}) = 3,92 \text{ mm}$$

### 4.3.4 Staven verbonden met mechanische verbindingsmiddelen

(1) P Voor staven verbonden met mechanische verbindingsmiddelen, moet de reductie van verschuivingsmodulus door brand in rekening zijn gebracht.

(2) De slipmodulus  $K_{fi}$  voor het geval brand behoort te zijn bepaald als:

$$K_{fi} = K_u \eta_{fi}$$

waarin:

$K_{fi}$  is de verschuivingsmodulus bij brand, in N/mm;

$K_u$  is de verschuivingsmodulus voor de uiterste grenstoestand bij kamertemperatuur overeenkomstig EN 1995-1-1 2.2.2(2), in N/mm;

$\eta_{fi}$  is een omrekenfactor overeenkomstig tabel 4.2.

Tabel 4.2 — Omrekenfactor  $\eta_{fi}$

|                                                          |      |
|----------------------------------------------------------|------|
| Nagels en schroeven                                      | 0,2  |
| Bouten, stiften, ringdeuvels, plaatdeuvels en kramplaten | 0,67 |

Tabel 6.3 — Parameter  $k$

| Verbinding met                                     | $k$   | Maximumprijs voor de geldigheid van parameter $k$ in een onbeschermde verbinding min |
|----------------------------------------------------|-------|--------------------------------------------------------------------------------------|
| Nagels en schroeven                                | 0,08  | 20                                                                                   |
| Bouten hout-op-hout met $d \geq 12 \text{ mm}$     | 0,065 | 30                                                                                   |
| Bouten staal-op-hout met $d \geq 12 \text{ mm}$    | 0,085 | 30                                                                                   |
| Stiften hout-op-hout * met $d \geq 12 \text{ mm}$  | 0,04  | 40                                                                                   |
| Stiften staal-op-hout * met $d \geq 12 \text{ mm}$ | 0,085 | 30                                                                                   |
| Verbindingsmiddelen volgens EN 912                 | 0,065 | 30                                                                                   |

\* De waarden voor stiften zijn afhankelijk van de aanwezigheid van een bout per iedere vier stiften.

## BIJLAGE 7B

Handberekening deuvolverbinding ter controle  
excelsheet

### OPDRACHTGEVER

**Arcadis**

Afdeling gebouwen

Lichtenauerlaan 100  
3062 ME Rotterdam

Begeleider:

Gerard van engelen

Senior Specialist Structural Engineering

### LEERINSTELLING

**Hogeschool Rotterdam**

Opleiding Civiele Techniek

G.J. de Jonghweg 4-6  
3015GG Rotterdam

Begeleider:

Sven van Rosmalen

### AFSTUDEERDERS

Roel Majoor

Maarten Schoen

Gerard van Engelen:

.....

# Inhoud

|                                                                                     |    |
|-------------------------------------------------------------------------------------|----|
| 1. Inleiding.....                                                                   | 3  |
| 2. Algemene materiaaleigenschappen .....                                            | 4  |
| 3. Checks vooraf.....                                                               | 5  |
| 3.1. Slankheidsratio .....                                                          | 5  |
| 3.2. Liggerhoogte .....                                                             | 5  |
| 3.3. Classificatie staalplaat.....                                                  | 5  |
| 3.4. Minimale rand, tussen en eind afstand(en).....                                 | 5  |
| 4. Controle deugelverbinding .....                                                  | 6  |
| 4.1. Bepalen stuiksterkte .....                                                     | 6  |
| 4.2. Vloeimoment deugel.....                                                        | 6  |
| 4.3. Draagvermogen deugel.....                                                      | 7  |
| 4.3.1. Draagcapaciteit per afschuifvlak in vezelrichting .....                      | 7  |
| 4.3.2. Draagcapaciteit per afschuifvlak in hoek $\alpha$ met de vezelrichting ..... | 8  |
| 4.3.3. Karakteristiek draagvermogen per rij deugels.....                            | 8  |
| 4.3.4. Rekenwaarde draagvermogen totaal .....                                       | 9  |
| 4.4. Stijfheid verbinding.....                                                      | 9  |
| 4.4.1. Bruikbaarheidsgrenstoestand .....                                            | 9  |
| 4.4.2. Uiterste grenstoestand .....                                                 | 9  |
| 4.5. Vervorming .....                                                               | 10 |
| 4.5.1. Belastingen.....                                                             | 10 |
| 4.5.2. Speling op de verbinding.....                                                | 10 |
| 4.5.3. Vervorming.....                                                              | 11 |
| 4.6. Splijtsterkte .....                                                            | 11 |
| 4.6.1. Nederlandse code .....                                                       | 11 |
| 4.6.2. Duitse code DIN:1058 .....                                                   | 12 |
| 4.7. Controle staalplaat.....                                                       | 13 |
| 4.7.1. Tussenafstanden .....                                                        | 13 |
| 4.7.2. Stuik boutgout.....                                                          | 14 |
| 4.1. Brand.....                                                                     | 15 |
| 4.1.1. Belastingen.....                                                             | 15 |
| 4.1.2. Belastingcombinaties .....                                                   | 15 |

|        |                                                    |    |
|--------|----------------------------------------------------|----|
| 4.1.3. | Inbranddiepte .....                                | 16 |
| 4.1.4. | Toetsing verbinding op sterkte tijdens brand ..... | 17 |
| 4.1.5. | Toetsing op vervorming .....                       | 18 |

| Versie | Datum      | Opmerkingen                  |
|--------|------------|------------------------------|
| 0.1    | 2-12-2016  | Eerste uitgave               |
| 1.0    | 13-12-2016 | Opmerkingen van PTi verwerkt |



## 1. Inleiding

Deze berekening dient ter controle van de Excelsheet uit bijlage 7 en de uitkomsten hiervan komen dan ook overeen met de uitkomsten van de Excel sheet. In deze berekening wordt het draagvermogen van de deuvelverbinding berekend en wordt de vervorming bepaald.

Voor de berekeningen zijn de volgende normen gehanteerd:

|            |                               |                                                                                                            |
|------------|-------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| Eurocode   | NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011     | Grondslagen van het constructief ontwerp                                                                   |
| Eurocode   | NEN-EN 1990+A1+A1/C2/NB:2011  | Nationale bijlage bij NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011                                                            |
| Eurocode 1 | NEN-EN 1991-1-1+C1:2011       | Belastingen op constructies                                                                                |
| Eurocode 1 | NEN-EN 1991-1-1+C1/NB:2011    | Nationale bijlage bij NEN-EN 1991-1-1+C1:2011                                                              |
| Eurocode 3 | NEN-EN 1993-1-8+C2:2011       | Ontwerp en berekening van staalconstructies                                                                |
| Eurocode 5 | NEN-EN 1995-1-1+C1+A1:2011    | Algemeen - Ontwerp en berekening<br>Houtconstructies: Gemeenschappelijke regels<br>en regels voor gebouwen |
| Eurocode 5 | NEN-EN 1995-1-1+C1+A1/NB:2011 | Nationale bijlage bij NEN-EN 1995-1-1+C1+A1:2011                                                           |
| Eurocode 5 | NEN-EN 1995-1-2+C2:2011       | Ontwerp en berekening van houtconstructies<br>bij brand                                                    |
| Eurocode 5 | NEN-EN 1995-1-2/NB:2011       | Nationale bijlage bij NEN-EN 1995-1-2+C2:2011                                                              |
| NL norm    | NEN-EN 14080:2013             | Houtconstructies – Gelijmd gelamineerd hout<br>en gelijmd massief hout                                     |

## 2. Algemene materiaaleigenschappen

Vochtgehalte bij 20°C en een relatieve vochtigheid hoger dan 85% geeft: Klimaatklasse 2

Belastingduurklasse middellang, kortste van alle belasting duur klassen (opgelegde vloerbelasting) is maatgevend.

[art. 2.3.1.2 en art. 2.3.1.3, NEN-EN 1995-1-1]

Rekenwaarden ( $X_d$ ) van een bepaalde karakteristieke materiaaleigenschap ( $X_k$ ) kunnen worden bepaald aan de hand van de volgende formule:

$$X_d = k_{mod} * \frac{X_k}{\gamma_m} = 0,8 * \frac{X_k}{1,3}$$

[art. 2.4.1., NEN-EN 1995-1-1]

Waarin:

$k_{mod} = 0,8$ , op basis van de klimaat- en belastingduur klasse

[tabel 3.1, NEN-EN 1995-1-1]

$\gamma_m = 1,3$ , bij verbindingen

[tabel 2.3, NEN-EN 1995-1-1]

**Materiaaleigenschappen gelamineerde ligger: Houtkwaliteit GL 30h**

[Tabel 5, NEN-EN 14080]

Karakteristiek:

Buigsterkte,  $F_{m,g,k} = 30 \text{ N/mm}^2$

Treksterkte vezelrichting,  $F_{t,0,g,k} = 24 \text{ N/mm}^2$

Treksterkte loodrecht op vezelrichting  $F_{t,90,g,k} = 2,5 \text{ N/mm}^2$

Elasticiteitsmodules,  $E_{0,g,mean} = 13600 \text{ N/mm}^2$

Dichtheid,  $\rho_{g,k} = 430 \text{ kg/m}^3$

Breedte ligger  $b = 400 \text{ mm}$

Hoogte ligger  $h = 700 \text{ mm}$

Rekenwaarde:

$$0,8 * \frac{30}{1,3} = 18,46 \text{ N/mm}^2$$

$$0,8 * \frac{24}{1,3} = 14,77 \text{ N/mm}^2$$

$$0,8 * \frac{2,5}{1,3} = 1,6 \text{ N/mm}^2$$

nvt.

nvt.

**Materiaaleigenschappen voor de staalplaat**

Dikte staalplaat,  $t = 12 \text{ mm}$

Treksterkte staal,  $f_{u,k} = 235 \text{ N/mm}^2$

Aantal staalplaten toegepast  $= 2 \text{ st.}$

**Materiaaleigenschappen van de deuvel**

Diameter,  $d = 16 \text{ mm}$

Treksterkte,  $f_{u,k} = 400 \text{ N/mm}^2$

Tussenafstand 1,  $a_1 = 60 \text{ mm}$

Tussenafstand 2,  $a_2 = 60 \text{ mm}$

Eindafstand,  $a_{3,t} / a_{3,c} = 120 \text{ mm}$

Randafstand 1,  $a_{4,t} = 80 \text{ mm}$

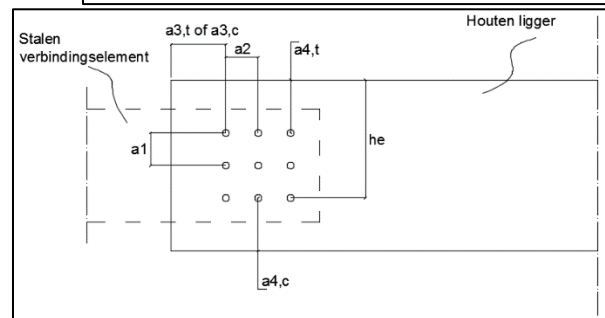
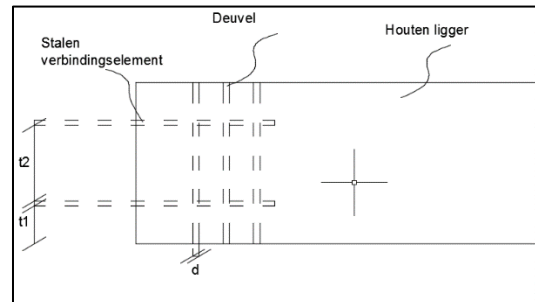
Randafstand 2,  $a_{4,c} = 80 \text{ mm}$

Inbedding 1,  $T_1 = 93 \text{ mm}$

Inbedding 2,  $T_2 = 186 \text{ mm} (( = 2 * T_1 \text{ in dit geval})$

Hoek waaronder de kracht aangrijpt,  $\alpha = 90 \text{ graden}$

Aantal afschuifvlakken per deuvel  $= 4$  (2 afschuifvlakken per staalplaat)



### 3. Checks vooraf

#### 3.1. Slankheidsratio

$$\text{Slankheidsratio} = \lambda = \frac{t}{d} = \frac{93}{16} = \frac{93}{16} = 5,8125 > 4, \text{voldoet}$$

[zie par. 3.5, hoofdverslag]

Waarin:

$t = 93$  (= kleinste waarde van  $t_1$  of  $t_2$ )

$d$  = diameter deugel

#### 3.2. Liggerhoogte

Controle liggerhoogte:

$$2 * a_2 + a_{4,t} + a_{4,c} + d = 2 * 60 + 80 + 80 + 16 = 296\text{mm} < 600, \text{voldoet}$$

#### 3.3. Classificatie staalplaat

'Dun' wanneer  $t \leq d/2 \rightarrow t < 16/2 \rightarrow t \leq 8$

'Dik' wanneer  $t \geq d \rightarrow t \geq 16 \rightarrow$

[art. 8.2.3. (1) NEN-EN 1995-1-1]

'Tussen' wanneer  $d/2 < t < d \rightarrow 8 < t < 16$

Geeft:

$t = 12 \rightarrow 8 < 12 < 16$ , geeft classificatie staalplaat: tussen

#### 3.4. Minimale rand, tussen en eind afstand(en)

[Tabel. 8.2. NEN-EN 1995-1-1]

Tussenafstand 1,  $a_{1,\text{gekozen}} = 60\text{mm}$   
minimale afstand =  $(3 + 2 \cos \alpha) * d = (3 + 2 \cos 90) * 16 = 48$ , voldoet

Tussenafstand 2  $a_{2,\text{gekozen}} = 60\text{mm}$   
minimale afstand =  $3d = (3 + 2 \cos 90) * 16 = 48$ , voldoet

Eindafstand,  $a_{3,t,\text{gekozen}} / a_{3,c,\text{gekozen}}$  (omdat  $\alpha = 270^\circ$ ) = 120mm  
minimale afstand = maximum van  $(a_{3,t} * \sin \alpha) * d$  of  $3d$   
 $a_{3,t} = 7d$  of 80mm  $\rightarrow 7 * 16 = 112\text{mm}$   
 $(a_{3,t} * \sin \alpha) * d = (112 * \sin 270) * 16 = 1792$  (niet realistisch)  
 $(a_{3,t} * \sin \alpha)$  wordt aangenomen =  $(112 * \sin 270) = 112$ , voldoet

Randafstand 1  $a_{4,t,\text{gekozen}} = 80\text{ mm}$   
minimale afstand = maximum van  $(2 + 2 \sin \alpha) * d$  of  $3d$   
 $(2 + 2 |\sin 270|) * 16 = (2 + |2 * 1|) * 16 = 64$ , voldoet  
 $3d = 3 * 16 = 48$

Randafstand 2  $a_{4,c,\text{gekozen}} = 80\text{ mm}$   
minimale afstand =  $3d = 3 * 16 = 48$ , voldoet

## 4. Controle de uvelverbinding

### 4.1. Bepalen stuiksterkte

Hoek waaronder de kracht aangrijpt,  $\alpha = 90^\circ$

Reductiewaarde voor LVL,  $k_{90} = 1,3 + 0,015 * d$  [Art. 8.5.1.1 (2), NEN-EN 1995-1-1]

Waarin:

$d$  = diameter de uvel

$$k_{90} = 1,3 * 0,015 * 16 = 1,54$$

Stuiksterke

Parallel aan de vezelrichting:

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * d) * \rho_k$$
 [Art. 8.5.1.1 (2), NEN-EN 1995-1-1]

$$f_{h,0,k} = 0,082 * (1 - 0,01 * 16) * 430 = 29,62 \text{ N/mm}^2$$

Onder hoek  $\alpha (= 90^\circ)$  met de vezelrichting:

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} * \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha}$$
 [Art. 8.5.1.1 (2), NEN-EN 1995-1-1]

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{29,62}{1,54 * \sin^2 90 + \cos^2 90} = 19,23 \text{ N/mm}^2$$

### 4.2. Vloeimoment de uvel

$$M_{y,Rk} = 0,3 * f_{u,k} * d^{2,6}$$
 [Art. 8.5.1.1 (1), NEN-EN 1995-1-1]

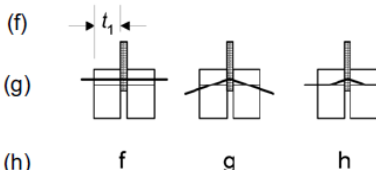
$$M_{y,Rk} = 0,3 * 400 * 16^{2,6} = 1,62 * 10^5 \text{ Nmm}$$

### 4.3. Draagvermogen deugel

#### 4.3.1. Draagcapaciteit per afschuifvlak in vezelrichting

De draagcapaciteit per afschuifvlak is de minimale waarde uit bezwijkmechanisme g, h, en k of m. Bezwijkmechanisme 'k' wanneer de staalplaat is geclassificeerd als zijnde dun en 'm' wanneer de staalplaat is geclassificeerd als dik. Wanneer de staalplaat is geclassificeerd als 'tussen' dient de minimale waarde genomen te worden gevolgd uit de bezwijkmechanismen g, h en de interpolatie tussen k en m. [art. 8.1.1, 8.1.2 & 8.1.3 NEN-EN 1995-1-1]

##### 4.3.1.1. Bezwijkmechanisme 'g'

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} f_{h,1,k} t_1 d & (f) \\ f_{h,1,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (g) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (h) \end{cases}$$


[art. 8.2.3 NEN-EN 1995-1-1]

$$f_{h,1,k} * t_1 * d * \left( \sqrt{2 + \frac{4 * M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} * d * t_1^2}} - 1 \right) + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

Waarin:

$$f_{h,1,k} = 29,62 \text{ N/mm}^2$$

$$t_1 = 93,5 \text{ mm (kleinste waarde van } t_1 \text{ en } t_2)$$

$$d = 16 \text{ mm}$$

$$M_{y,Rk} = 162141 \text{ Nmm}$$

$$F_{ax,Rk} = 0\% \text{ voor stiften}$$

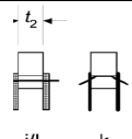
$$F_{v,Rk} = 29,62 * 93,5 * 16 * \left( \sqrt{2 + \frac{4 * 162141}{29,62 * 16 * 93,5^2}} - 1 \right) + \frac{0}{4} = 20760 \text{ N}$$

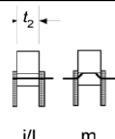
##### 4.3.1.2. Bezwijkmechanisme 'h'

$$F_{v,Rk} = 2,3 * \sqrt{M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4}$$

$$F_{v,Rk} = 2,3 * \sqrt{162141 * 29,62 * 16} + \frac{0}{4} = 20161 \text{ N}$$

##### 4.3.1.3. Interpolatie tussen bezwijkmechanisme 'k' & 'm'

$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & (j) \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (k) \end{cases}$$


$$F_{v,Rk} = \min \begin{cases} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d & (l) \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} & (m) \end{cases}$$


Zoals te zien wordt voor bezwijkmechanisme 'm' dezelfde formule gebruikt als voor bezwijkmechanisme 'h'.

$$F_{v,Rk} = 1,15 * \sqrt{2 * M_{y,Rk} * f_{h,1,k} * d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} = 1,15 * \sqrt{2 * 162141 * 29,62 * 16} + \frac{0}{4} = 14256 \text{ N}$$

Bezwijkmechanisme  $k = 14256N$  voor dunne staalplaten ( $< 8mm$ )

Bezwijkmechanisme  $m (= h) = 20161N$  voor dikke staalplaten ( $> 16mm$ )

Interpolatie  $k - m =$  voor tussen platen ( $12 mm$  huidig), geeft:

$$k - m = Bk + (Bm - Bk)/(t_{dik} - t_{dun}) * t_{tussen} - t_{dun}$$
$$F_{v,Rk} = 14256 + (20161 - 14256)/(16 - 8) * (12 - 8) = 17208N$$

4.3.1.4. Minimale waarde uit bezwijkmechanisme 'g', 'h' en de interpolatie tussen 'k' & 'm'

De minimale en dus maatgevende waarde voor de draagcapaciteit per afschuifvlak volgt uit de interpolatie tussen bezwijkmechanisme 'k' & 'm', dit gaf een waarde van  $17208N$ .

4.3.2. Draagcapaciteit per afschuifvlak in hoek  $\alpha$  met de vezelrichting

4.3.2.1. Bezwijkmechanisme 'g'

$$F_{v,\alpha,Rk} = 19,23 * 93,5 * 16 * \left( \sqrt{2 + \frac{4 * 162141}{19,23 * 16 * 93,5^2}} - 1 \right) + \frac{0}{4} = 14300N$$

4.3.2.2. Bezwijkmechanisme 'h'

$$F_{v,\alpha,Rk} = 2,3 * \sqrt{162141 * 19,23 * 16} + \frac{0}{4} = 16246N$$

4.3.2.3. Interpolatie tussen bezwijkmechanisme 'k' & 'm'

$$F_{v,\alpha,Rk} = 1,15 * \sqrt{2 * 162141 * 19,23 * 16} + \frac{0}{4} = 11487N$$

$$F_{v,\alpha,Rk} = 11487 + \frac{(16246 - 11487)}{16 - 8} * (12 - 8) = 13867N$$

4.3.3. Karakteristiek draagvermogen per rij deuveld

4.3.3.1. Draagvermogen parallel aan de vezelrichting

$$F_{v,Rk} = N_{ef,P} * [\text{draagvermogen per afschuifvlak}] * [\text{aantal afschuifvlakken per deuvel}]$$

Waarin:

$$N_{ef} = \text{aantal effectieve deuvelds in een rij} = \min: N^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} \text{ of } n \quad [\text{art. 8.5.1.1 (4), NEN-EN 1995-1-1}]$$

Geeft:

$$n^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{a_1}{13d}} = 3^{0,9} * \sqrt[4]{\frac{60}{13*16}} = 1,97$$

$$n = 3$$

$$F_{v,Rk} = 1,97 * [17208] * [4] = 135588N, \text{ per rij deuvelds}$$

#### 4.3.3.2. Draagvermogen in hoek 90° met de vezelrichting

$$F_{v,\alpha,Rk} = N_{ef,\alpha} * [\text{draagvermogen per afschuifvlak}] * [\text{aantal afschuifvlakken per deuvel}]$$

Waarin:

$N_{ef}$  = aantal effectieve deuvels in een rij =  $n = 3$

$$F_{v,\alpha,Rk} = 3 * [13867] * [4] = 166404N, \text{ per rij deuvels}$$

#### 4.3.4. Rekenwaarde draagvermogen totaal

##### 4.3.4.1. Draagvermogen parallel aan de vezelrichting

$$F_{v,Rd} = F_{v,Rk} * k_{mod} / \gamma_m \quad [\text{art. 2.4.1 (1), NEN-EN 1995-1-1}]$$

$$F_{v,Rd} = 135588 * 0,8 * 1,3 = 83438N$$

$$F_{v,Rd,tot} = F_{v,Rd} * [\text{aantal rijen deuvels}] = 83438 * 3 = 250314N$$

##### 4.3.4.2. Draagvermogen in hoek $\alpha$ met de vezelrichting

$$F_{v,\alpha,Rd} = F_{v,\alpha,Rk} * k_{mod} / \gamma_m = 166404 * 0,8 * 1,3 = 102402N$$

$$F_{v,\alpha,Rd,tot} = F_{v,\alpha,Rd} * [\text{aantal rijen deuvels}] = 102402 * 3 = 307206N$$

#### 4.4. Stijfheid verbinding

##### 4.4.1. Bruikbaarheidsgrenstoestand

$$\text{Elastische vervorming per afschuifvlak, } K_{ser} = \rho_m^{1,5} * d/23 \quad [\text{tab. 7.1 NEN-EN 1995-1-1}]$$

Bij staal-hout of beton-hout verbindingen, mag  $K_{ser}$  worden vermenigvuldigd met 2.

$$K_{ser} = 430^{1,5} * 16/23 * 2 = 12405N/mm, \text{ per afschuifvlak}$$

Elastische vervorming voor de gehele verbinding,  $K_{ser,tot} = K_{ser} * [\text{aantal rijen deuvels}] * [\text{aantal deuvels per rij}] * [\text{aantal afschuifvlakken per deuvel}] =$

$$K_{ser} = 12405 * 3 * 3 * 4 = 446608N/mm$$

##### 4.4.2. Uiterste grenstoestand

$$\text{Elastische vervorming in de uiterste grenstoestand, } K_u = \frac{2}{3} * K_{ser} \quad [\text{art. 2.1 NEN-EN 1995-1-1}]$$

$$K_u = \frac{2}{3} * 446608 = 297739N/mm$$

## 4.5. Vervorming

### 4.5.1. Belastingen

Belastingen werkend op de ligger:

[Tabel NB.1 – 6.2., NEN-EN 1991-1-1/NB]

|                                |     |   |   |   |      |   |     |   |                           |
|--------------------------------|-----|---|---|---|------|---|-----|---|---------------------------|
| G <sub>k</sub> ligger (totaal) |     |   |   |   |      |   |     |   |                           |
| E.G. vloer                     |     |   |   |   |      |   |     |   |                           |
|                                | 7,7 | * | 1 | * | 0,32 | * | 4,3 | = | 10,5952 kN/m <sup>1</sup> |
| E.G. ligger                    |     |   |   |   |      |   |     |   |                           |
|                                | 0,4 | * | 1 | * | 0,7  | * | 4,3 | = | 1,204 kN/m <sup>1</sup> + |
| Totaal                         |     |   |   |   |      |   |     |   | 11,7992                   |
| Q <sub>k</sub> ligger (totaal) |     |   |   |   |      |   |     |   |                           |
| Vloerbelasting kantoor         |     |   |   |   |      |   |     |   |                           |
|                                | 7,7 | * | 1 | * | 2,5  |   |     | = | 19,25 kN/m <sup>1</sup>   |
| scheidingswanden               |     |   |   |   |      |   |     |   |                           |
|                                | 7,7 | * | 1 | * | 1,2  |   |     | = | 9,24 kN/m <sup>1</sup> +  |
| Totaal                         |     |   |   |   |      |   |     |   | 28,49 kN/m <sup>1</sup>   |

Voor de vervorming dienen geen belastingcombinaties uitgevoerd te worden.

$$\text{Oplegreactie totaal} = (9,12\text{m} * (28,49 + 11,7992)) / 2 = 184 \text{ kN}$$

$$\text{Oplegreactie t.g.v. E.G.} = (9,12\text{m} * (11,7992)) / 2 = 54 \text{ kN}$$

$$\text{Oplegreactie t.g.v. vloerbelasting} = (9,12\text{m} * (19,25)) / 2 = 88 \text{ kN}$$

$$\text{Oplegreactie t.g.v. overige veranderlijke belasting} = (9,12\text{m} * (9,24)) / 2 = 42 \text{ kN}$$

### 4.5.2. Speling op de verbinding

[tab. 7.1 NEN-EN 1995-1-1]

Uit tabel 7.1 van dat de speling bij de vervorming opgeteld moet worden.

$$\text{Spling op het gat in het stalen element} = 1\text{mm}$$

$$\text{Spling op het gat in de houten ligger} = 2\text{mm}$$

$$U_{\text{Spling, tot}} = 3\text{mm}$$



#### 4.5.3. Vervorming

##### Initiele vervorming na aanbrengen belasting

$$u = \frac{F}{K_u} = 0,122mm$$

$$u_{inst,G} = \frac{54804}{446608} = 0,122mm$$

$$u_{inst,Q,i} = \frac{87780}{446608} = 0,196mm$$

$$u_{inst,Q,i} = \frac{42132}{446608} = 0,09mm$$

##### Vervorming met kruip

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q,1} + u_{fin,Q,i} \quad [art. 2.2.3, NEN-EN 1990+A1+A1]$$

Waarin:

$$u_{fin,G} = u_{inst,G}(1 + k_{def})$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1}(1 + \varphi_{2,1}k_{def})$$

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i}(\varphi_{0,i} + \varphi_{2,1}k_{def})$$

Waarin:

$$\varphi_0 = 0,7$$

[tabel A1.1, NEN-EN 1990+A1+A1]

$$\varphi_2 = 0,3$$

[tabel A1.1, NEN-EN 1990+A1+A1]

$$k_{def} = 0,8$$

[tabel 3.2, NEN-EN 1990+A1+A1]

$$u_{fin,G} = 0,122 * (1 + 0,8) = 0,22mm$$

$$u_{fin,Q,1} = 0,20 * (1 + 0,3 * 0,8) = 0,24mm$$

$$u_{fin,Q,i} = 0,09 * (0,7 + 0,3 * 0,8) = 0,09mm$$

Geeft:

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q,1} + u_{fin,Q,i} = 0,22 + 0,24 + 0,09 = 0,55mm$$

Bij de totale vervorming dient de speling op de verbinding opgeteld te worden,

Geeft:

$$u_{fin} = u_{fin} + u_{speling,tot} = 0,55 + 3 = 3,55mm$$

$$u_{inst} = \frac{183718}{446608} + 3 = 3,41mm$$

#### 4.6. Splijtsterkte

##### 4.6.1. Nederlandse code

$$f_{90,Rk} = 14 * b * w * \sqrt{\frac{h_e}{(1 - \frac{h_e}{h})}} = 14 * 400 * 1 * \sqrt{\frac{410}{(1 - \frac{410}{700})}} = 176169N \quad [art. 8.1.4, NEN-EN 1995-1-1]$$

$$f_{90,Rd} = f_{90,Rk} / \gamma_m * k_{mod} = 176169 / 1,3 * 0,8 = 112.748N \quad [art. 2.4.1 (1), NEN-EN 1995-1-1]$$

#### 4.6.2. Duitse code DIN:1058

$$F_{uit,d} = t_{ef}^{0,8} h^{0,8} k_z k_s k_r k_g f_{t;90} = 96^{0,8} * 700^{0,8} * 12,68 * 1 * 1,37 * 1 * 2,5 = 315991 N$$

$$F_{uit,r} = F_{uit,d} / \gamma_m * k_{mod} = 315991 / 1,3 * 0,8 = 194456 N$$

##### Waarin:

Effectieve breedte  $t_{ef}$  = minimumwaarde van:  
 - Deuvel lengte = 400mm  
 - Breedte ligger = 400mm  
 - 6 \* diameter deuvel = 6 \* 16 = 96mm

Geeft:  $t_{ef}$  = 96 mm

Hoogte  $h$  = 700 mm

Factor  $K_z$  =  $6,5 + \frac{18 * h_e^2}{h^2} = 6,5 + \frac{18 * 410^2}{700^2} = 12,68$

##### Waarin:

Rand afstand tot de verste rij deuvels  $h_e$  = 410mm

Factor  $K_s$  = Maximum van 1,0 of  $0,7 + \frac{1,4 * l_r}{h} = 0,7 + \frac{1,4 * 152}{700} = 1$

##### Waarin:

Lengte rij deuvels  $l_r$  = 152 mm

Factor  $K_r$  =  $\frac{n_r}{\sum_{i=1}^{n_r} \left( \frac{h-h_e}{h-h_i} \right)^2}$

##### Waarin:

Aantal rijen deuvels  $n_r$  = 3

Randafstand tot rij i  $h_1$  = 410 mm

$h_2$  = 350 mm

$h_3$  = 290 mm

$$\frac{3}{\sum_{i=1}^{n_r} \left( \frac{700 - 410}{700 - h_i} \right)^2} = \frac{3}{1 + 0,69 + 0,5} = 1,37$$

Geeft:  $k_r$  = 1,37

Factor  $K_g$  = 0,5 Als  $2s \geq 2h = 2 * 30 \geq 2 * 700$   
 1,0 Als  $2s \leq 2h = 2 * 30 \leq 2 * 700$   
 0,5 Als  $0,5h \leq 2s \leq 2 = 0,5 * 700 \leq 2 * 30 \leq 2$

##### Waarin:

0,5 \* de afstand tussen 2 deuvels  $s$  = 30mm

Geeft:  $k_g$  = 1,0

## 4.7. Controle staalplaat

### 4.7.1. Tussenafstanden

| Afstanden en tussenafstanden, zie figuur 3.1 | Minimale maat          | Maximale maat <sup>1) 2) 3)</sup>                                                                                             |                                                                                  |                                                                     |
|----------------------------------------------|------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------|
|                                              |                        | Constructies vervaardigd van staalsoorten overeenkomstig EN 10025 met uitzondering van staalsoorten overeenkomstig EN 10025-5 |                                                                                  | Constructies vervaardigd van staalsoorten overeenkomstig EN 10025-5 |
|                                              |                        | Staal blootgesteld aan het buitenklimaat of aan andere corrosieve invloeden                                                   | Staal niet blootgesteld aan het buitenklimaat of aan andere corrosieve invloeden | Onbehandeld staal                                                   |
| Eindafstand $e_1$                            | $1,2d_0$               | $4t + 40$ mm                                                                                                                  |                                                                                  | Grootste waarde van $8t$ of 125 mm                                  |
| Randafstand $e_2$                            | $1,2d_0$               | $4t + 40$ mm                                                                                                                  |                                                                                  | Grootste waarde van $8t$ of 125 mm                                  |
| Afstand $e_3$ in sleufgaten                  | $1,5d_0$ <sup>4)</sup> |                                                                                                                               |                                                                                  |                                                                     |
| Afstand $e_4$ in sleufgaten                  | $1,5d_0$ <sup>4)</sup> |                                                                                                                               |                                                                                  |                                                                     |
| Steek $p_1$                                  | $2,2d_0$               | Kleinste waarde van $14t$ of 200 mm                                                                                           | Kleinste waarde van $14t$ of 200 mm                                              | Kleinste waarde van $14t_{min}$ of 175 mm                           |
| Steek $p_{1,0}$                              |                        | Kleinste waarde van $14t$ of 200 mm                                                                                           |                                                                                  |                                                                     |
| Steek $p_{1,i}$                              |                        | Kleinste waarde van $28t$ of 400 mm                                                                                           |                                                                                  |                                                                     |
| Steek $p_2$ <sup>5)</sup>                    | $2,4d_0$               | Kleinste waarde van $14t$ of 200 mm                                                                                           | Kleinste waarde van $14t$ of 200 mm                                              | Kleinste waarde van $14t_{min}$ of 175 mm                           |

<sup>1)</sup> De waarden voor steekmaten, rand- en eindafstanden zijn niet gemaximeerd, behalve in de volgende gevallen:  
— voor op druk belaste elementen, om lokaal plooien te vermijden en om corrosie te voorkomen in (aan het buitenklimaat) blootgestelde elementen (de grenswaarden zijn gegeven in de tabel), en  
— voor (aan het buitenklimaat) blootgestelde op trek belaste elementen, om corrosie te voorkomen (de grenswaarden zijn gegeven in de tabel).  
<sup>2)</sup> De weerstand tegen lokaal plooien van de op druk belaste plaat tussen de verbindingsmiddelen behoort te zijn berekend overeenkomstig EN 1993-1-1 waarbij de kniklengte gelijk is aan  $0,6 p_1$ . Het is niet noodzakelijk om lokaal plooien tussen de verbindingsmiddelen te toetsen indien  $p_1/t$  kleiner is dan  $9 \epsilon$ . De randafstand behoort niet groter te zijn dan de eisen voor lokaal plooien van een uitstekende flens in de op druk belaste elementen, zie EN 1993-1-1. De eindafstand is niet beïnvloed door deze eis.  
<sup>3)</sup>  $t$  is de dikte van het dunste buitenste aangesloten onderdeel.  
<sup>4)</sup> De geometrische begrenzingen voor sleufgaten zijn in de in 1.2.7 vermelde verwijzingsnormen (groep 7) aangegeven.  
<sup>5)</sup> Voor verspringende rijen verbindingsmiddelen mag een minimale tussenafstand tussen twee rijen  $p_2 = 1,2d_0$  zijn gebruikt, mits de minimale afstand,  $L$ , tussen elke twee verbindingsmiddelen groter dan of gelijk is aan  $2,4d_0$ , zie figuur 3.1b).

[tab. 3.3 NEN-EN 1993-1-8]

#### Minimale afstanden voor M16:

$$e_1 = 1,2 \cdot d_0 = 22 \text{ of } 25, 25 = \text{maatgevend}$$

$$e_2 = 1,2 \cdot d_0 = 25 \text{ of } 25, 25 = \text{maatgevend}$$

$$p_1 = 2,2 \cdot d_0 = 40 \text{ of } 40, 40 = \text{maatgevend}$$

$$p_2 = 2,4 \cdot d_0 = 43 \text{ of } 45, 45 = \text{maatgevend}$$

#### Maximale afstanden voor M16:

$$4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 16 + 40 = 104 \text{ mm}$$

$$4 \cdot t + 40 = 4 \cdot 16 + 40 = 104 \text{ mm}$$

$$14 \cdot t \text{ of } 200 \text{ mm} = 224 \text{ of } 200 = 204 \text{ mm}$$

$$14 \cdot t \text{ of } 200 \text{ mm} = 224 \text{ of } 200 = 204 \text{ mm}$$

#### Gekozen waarden:

$$e_1 = 50 \text{ mm}, > 25, < 104, \text{ voldoet}$$

$$e_2 = a_{3,c} = 120 \text{ mm}, > 25, < 104, \text{ voldoet}$$

$$p_1 = a_2 = 60, > 40, < 204, \text{ voldoet}$$

$$p_2 = a_1 = 60, > 45, < 204, \text{ voldoet}$$

#### 4.7.2. Stuijk boutgout

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

[tab. 3.4 NEN-EN 1993-1-8]

Waarin:

$a_b$  is de kleinste waarde van  $a_d$ ;  $\frac{f_{ub}}{f_u}$ ; 1

In de richting van de krachtsoverdracht:

$$\text{Eindbouten: } a_d = \frac{e_1}{3d_0} = \frac{50}{3 \cdot 18} = 0,93$$

$$\text{Binnenste bouten: } a_d = \frac{p_1}{3d_0} - \frac{1}{4} = \frac{60}{3 \cdot 18} - \frac{1}{4} = 0,86$$

Waarin:

$$d_o = d + \text{speling} = 16 + 2 = 18 \text{ mm}$$

Geeft:

$$a_b = \min; 0,93/0,86; \frac{400}{235} = 1,7; 1 = 0,93/0,86$$

$k_1$  is de kleinste waarde van:

Loodrecht op de richting van de krachtsoverdracht:

Randbouten

$$k_1 = 2,8 \cdot \frac{e_2}{d_0} - 1,7 = 2,8 \cdot \frac{120}{18} - 1,7 = 16,97$$

$$k_1 = 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{60}{18} - 1,7 = 2,97$$

$$k_1 = 2,5$$

Binnenste bouten

$$k_1 = 1,4 \cdot \frac{p_2}{d_0} - 1,7 = 1,4 \cdot \frac{60}{18} - 1,7 = 2,97$$

$$k_1 = 2,5$$

Voor eind/randbouten:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = \frac{2,5 \cdot 0,93 \cdot 235 \cdot 16 \cdot 12}{1,25} = 83555$$

Waarin:

$$a_b = 0,93$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\gamma_{M2} = 1,25 \quad (\text{voor pennen})$$

Voor binnenste bouten:

$$F_{b,Rd} = \frac{2,5 \cdot 0,86 \cdot 235 \cdot 16 \cdot 12}{1,25} = 77706 \text{ N}$$

Waarin:

$$a_b = 0,86$$

$$k_1 = 2,5$$

$$\gamma_{M2} = 1,25$$

#### 4.1. Brand

##### 4.1.1. Belastingen

Werkende vloerbreedte op ligger: 7,7 meter

##### Blijvende belastingen $G_k$ :

Eigen gewicht vloer:  $7,7 * 1 * 0,32 * 5 = 12,32 \text{ kN/m}^1$

Dichtheid: 5  $\text{kN/m}^3$

Dikte: 0,32 meter

Eigen gewicht ligger:  $1 * 0,45 * 0,7 * 4,3 = 1,36 \text{ kN/m}^1$

Breedte: 0,45 meter

Hoogte: 0,7 meter

Dichtheid: 4,3  $\text{kN/m}^3$

$\frac{+}{13,68 \text{ kN/m}^1}$

[Tabel NB.1 – 6.2., NEN-EN 1991-1-1/NB]

##### Veranderlijke belastingen $Q_k$ :

Kantoorbelasting:  $7,7 * 1 * 2,5 = 19,25 \text{ kN/m}^1$

Gebouwen: 2,5  $\text{kN/m}^2$

Scheidingswanden:  $7,7 * 1 * 1,2 = 9,24 \text{ kN/m}^1$

1,2  $\text{kN/m}^2$

$\frac{+}{28,49 \text{ kN/m}^1}$

##### 4.1.2. Belastingcombinaties

Geen combinatie met wind dus uitsluitend  $\psi_{2,1}$  aanhouden [Tabel NB.7 – A1.3, NEN-EN 1990+A1+A1/NB]

$\psi_{2,1} = 0,3$

[Tabel A1.1, NEN-EN 1990+A1+A1]

##### 6.11a

$1,0 * 13,6 + 1,0 * 0,3 * 28,49 = 22 \text{ kN/m}^1$

[Tabel NB.7 – A1.3, NEN-EN 1990+A1+A1/NB]

### A1.3.2 Rekenwaarden van belastingen in buitengewone en ontwerp- en berekeningssituatie

(1) De partiële factoren voor belastingen wat betreft de uiterste grenstoestanden in geval van buitengewone en ontwerp- en berekeningssituatie (formules 6.11a tot en met 6.12b) behoren gelijk aan 1,0 te zijn.  $\psi$ -waarden zijn gegeven in tabel A1.1.

OPMERKING Voor de aardbevingsontwerpsituatie zie ook EN 1998.

**Tabel NB.7 – A1.3 — Rekenwaarden van belastingen voor het gebruik in buitengewone en aardbevingsbelastingcombinaties**

| Ontwerpsituatie             | Blijvende belastingen |                   | Overheersende buitengewone of aardbevingsbelasting | Veranderlijke belastingen gelijktijdig met de overheersende |                              |
|-----------------------------|-----------------------|-------------------|----------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------|------------------------------|
|                             | Ongunstig             | Gunstig           |                                                    | Belangrijkste (indien aanwezig)                             | Andere                       |
| Buitengewoon (Vgl. 6.11a/b) | $1,0 G_{k,j,sup}$     | $1,0 G_{k,j,inf}$ | $1,0 A_d$                                          | $\psi_{1,1} Q_{k,1}^a$                                      | $\psi_{2,i} Q_{k,i} (i > 1)$ |
| Aardbeving (Vgl. 6.12a/b)   | $1,0 G_{k,j,sup}$     | $1,0 G_{k,j,inf}$ | $1,0 A_{ek}$ of $1,0 A_{Ed}$                       | $\psi_{2,1} Q_{k,1}$                                        | $\psi_{2,i} Q_{k,i} (i > 1)$ |

<sup>a</sup> Uitsluitend voor wind in combinatie met brand bij het beoordelen van disproportionele schade volgens NEN-EN 1991-1-7; voor overige gevallen  $\psi_{2,1}$ .

### 4.1.3. Inbranddiepte

Het effect van hoekafrondingen moet meegenomen worden bij een ligger, dus wordt de inbranddiepte berekend als de schijnbare inbranddiepte.

$$d_{char,n} = \beta_n \cdot t = 0,7 \cdot 120 = 84 \text{ mm}$$

[art. 3.4.2, NEN-EN 1995-1-2]

#### Waarin:

|                                   |           |                         |
|-----------------------------------|-----------|-------------------------|
| Schijnbare inbrandsnelheid        | $\beta_n$ | = 0,7                   |
| Tijdsduur blootstelling aan brand | t         | = 120 minuten           |
| Volumieke massa                   | $\rho$    | = 430 kg/m <sup>3</sup> |

[tabel 3.1, NEN-EN 1995-1-2]

|                                                                                                | $\beta_0$ | $\beta_n$ |
|------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------|-----------|
|                                                                                                | mm/min    | mm/min    |
| <b>a) Naaldhout en beuken</b>                                                                  |           |           |
| Gelijmd gelamineerd hout met een karakteristieke volumieke massa van $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ | 0,65      | 0,7       |
| Gezaagd hout met een karakteristieke volumieke massa van $\geq 290 \text{ kg/m}^3$             | 0,65      | 0,8       |

Oorspronkelijke afmetingen ligger: 450 x 700mm (b x h)

Afmetingen na inbranddiepte: 282 x 616mm (b x h)

#### 4.1.4. Toetsing verbinding op sterkte tijdens brand

$$R_{d,t,fi} = \eta * (R_{20} / Y_{M,fi})$$

[art. 2.3 (2), NEN-EN 1995-1-2]

$$R_{d,t,fi} = 0,28 * (574097,8/1) = 163345,8 \text{ N}$$

( $R_{20}$  verschilt iets met excel vanwege het afronden bij de handberekening, de waarde wordt hierom uit excel gehaald i.p.v. uit dit bestand, dit bestand geeft  $R_{20} = 574096$ )

##### Waarin:

|              |   |                                                                                                             |
|--------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $R_{d,t,fi}$ | = | de ontwerpwaarde voor de draagcapaciteit                                                                    |
| $R_{20}$     | = | de 20% waarde van de draagcapaciteit bij normale temperaturen (zonder effect van de belastingduur en vocht) |
| $\eta$       | = | omrekenfactor factor                                                                                        |
| $Y_{M,fi}$   | = | partiele veiligheidsfactor voor hout in brand                                                               |

Note 2: Design resistances are applied for connections, see 6.2.2 and 6.4. For connections a conversion factor  $\eta$  is given in 6.2.2.1.

$$R_{20} = k_{fi} * R_k = 1,15 * 499215 = 574096 \text{ N} \quad [\text{art. 2.3 (4), NEN-EN 1995-1-2}]$$

##### Waarin:

$$k_{fi} = 1,15$$

$$R_k = F_{v,\alpha,d,tot} / k_{mod} * Y_M = 307209 / 0,8 * 1,3 = 499214 \text{ N}$$

( $F_{v,\alpha,d,tot}$  verschilt iets met excel vanwege het afronden bij de handberekening, de waarde wordt hierom uit excel gehaald i.p.v. uit dit bestand, dit bestand geeft  $F_{v,\alpha,d,tot} = 307209$ )

$$Y_{M,fi} = 1$$

$$\eta = e^{-k*t_{d,fi}} = e^{-0,085*14,8} = 0,28 \quad [\text{art. 6.2.2.1 (2), NEN-EN 1995-1-2}]$$

##### Waarin:

$$k = 0,085 \text{ wanneer } d > 12\text{mm}$$

$$t_{d,fi} = 14,80$$

|            |                                                                                 |
|------------|---------------------------------------------------------------------------------|
| $k$        | is een parameter gegeven in tabel 6.3;                                          |
| $t_{d,fi}$ | is de rekenwaarde van de brandweerstand van de onbeschermde verbinding, in min. |

##### Waarin:

$$t_{d,fi} = -\frac{1}{k} \ln \frac{n_{fi} * n_0 * k_{mod} * Y_{M,fi}}{Y_M * k_{fi}} = -\frac{1}{0,085} * \ln \frac{0,45 * 1,18 * 0,8 * 1}{1,3 * 1,15} = 14,80$$

##### Waarin:

|                      |                                                       |                                  |
|----------------------|-------------------------------------------------------|----------------------------------|
| $\eta_{fi}$          | = 0,45                                                | [art. 2.4.2, NEN-EN 1995-1-2/NB] |
| $\eta_0$             | = $F_{v,\alpha,d,tot} / E_d = 260000 / 307209 = 1,18$ |                                  |
| $k_{mod}$            | = 0,8                                                 | [art. 2.3.1.2, NEN-EN 1995-1-1]  |
| $k_{fi}$             | = 1,15                                                | [tabel 2.1, NEN-EN 1995-1-2]     |
| $Y_M$                | = 1,3                                                 | [tabel 3.1, NEN-EN 1995-1-1]     |
| $Y_{M,fi}$           | = 1                                                   | [art. 2.3, NEN-EN 1995-1-2/NB]   |
| $k$                  | = 0,085                                               | [tabel 6.3, NEN-EN 1995-1-2]     |
| $E_d$ oplegreactie   | = 260000 N                                            |                                  |
| $F_{v,\alpha,d,tot}$ | = 307209 N                                            |                                  |

$$E_{d,fi} = \eta_{fi} * E_d$$

[art. 2.4.2 van NEN-EN 1995-1-2]

$$E_{d,fi} = 0,45 * 260000 = 117000 \text{ N}$$

Waarin:

$$\eta_{fi} = 0,45$$

[art. 2.4.2, NEN-EN 1995-1-2/NB]

$$E_d = 260000 \text{ N}$$

Geeft:

$$E_{d,fi} < R_{d,t,fi}$$

[art. 2.4.1 van NEN-EN 1995-1-2]

$$117000 < 163345,8, \text{ voldoet}$$

#### 4.1.5. Toetsing op vervorming

$$K_{fi} = k_u * \eta_f$$

[art. 4.3.4 (2) van NEN-EN 1995-1-2]

$$K_{fi} = 297739 * 0,67 = 199485 \text{ N}$$

Waarin:

$$K_u = 297739 \text{ N}$$

$$\eta_f = 0,67$$

[tabel 4.2 van NEN-EN 1995-1-2]

Geeft:

$$u = (G + Q_1 + Q_i) / K_{fi} + U_{speling,tot} = 183718 / 199485 + 3 = 3,92 \text{ mm}$$

Waarin:

$$G = \text{oplegreactie t.g.v. eigen gewicht} = 53804 \text{ N}$$

$$Q_1 = \text{oplegreactie t.g.v. veranderlijke belasting 1} = 87780 \text{ N}$$

$$Q_2 = \text{oplegreactie t.g.v. veranderlijke belasting 1} = 42134 \text{ N}$$

$$\text{Totaal} = 183718 \text{ N}$$

$$K_{fi} = 199485$$

$$U_{speling,tot} = 1 + 2 = 3 \text{ mm}$$

$$\text{Speling van de deuvel in het gat van de houten ligger} = 1 \text{ mm}$$

$$\text{Speling van de deuvel in het gat van de staalplaat} = 2 \text{ mm}$$



## BIJLAGE 8A

Excelberekening maatgevende deuvelfverbinding

### OPDRACHTGEVER

**Arcadis**

Afdeling gebouwen

Lichtenauerlaan 100

3062 ME Rotterdam

Begeleider:

Gerard van engelen

Senior Specialist Structural Engineering

### LEERINSTELLING

**Hogeschool Rotterdam**

Opleiding Civiele Techniek

G.J. de Jonghweg 4-6

3015GG Rotterdam

Begeleider:

Sven van Rosmalen

### AFSTUDEERDERS

Roel Majoor

Maarten Schoen

Gerard van Engelen:

.....

## Berekening deuvelfverbinding

### Bepalen rekenwaarde materiaal eigenschap (invoer)

volgens NEN-EN 1995-1-1+C1+A1:2011

Klimaatklasse

- 1 vochtgehalte bij 20°C en een rel. vochtigheid hoger dan 65%
- 2 vochtgehalte bij 20°C en een rel. vochtigheid hoger dan 85%
- 3 klimaatomstandigheden met hogere vochtgehalten t.o.v. k2

Klimaatklasse:

2

Belastingduurklasse:

Middellang

(kortste maatgevend)

$\gamma_M$

1,30

(Voor verbindingen)

Tabel 2.2 — Voorbeelden van toekenning van belastingduurklassen

| Belastingduurklasse | Belastingvoorbeelden     |
|---------------------|--------------------------|
| Blijvend            | Eigen gewicht            |
| Lang                | Opslag                   |
| Middellang          | Opgelegde vloerbelasting |
| Kort                | Sneeuw, wind             |
| Zeer kort           | Bijzondere belasting     |

Tabel 2.1 — Belastingduurklassen

| Belastingduurklasse | Grootteorde van de cumulatieve duur van de karakteristieke belasting |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Blijvend            | Langer dan 10 jaar                                                   |
| Lang                | 6 maanden – 10 jaar                                                  |
| Middellang          | 1 week – 6 maanden                                                   |
| Kort                | Minder dan 1 week                                                    |
| Zeer kort           |                                                                      |

### Bepalen rekenwaarde materiaal eigenschap (uitvoer)

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M}$$

----->  $X_k =$

$f_{m,g,k}$  &  $f_{t,0,g,k}$  &  $\rho_{g,k}$

$k_{mod}$

0,8

(afhankelijk van klimaat belastingduurklasse)

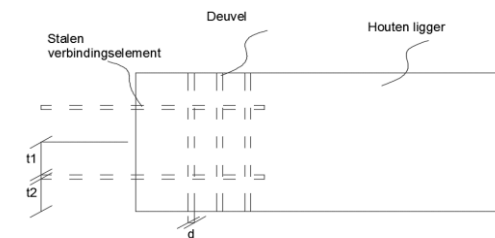
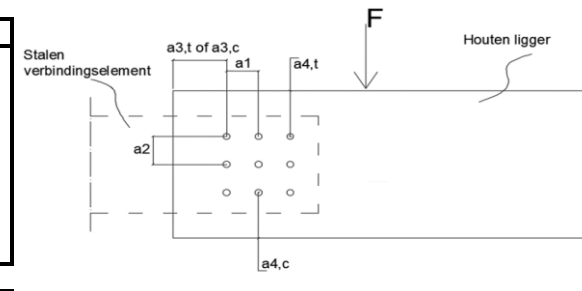
| Materiaal eigenschappen gelamineerd hout GL 30h |       |                   |                       | Rekenwaarde waarde |                   |
|-------------------------------------------------|-------|-------------------|-----------------------|--------------------|-------------------|
| $f_{m,g,k}$                                     | 30    | N/mm <sup>2</sup> | Buigsterkte           | 18,5               | N/mm <sup>2</sup> |
| $f_{t,0,g,k}$                                   | 24    | N/mm <sup>2</sup> | Treksterkte           | 14,8               | N/mm <sup>2</sup> |
| $E_{0,g,mean}$                                  | 13600 | N/mm              | Elasticiteits modulus | nvt                | N/mm              |
| $\rho_{g,k}$                                    | 430   | kg/m <sup>3</sup> | Dichtheid             | 264,6              | kg/m <sup>3</sup> |

| Materiaal eigenschappen deuvelf        |     |                   |             |
|----------------------------------------|-----|-------------------|-------------|
| d                                      | 12  | mm                | diameter    |
| $f_{u,k}$                              | 400 | N/mm <sup>2</sup> | Treksterkte |
| Tussenafstand 1 ( $a_1$ )              | 60  | mm                |             |
| Tussenafstand 2 ( $a_2$ )              | 60  | mm                |             |
| Eindafstand ( $a_{3,t}$ of $a_{3,c}$ ) | 120 | mm                |             |
| Randafstand 1 ( $a_{4,t}$ )            | 80  | mm                |             |
| Randafstand 2 ( $a_{4,c}$ )            | 80  | mm                |             |

| Materiaal eigenschappen staalplaat |     |                               |
|------------------------------------|-----|-------------------------------|
| t                                  | 12  | mm dikte                      |
| $f_{u,k}$                          | 235 | N/mm <sup>2</sup> Treksterkte |

| Slankheid ratio         |                  |  |
|-------------------------|------------------|--|
| $\lambda = \frac{t}{d}$ | t = 64 mm        |  |
|                         | d = 12 mm        |  |
|                         | $\lambda = 5,33$ |  |
|                         | $\lambda = > 4$  |  |
| VOLDOET                 |                  |  |

|               |        |
|---------------|--------|
| ligger hoogte | 700 mm |
| 532 <         | 700    |
| VOLDOET       |        |



## Bepalen stuiksterkte (invoer)

### Bepalen stuiksterkte invoer

Hoek  $\alpha$  waaronder de kracht aangrijpt = 90 graden

Houtsoort = LVL

Reductie waarde  $k_{90}$ : 1,48  $k_{90}$

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 d & \text{for softwoods} \\ 1,30 + 0,015 d & \text{for LVL} \\ 0,90 + 0,015 d & \text{for hardwoods} \end{cases}$$

## Bepalen stuiksterkte (uitvoer)

Stuiksterkte hout parallel aan de vezelrichting

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01 d) \rho_k = f_{h,0,k} \quad 31,0 \quad \text{N/mm}^2$$

Stuiksterkte onder een hoek met de vezelrichting

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = f_{h,\alpha,k} \quad 21,0 \quad \text{N/mm}^2$$

Stuiksterkte loodrecht op de vezelrichting

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = f_{h,90,k} \quad 21,0 \quad \text{N/mm}^2$$

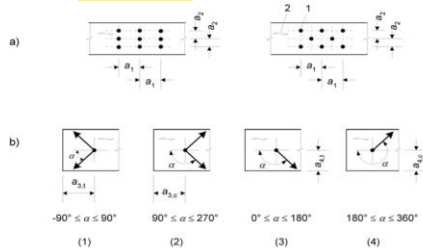
Berekening vloeimoment deuveld

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} = M_{y,Rk} \quad 76745 \quad \text{Nmm}$$

## Bepalen minimale (tussen) deuvelfafstanden (invoer)

Richting van de reactiekracht in de deuvelfverbinding:

hoek  $\alpha = 270 \quad 0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$



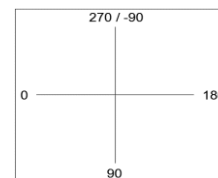
Key:  
(1) Loaded end  
(2) Unloaded end  
(3) Loaded edge  
(4) Unloaded edge  
1 Fastener  
2 Grain direction

Figure 8.7 – Spacings and end and edge distances  
(a) Spacing parallel to grain in a row and perpendicular to grain between rows, (b) Edge and end distances

## Bepalen minimale (tussen) deuvelfafstanden (uitvoer)

Table 8.5 – Minimum spacings and edge and end distances for dowels

| Spacing and edge/end distances (see Figure 8.7) | Angle                                                                                                               | Minimum spacing or edge/end distance                                                  |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| $a_1$ (parallel to grain)                       | $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$                                                                                | $(3 + 2  \cos \alpha ) d$                                                             |
| $a_2$ (perpendicular to grain)                  | $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$                                                                                | $3 d$                                                                                 |
| $a_{3,t}$ (loaded end)                          | $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$                                                                               | $\max(7 d; 80 \text{ mm})$                                                            |
| $a_{3,c}$ (unloaded end)                        | $90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$<br>$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$<br>$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$ | $\max(a_{3,t}  \sin \alpha  d; 3 d)$<br>$3 d$<br>$\max(a_{3,t}  \sin \alpha  d; 3 d)$ |
| $a_{4,t}$ (loaded edge)                         | $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$                                                                                | $\max((2 + 2 \sin \alpha) d; 3 d)$                                                    |
| $a_{4,c}$ (unloaded edge)                       | $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$                                                                              | $3 d$                                                                                 |



Tussenafstand  $\alpha_1 = 36 \text{ mm}$

Tussenafstand  $\alpha_2 = 36 \text{ mm}$

Eindafstand  $a_{3,t}$  of  $a_{3,c} = 84 \text{ mm}$

( $\alpha_{3,t} |\sin \alpha|$ ) is aangenomen in plaats van ( $\alpha_{3,t} |\sin \alpha|$ )d

Randafstand  $\alpha_{4,t} = 48 \text{ mm}$  Boven

Randafstand  $\alpha_{4,c} = 36 \text{ mm}$  Onder

Gekozen tussenafstand

|              |        |         |
|--------------|--------|---------|
| $\alpha_1 =$ | 60 mm  | VOLDOET |
| $\alpha_2 =$ | 60 mm  | VOLDOET |
| $\alpha_1 =$ | 120 mm | VOLDOET |

Gekozen randafstand

|                |       |         |
|----------------|-------|---------|
| $\alpha_{4,t}$ | 80 mm | VOLDOET |
| $\alpha_{4,c}$ | 80 mm | VOLDOET |

## Bepalen max. tolerantie waarden bouten, gaten en ringen

(1) The minimum dowel diameter should be 6 mm. The tolerances on the dowel diameter should be  $-0/+0,1$  mm. Pre-bored holes in the timber members should have a diameter not greater than the dowel.

### 10.4.3 Bolts and washers

(1) Bolt holes in timber should have a diameter not more than 1 mm larger than the bolt. Bolt holes in steel plates should have a diameter not more than 2 mm or  $0,1d$  (whichever is the greater) larger than the bolt diameter  $d$ .

(2) Washers with a side length or a diameter of at least  $3d$  and a thickness of at least  $0,3d$  should be used under the head and nut. Washers should have a full bearing area.

(3) Bolts and lag screws should be tightened so that the members fit closely, and they should be re-tightened if necessary when the timber has reached equilibrium moisture content to ensure that the load-carrying capacity and stiffness of the structure is maintained.

(4) The minimum diameter requirements given in Table 10.1 apply to bolts used with timber connectors, where:

$d_c$  is the connector diameter, in mm;

$d$  is the bolt diameter, in mm

$d_i$  is the diameter of centre hole of connector.

Minimale diameter deuvel  $d \geq 6$  mm

Maximale diameter  $d < 30$  mm

## Bepalen max. tolerantie waarden bouten, gaten en ringen (uitvoer)

Gekozen diameter deuvel 12 mm **VOLDOET**

### Gat toleranties voor deuvels in hout

$d = 13$  mm

### Gat toleranties voor deuvels in staal

$d = 14$  mm

### Minimale afmetingen sluitring

$d = 36$  mm

diameter sluitring

$t = 3,6$  mm

dikte sluitring

Table 10.1 – Requirements for diameters of bolts used with timber connectors

| Type of connector<br>EN 912 | $d_c$      | $d$<br>minimum | $d$<br>maximum |
|-----------------------------|------------|----------------|----------------|
|                             | mm         | mm             | mm             |
| A1 – A6                     | $\leq 130$ | 12             | 24             |
| A1, A4, A6                  | $> 130$    | $0,1 d_c$      | 24             |
| B                           |            | $d_i - 1$      | $d_i$          |

## Bepalen klassificatie staalplaat (invoer)

Het draagvermogen van de staal-hout verbinding hangt af van de dikte van de staalplaat. Er wordt onderscheid gemaakt tussen dunne, dikke staalplaten. Afhankelijk van de dikte moet er met een andere formule de draagvermogen berekend worden.

Dunne staalplaten wanneer:  $t \leq 0,5d$

Dikke staalplaat wanneer:  $t \geq d$   
met max gat tolerantie van  $0,1 \cdot d$

Bij een staalplaat die tussen dun en dik in zit worden beide formules geïntepoleerd

## Bepalen klassificatie staalplaat (invoer)

Bepalen dikte van de staalplaat voor berekening sterkte deuvel verbinding, Voorwaarden voor indelen naar dikte is:

$t =$  dikte gekozen staalplaat = 12 mm

$d =$  diameter gekozen deuvel = 12 mm

Dunne staalplaat 6 mm

Dikke staalplaat 12 mm

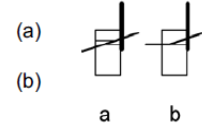
Kwalificatie staalplaat: Dik

Tolerantie op gat diameter: 1,2 mm

## Berekening draagvermogen volgens eurocode (schema's)

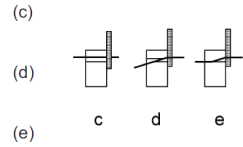
### Dunne staalplaat in enkelsnedige verbinding

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 f_{h,k} t_1 d \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



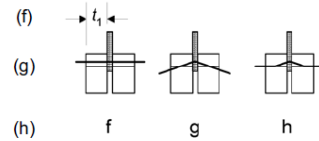
### Dikke staalplaat in enkelsnedige verbinding

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} t_1 d \\ f_{h,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



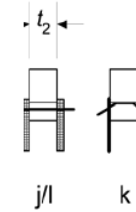
### Staalplaat van elke dikte als middelste element in een dubbelsnedige verbinding

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \\ f_{h,1,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



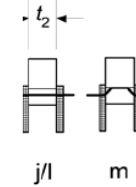
### Dunne staalplaten als buitenste element in een dubbelsnedige verbinding

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{(j)} \\ \text{(k)} \end{array}$$



### Dikke staalplaat als buitenste elementen in een dubbelsnedige verbinding

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{(l)} \\ \text{(m)} \end{array}$$



where:

- $F_{v,Rk}$  is the characteristic load-carrying capacity per shear plane per fastener;
- $f_{h,k}$  is the characteristic embedment strength in the timber member;
- $t_1$  is the smaller of the thickness of the timber side member or the penetration depth;
- $t_2$  is the thickness of the timber middle member;
- $d$  is the fastener diameter;
- $M_{y,Rk}$  is the characteristic fastener yield moment;
- $F_{ax,Rk}$  is the characteristic withdrawal capacity of the fastener.

## Draagcapaciteit meersnedige verbinding (invoer)

De weerstand van elk afschuifvlak moet berekend worden door aan te nemen dat elk afschuifvlak onderdeel is van een three member verbinding

Bezwijkmode (e), (f) en (j/l) mogen niet gecombineerd worden

### Invoer

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| $t_1$                    | 64 mm     |
| $t_2$                    | 128 mm    |
| Afschuifvlakken deuvel   | 4 st.     |
| Aant. deuvels in een rij | 6 st.     |
| Aantal rijen             | 4 st.     |
| Hoek $\alpha$            | 90 Graden |

|                                                 |                         |
|-------------------------------------------------|-------------------------|
| Stuiksterkte hout parallel aan de vezelrichting | 31,03 N/mm <sup>2</sup> |
| Stuiksterkte onder hoek met de vezelrichting    | 20,97 N/mm <sup>2</sup> |
| Stuiksterkte loodrecht op de vezelrichting      | 20,97 N/mm <sup>2</sup> |
| Vloeimoment deuvel                              | 76745,42 N/mm           |

## Draagcapaciteit meersnedige verbinding (uitvoer)

### Alle staalplaten

|   |            |   |       |   |                                       |
|---|------------|---|-------|---|---------------------------------------|
| g | $F_{v,Rk}$ | = | 11526 | N | in vezelrichting                      |
| g | $F_{v,Rk}$ | = | 8306  | N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |
| h | $F_{v,Rk}$ | = | 12295 | N | in vezelrichting                      |
| h | $F_{v,Rk}$ | = | 10106 | N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

### Dunne staalplaten

|     |   |            |   |      |   |                                       |
|-----|---|------------|---|------|---|---------------------------------------|
| Dun | k | $F_{v,Rk}$ | = | Nvt. | N | in vezelrichting                      |
|     | k | $F_{v,Rk}$ | = | Nvt. | N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

### Dikke staalplaten

|     |   |            |   |       |   |                                       |
|-----|---|------------|---|-------|---|---------------------------------------|
| Dik | m | $F_{v,Rk}$ | = | 12295 | N | in vezelrichting                      |
|     | m | $F_{v,Rk}$ | = | 10106 | N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

### Tussen staalplaten

|        |              |            |   |      |   |                                       |
|--------|--------------|------------|---|------|---|---------------------------------------|
| Tussen | interpolatie | $F_{v,Rk}$ | = | Nvt. | N | in vezelrichting                      |
|        | tussen k & m | $F_{v,Rk}$ | = | Nvt. | N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

### Minimale waarden uit de formule 'g' & 'h' & k('Dun') OF m('Dik') OF k&m('Tussen') = draagcapaciteit per afschuifvlak

|             |            |   |       |   |                                       |
|-------------|------------|---|-------|---|---------------------------------------|
| min g,h,k,m | $F_{v,Rk}$ | = | 11526 | N | in vezelrichting                      |
|             | $F_{v,Rk}$ | = | 8306  | N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

Wanneer de staalplaat geclassificeerd is als 'tussen' wordt de waarde voor de op te nemen kracht per afschuifvlak berekend door het interpoleren tussen de waarden van de dun en dik geclassificeerde staalplaten. Hierom zijn de waarden voor de dunne en dikke staalplaten in dit geval wel berekend.

## Effectieve deuvels en totaal draagcapaciteit (invoer)

Bij een meervoudige deuvelverbinding moet een reductiefactor meegenomen worden als er meerdere deuvels in een rij zitten

|                          |         |
|--------------------------|---------|
| Afschuifvlakken deuvel   | 4 st.   |
| Aant. deuvels in een rij | 6 st.   |
| Aantal rijen             | 4 st.   |
| Hoek $\alpha$            | 90 Grad |

draagcapaciteit per afschuifvlak

|                                       |         |
|---------------------------------------|---------|
| in vezelrichting                      | 11526 N |
| in hoek $\alpha$ met de vezelrichting | 8306 N  |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| $k_{mod}$  | = | 0,8 |
| $\gamma_M$ | = | 1,3 |

Bij hoeken tussen  $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$  kan  $n_{ef}$  worden bepaald door lineaire interpolatie

## Aantal effectieve deuvels en totaal draagcapaciteit (uitvoer)

Effectieve deuvels in een rij parallel aan de vezelrichting

|            |   |      |
|------------|---|------|
| $n_{ef,p}$ | = | 3,95 |
|------------|---|------|

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \sqrt{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right.$$

Effectieve deuvels in een rij loodrecht op de vezelrichting

|            |   |   |
|------------|---|---|
| $n_{ef,L}$ | = | 6 |
|------------|---|---|

$$n_{ef} = n$$

Effectieve deuvels in een rij in een hoek  $\alpha$  op de vezelrichting

$$n_{ef} = N_{ef,p} + (N_{ef,L} - N_{ef,p}) / 90^\circ \alpha$$

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} F_{v,Rk}$$

|          |   |   |
|----------|---|---|
| $n_{ef}$ | = | 6 |
|----------|---|---|

Draagcapaciteit per rij deuvels (= aantal effectieve deuvels \* aantal afschuifvlakken \* draagcapaciteit per afschuifvlak)

|                   |   |          |                                       |
|-------------------|---|----------|---------------------------------------|
| $F_{v,Rk}$        | = | 182108 N | in vezelrichting                      |
| $F_{v,\alpha,Rk}$ | = | 199355 N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

Draagcapaciteit per rij deuvels rekenwaarde (= draagcapaciteit deuvel \*  $k_{mod} / \gamma_M$ )

|                   |   |          |                                       |
|-------------------|---|----------|---------------------------------------|
| $F_{v,Rd}$        | = | 112067 N | in vezelrichting                      |
| $F_{v,\alpha,Rd}$ | = | 122680 N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

Draagcapaciteit totaal (= draagcapaciteit per rij deuvels \* aantal rijen)

|                      |   |          |                                       |
|----------------------|---|----------|---------------------------------------|
| $F_{v,d,tot}$        | = | 448267 N | in vezelrichting                      |
| $F_{v,\alpha,d,tot}$ | = | 490719 N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

Oplegreactie:

295000

## Stijfheid verbinding (invoer)

|              |   |                       |
|--------------|---|-----------------------|
| $\rho_{g,k}$ | = | 430 kg/m <sup>3</sup> |
| d            | = | 12 mm                 |

Bij staal-hout of beton-hout verbindingen, mag  $K_{ser}$  vermenigvuldigd worden met 2

De verschuivingsmodulus van een verbinding bij de uiterste grenstoestand  $K_u$  behoort te worden genomen als:

## Stijfheid verbinding (uitvoer)

Elastische vervorming verbinding per afschuifvlak

|           |   |                       |   |           |                  |
|-----------|---|-----------------------|---|-----------|------------------|
| $K_{ser}$ | = | $\rho_m^{1,5} d / 23$ | = | 9304 N/mm | per afschuifvlak |
|-----------|---|-----------------------|---|-----------|------------------|

Elastische vervorming gehele verbinding (=  $K_{ser}$  \* aant. rijen deuvels \* aant. deuvels / rij \* aant. afschuifvlakken / deuvel)

|               |             |                               |
|---------------|-------------|-------------------------------|
| $K_{ser,tot}$ | 893218 N/mm | (bruikbaarheidsgrenstoestand) |
|---------------|-------------|-------------------------------|

|       |             |                          |
|-------|-------------|--------------------------|
| $K_u$ | 595478 N/mm | (uiterste grenstoestand) |
|-------|-------------|--------------------------|

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser}$$

## Vervorming (invoer)

Lengte ligger: 9,12 meter

Opleg reactie:

T.g.v. het eigengewicht  $G = 62356$  N

Overheersende veranderlijke belasting  $Q_1 = 87780$  N

Overige veranderlijke belasting  $Q_i = 42134$  N

$\Psi_0$  0,7 NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011 - Tabel A1.1

$\Psi_2$  0,3 NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011 - Tabel A1.1

$k_{def}$  0,8 **Klimaat klasse 2 aangenomen, Nog nader bepalen**

(3) Bij verbindingen bestaande uit houten elementen met eenzelfde tijdsafhankelijk gedrag behoort de waarde van  $k_{def}$  te zijn verdubbeld.

(4) Bij een verbinding bestaande uit twee houtachtige elementen met een verschillend tijdsafhankelijk gedrag behoort de uiteindelijke vervorming te zijn berekend met de volgende vervormingsfactor  $k_{def}$ :

$$k_{def} = 2 \sqrt{k_{def,1} \cdot k_{def,2}}$$

staal hout verbinding dus geen vermenigvuldiging factor

## Vervorming (uitvoer)

Speling deuvel gatin houten ligger 1 mm

Speling deuvel gat in stalen element 2 mm

$U_{speling,tot}$  3 mm

Uit tabel 7.1 volgt dat de speling bij de vervorming opgeteld moet worden

$u_{inst}$  3,22 mm  $(= (G + Q_1 + Q_i)/K_{ser,tot} + U_{speling,tot})$

$u_{fin,g}$  0,13 mm

$u_{fin,Q,1}$  0,12 mm

$u_{fin,Q,i}$  0,04 mm

$u_{fin}$  3,29 mm

uiterste grenstoestand

3,322883 mm

$$u_{fin} = u_{fin,G} + u_{fin,Q_1} + \sum u_{fin,Q_i} \quad (2.2)$$

waarin:

$$u_{fin,G} = u_{inst,G} (1 + k_{def}) \quad \text{voor de blijvende belasting } G \quad (2.3)$$

$$u_{fin,Q,1} = u_{inst,Q,1} (1 + \varphi_{2,1} k_{def}) \quad \text{voor de overheersende veranderlijke belasting } Q_1 \quad (2.4)$$

$$u_{fin,Q,i} = u_{inst,Q,i} (\varphi_{0,i} + \varphi_{2,i} k_{def}) \quad \text{voor de gelijktijdige veranderlijke belastingen } Q_i (i > 1) \quad (2.5)$$



(5)P It shall be taken into account that the load-carrying capacity of steel-to-timber connections with a loaded end may be reduced by failure along the perimeter of the fastener group.

NOTE: A method of determining the strength of the fastener group is given in Annex A (informative).

Tabel 3.2 — Waarden van  $k_{\text{def}}$  voor hout en houtachtige materialen

| Materiaal                | Norm     | Klimaatklasse |      |      |
|--------------------------|----------|---------------|------|------|
|                          |          | 1             | 2    | 3    |
| Gelijmd gelamineerd hout | EN 14080 | 0,60          | 0,80 | 2,00 |

$$K_{\text{mean,fin}} = \frac{K_{\text{mean}}}{(1 + k_{\text{def}})}$$

#### 7.1 Joint slip

(1) For joints made with dowel-type fasteners the slip modulus  $K_{\text{ser}}$  per shear plane per fastener under service load should be taken from Table 7.1 with  $\rho_m$  in kg/m<sup>3</sup> and  $d$  or  $d_c$  in mm. For the definition of  $d_c$ , see EN 13271.

NOTE: In EN 26891 the symbol used is  $k_s$  instead of  $K_{\text{ser}}$ .

Table 7.1 – Values of  $K_{\text{ser}}$  for fasteners and connectors in N/mm in timber-to-timber and wood-based panel-to-timber connections

| Fastener type                                                                                                                     | $K_{\text{ser}}$                     |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Dowels<br>Bolts with or without clearance <sup>a</sup><br>Screws<br>Nails (with pre-drilling)                                     | $\rho_m^{1,5} d / 23$                |
| Nails (without pre-drilling)                                                                                                      | $\rho_m^{1,5} d^{0,8} / 30$          |
| Staples                                                                                                                           | $\rho_m^{1,5} d^{0,8} / 80$          |
| Split-ring connectors type A according to EN 912<br>Shear-plate connectors type B according to EN 912                             | $\rho_m d / 2$                       |
| Toothed-plate connectors:<br>– Connectors types C1 to C9 according to EN 912<br>– Connectors type C10 and C11 according to EN 912 | $1,5 \rho_m d / 4$<br>$\rho_m d / 2$ |
| <sup>a</sup> The clearance should be added separately to the deformation.                                                         |                                      |

Tabel 3.1 — Waarden van  $k_{\text{mod}}$

| Materiaal                | Norm     | Klimaat-klasse | Belastingsduurklasse |      |            |      |           |
|--------------------------|----------|----------------|----------------------|------|------------|------|-----------|
|                          |          |                | Blijvend             | Lang | Middellang | Kort | Zeer kort |
| Gelijmd gelamineerd hout | EN 14080 | 1              | 0,60                 | 0,70 | 0,80       | 0,90 | 1,10      |
|                          |          | 2              | 0,60                 | 0,70 | 0,80       | 0,90 | 1,10      |
|                          |          | 3              | 0,50                 | 0,55 | 0,65       | 0,70 | 0,90      |

(4) For the limitation of the rope effect  $F_{\text{ax,Rk}}$  8.2.2(2) applies.

Tabel NB.2 – A1.1 —  $\psi$ -factoren voor gebouwen

| Belasting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $\psi_0$             | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------|----------|
| Voorgeschreven belastingen in gebouwen, categorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                      |          |          |
| Categorie A: woon- en verblijfsruimtes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0,4                  | 0,5      | 0,3      |
| Categorie B: kantoorruimtes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 0,5                  | 0,5      | 0,3      |
| Categorie C: bijeenkomstruimtes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0,6/0,4 <sup>a</sup> | 0,7      | 0,6      |
| Categorie D: winkelruimtes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0,4                  | 0,7      | 0,6      |
| Categorie E: opslagruimtes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1,0                  | 0,9      | 0,8      |
| Categorie F: verkeersruimte, voertuiggewicht ≤ 30 kN                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0,7                  | 0,7      | 0,6      |
| Categorie G: verkeersruimte <sup>b</sup> , 30 kN < voertuiggewicht ≤ 160 kN                                                                                                                                                                                                                                                                              | 0,7                  | 0,5      | 0,3      |
| Categorie H: daken                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 0                    | 0        | 0        |
| Sneeuwbelasting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0                    | 0,2      | 0        |
| Belasting door regenwater                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0                    | 0        | 0        |
| Windbelasting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0                    | 0,2      | 0        |
| Temperatuur (geen brand)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0                    | 0,5      | 0        |
| <sup>a</sup> De waarde 0,6 geldt voor delen van het gebouw die in geval van een calamiteit zwaar kunnen worden belast door een mensenmenigte (vluchtroutes, trappen enz.); de waarde 0,4 geldt in overige gevallen.<br><sup>b</sup> Met verkeersruimte wordt in dit geval een ruimte bedoeld waar voertuigen kunnen rijden, bijvoorbeeld parkeergarages. |                      |          |          |

(3) For steel-to-timber or concrete-to-timber connections,  $K_{\text{ser}}$  should be based on  $\rho_m$  for the timber member and may be multiplied by 2,0.

Tabel 2.3 — Aanbevolen partiële factoren  $\gamma_M$  voor materiaaleigenschappen en weerstanden

|                           |      |
|---------------------------|------|
| Fundamentele combinaties: |      |
| Gezaagd hout              | 1,3  |
| Gelijmd gelamineerd hout  | 1,25 |
| LVL, multiplex, OSB       | 1,2  |
| Spaanplaten               | 1,3  |
| Vezelplaten, hard         | 1,3  |
| Vezelplaten, medium       | 1,3  |
| Vezelplaten, MDF          | 1,3  |
| Vezelplaten, zacht        | 1,3  |
| Verbindingen              | 1,3  |
| Metalen hechtplaten       | 1,25 |
| Bijzondere combinaties    | 1,0  |

|                  |                                                                                |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| $f_{m,0,rep}$    | buigsterkte evenwijdig aan de vezel                                            |
| $E_{0,ser,rep}$  | elasticiteitsmodulus evenwijdig aan de vezel in de bruikbaarheidsgrenstoestand |
| $\rho_{rep}$     | volumieke massa                                                                |
| $f_{t,0,rep}$    | treksterkte evenwijdig aan de vezel                                            |
| $f_{t,90,rep}$   | treksterkte loodrecht op de vezel                                              |
| $f_{c,0,rep}$    | druksterkte evenwijdig aan de vezel                                            |
| $f_{c,90,rep}$   | druksterkte loodrecht op de vezel                                              |
| $f_{v,0,rep}$    | schuifsterkte                                                                  |
| $E_{0,u,rep}$    | elasticiteitsmodulus evenwijdig aan de vezel in de uiterste grenstoestand      |
| $E_{90,ser,rep}$ | elasticiteitsmodulus loodrecht op de vezel bij naaldhout                       |
| $E_{90,ser,rep}$ | elasticiteitsmodulus loodrecht op de vezel bij loofhout                        |
| $G_{ser,rep}$    | afschuivingmodulus.                                                            |

|                                       |         |            |                 |
|---------------------------------------|---------|------------|-----------------|
| ter vergelijking met het gebouw treet |         |            |                 |
| gegevens treet                        |         | totaal     | uitkomst treet  |
| diameter deuvels                      | 12      | 12702,0067 | 609696,3239 447 |
| Pm =                                  | 430*2 = | 840        |                 |
| aantal deuvels                        | 12      |            |                 |

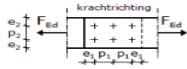
|            |       |   |          |
|------------|-------|---|----------|
| 447 /      | (2/3) | = | 670,5    |
| 670,5 /    | 2     | = | 335,25   |
| 335,25 *   | 1,25  | = | 419,0625 |
| 419,0625 / | 1,25  | = | 335,25   |
| 335,25 *   | 2     | = | 670,5    |
| 670,5 *    | (2/3) | = | 447      |

Table 5 — Characteristic strength and stiffness properties an N/mm² and densities in kg/m³ for homogeneous glulam

| Property                           | Symbol          | Glulam strength class |        |        |        |        |        |        |
|------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                    |                 | GL 20h                | GL 22h | GL 24h | GL 26h | GL 28h | GL 30h | GL 32h |
| Bending strength                   | $f_{m,g,k}$     | 20                    | 22     | 24     | 26     | 28     | 30     | 32     |
| Tensile strength                   | $f_{t,0,g,k}$   | 16                    | 17,6   | 19,2   | 20,8   | 22,3   | 24     | 25,6   |
|                                    | $f_{t,90,g,k}$  | 0,5                   |        |        |        |        |        |        |
| Compression strength               | $f_{c,0,g,k}$   | 20                    | 22     | 24     | 26     | 28     | 30     | 32     |
|                                    | $f_{c,90,g,k}$  | 2,5                   |        |        |        |        |        |        |
| Shear strength (shear and torsion) | $f_{v,g,k}$     | 3,5                   |        |        |        |        |        |        |
| Rolling shear strength             | $f_{r,g,k}$     | 1,2                   |        |        |        |        |        |        |
| Modulus of elasticity              | $E_{0,g,mean}$  | 8 400                 | 10 500 | 11 500 | 12 100 | 12 600 | 13 600 | 14 200 |
|                                    | $E_{0,g,05}$    | 7 000                 | 8 800  | 9 600  | 10 100 | 10 500 | 11 300 | 11 800 |
|                                    | $E_{90,g,mean}$ | 300                   |        |        |        |        |        |        |
|                                    | $E_{90,g,05}$   | 250                   |        |        |        |        |        |        |
| Shear modulus                      | $G_{g,mean}$    | 650                   |        |        |        |        |        |        |
|                                    | $G_{g,05}$      | 540                   |        |        |        |        |        |        |
| Rolling shear modulus              | $G_{r,g,mean}$  | 65                    |        |        |        |        |        |        |
|                                    | $G_{r,g,05}$    | 54                    |        |        |        |        |        |        |
| Density                            | $\rho_{g,k}$    | 340                   | 370    | 385    | 405    | 425    | 430    | 440    |
|                                    | $\rho_{g,mean}$ | 370                   | 410    | 420    | 445    | 460    | 480    | 490    |

# Controle staalplaat

## Invoer



e = eindafstand  
p = steek  
e<sub>1</sub> en p<sub>1</sub> : evenwijdig aan krachtrichting  
e<sub>2</sub> en p<sub>2</sub> : loodrecht op krachtrichting

| minimumwaarden<br>volgens Eurocode 3                                                                                                                     | maximumwaarden<br>volgens Eurocode 3                                                                                               | bout-<br>diameter d <sub>b</sub> | minimale boutafstanden     |                            |                            |                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                                                                                                                                          |                                                                                                                                    |                                  | p <sub>1</sub>             | p <sub>2</sub>             | e <sub>1</sub>             | e <sub>2</sub>             |
| e <sub>1</sub> ≥ 1,2 d <sub>0</sub><br>e <sub>2</sub> ≥ 1,5 d <sub>0</sub><br>p <sub>1</sub> ≥ 2,2 d <sub>0</sub><br>p <sub>2</sub> ≥ 3,0 d <sub>0</sub> | e <sub>1</sub> ≤ 4 t + 40 mm<br>e <sub>2</sub> ≤ 4 t + 40 mm<br>p <sub>1</sub> ≤ 14 t of 200 mm<br>p <sub>2</sub> ≤ 14 t of 200 mm | M12<br>M16<br>M20<br>M24<br>M30  | 35<br>40<br>50<br>60<br>70 | 35<br>45<br>55<br>65<br>80 | 20<br>25<br>30<br>35<br>40 | 20<br>25<br>30<br>35<br>40 |

Bout diameter = M12

p1 = 60 mm  
p2 = 60 mm  
e1 = 50 mm  
e2 = 120 mm

f<sub>ub</sub> = 400 N/mm<sup>2</sup>  
f<sub>u</sub> = 235 N/mm<sup>2</sup>

Diameter deugel = 12 mm  
Dikte staalplaat = 12 mm  
d0 = 14 mm  
Speling op gat = 2 mm

Partiele veiligheid Y<sub>M2</sub> = 1,25

Totaal aantal deugels = 24 st.

Oplegreactie = 295000 N

Optredende kracht per deugel = optredende oplegreactie / totaal aantal deugels  
= 12291,67 < 67680

## Uitvoer

p1 min = 35 < 60 **VOLDOET**  
p2 min = 35 < 60 **VOLDOET**  
e1 min = 20 < 50 **VOLDOET**  
e2 min = 20 < 120 **VOLDOET**

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

a<sub>b</sub> is de minimale waarde van: 1 ; f<sub>ub</sub>/f<sub>u</sub> ; a<sub>d</sub>

f<sub>ub</sub>/f<sub>u</sub> = 1,70  
a<sub>d</sub> = Eindbouten: e<sub>1</sub>/(3\*d<sub>0</sub>) = 1,19  
Binnenste bouten: p<sub>1</sub>/(3\*d<sub>0</sub>)-(1/4) = 1,18

Geeft:

Eindbouten: Binnenste bouten:  
a<sub>b</sub> = 1 a<sub>b</sub> = 1

k<sub>1</sub> is de minimale waarde van: 2,8 \* (e<sub>2</sub>/d<sub>0</sub>) - 1,7 ; 1,4 \* (p<sub>2</sub>/d<sub>0</sub>) - 1,7 ; 2,5

2,5  
2,8 \* (e<sub>2</sub>/d<sub>0</sub>) - 1,7 = 22,3  
1,4 \* (p<sub>2</sub>/d<sub>0</sub>) - 1,7 = 4,3

Geeft:

Eindbouten: Binnenste bouten:  
k<sub>1</sub> = 2,5 k<sub>1</sub> = 2,5

Eind/randbouten:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 67680$$

Binnenste bouten:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 67680$$

| Afschuiving staalplaat                       |          |                    |                           |
|----------------------------------------------|----------|--------------------|---------------------------|
| Invoer                                       |          | Uitvoer            |                           |
| berekend volgens controle bij staalprofielen |          | t <sub>max</sub> = | 135,7 N/mm <sup>2</sup>   |
| $t = \frac{V_{max}}{A_{lijf}}$               |          | t =                | 122,9 N/mm <sup>2</sup>   |
| $t_{Max} = \frac{\sigma}{\sqrt{3}}$          |          | UC =               | 0,91 <span>Voldoet</span> |
| dikte staalplaat                             | 12 mm    |                    |                           |
| Lengte staalplaat                            | 100 mm   |                    |                           |
| Aantal staalplaten                           | 2        |                    |                           |
| Vmax                                         | 295000 N |                    |                           |

### Controle splijtsterkte ligger (invoer) NL

$$F_{90,Rk} = 14bw \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}}$$

|                     |     |                     |
|---------------------|-----|---------------------|
| Modificatie factor  | 1   | (voor verbindingen) |
| Belaste randafstand | 449 | mm                  |
| Hoogte ligger       | 700 | mm                  |
| Breedte ligger      | 450 | mm                  |

### Controle splijtsterkte ligger (uitvoer) NL

$$F_{90,Rk} = 222934$$

$$F_{90,Rd} = F_{90,Rk} * Y_m * k_{mod} = 137190 \text{ N}$$

### Controle splijtsterkte ligger (invoer) DUI

$$F_{uit} = t_{ef}^{0.8} h^{0.8} k_z k_s k_r k_g f_{t,90}$$

|            |   |                                           |                       |
|------------|---|-------------------------------------------|-----------------------|
| $t_{ef}$   | = | 144                                       | mm                    |
| $h$        | = | 700                                       | mm                    |
| $f_{t,90}$ | = | treksterkte loodrecht op de vezelrichting | 2,5 N/mm <sup>2</sup> |
| $k_z$      | = | 13,9                                      |                       |
| $h_e$      | = | 449                                       | mm                    |
| $k_s$      | = | 1,3                                       |                       |
| $l_r$      | = | 300                                       | mm                    |
| $k_r$      | = | 1,63                                      |                       |
| $n_r$      | = | 4                                         |                       |
| $h_{i,1}$  |   | 269                                       | mm                    |
| $h_{i,2}$  |   | 389                                       | mm                    |
| $h_{i,3}$  |   | 329                                       |                       |
| $h_{i,4}$  | = | $h_e$                                     | = 449 mm              |
| $k_g$      | = | 1                                         |                       |
| $s$        | = | 30                                        |                       |

### Controle splijtsterkte ligger (uitvoer) DUI

$$k_z = 6.5 + \frac{18h_e^2}{h^2}$$

$$k_s = \max \left\{ \begin{array}{l} 1.0 \\ 0.7 + \frac{1.4l_r}{h} \end{array} \right.$$

$$k_r = \frac{n_r}{\sum_{i=1}^{n_r} \left( \frac{h - h_e}{h - h_i} \right)^2}$$

$$k_g = \begin{cases} 0.5 & , 2s \geq 2h \\ 1.0 & , 2s \leq 0.5h \\ \frac{2s}{4h} + 0.5 & , 0.5h \leq 2s \leq 2 \end{cases}$$

$$F_{uit,d} = 743109 \text{ N} \quad (\text{karakteristiek})$$

$$F_{uit,d} = 457298 \text{ N} \quad (\text{rekenwaarde})$$

## Brand

### Bepalen rekenwaarde sterkte eigenschappen gelamineerd hout bij brand

| Materiaal eigenschappen gelamineerd hout GL 30h |       |                   |                       |
|-------------------------------------------------|-------|-------------------|-----------------------|
| $f_{m,g,k}$                                     | 30    | N/mm <sup>2</sup> | Buigsterkte           |
| $f_{t,0,g,k}$                                   | 24    | N/mm <sup>2</sup> | Treksterkte           |
| $E_{0,g,mean}$                                  | 13600 | N/mm              | Elasticiteits modulus |
| $E_{0,g,05}$                                    | 11300 | N/mm              | Elasticiteits modulus |

Voor de toetsing van de draagkracht van de ligger bij brand moeten de 20 percentielwaardes van de sterkte eigenschappen gebruikt worden

| 20% - fractielwaarde van stijfheid | 20% - fractielwaarde van sterkte eigenschap |
|------------------------------------|---------------------------------------------|
| $S_{20} = k_{fi} S_{05}$           | $f_{20} = k_{fi} f$                         |

Tabel 2.1 — Waarden voor  $k_{fi}$

|                          |      |
|--------------------------|------|
| Gezaagd hout             | 1,25 |
| Gelijmd gelamineerd hout | 1,15 |

$$k_{fi} = 1,15$$

| Materiaal eigenschappen gelamineerd hout GL 30h |       |                   |                       |
|-------------------------------------------------|-------|-------------------|-----------------------|
| $f_{m,g,k,20}$                                  | 34,5  | N/mm <sup>2</sup> | Buigsterkte           |
| $f_{t,0,g,k,20}$                                | 27,6  | N/mm <sup>2</sup> | Treksterkte           |
| $E_{0,g,20}$                                    | 12995 | N/mm              | Elasticiteits modulus |

### Bepalen inbranddiepte ligger

Het effect van hoekafrondingen moet meegenomen worden bij een ligger, dus wordt de inbranddiepte bekend als de schijnbare inbranddiepte

$$d_{char,n} = \beta_n t$$

$$d_{char,n} = \beta_n * t = 84 \text{ mm}$$

$$\beta_n = 0,7 \text{ schijnbare inbrandsnelheid}$$

$$t = 120 \text{ tijdsduur van de blootstelling aan brand}$$

$$p = 430 \text{ volumieke massa}$$

|                                                                                                                          | $\beta_0$<br>mm/min | $\beta_n$<br>mm/min |
|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| a) Naaldhout en beuken<br>Gelijmd gelamineerd hout met een karakteristieke volumieke massa van $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ | 0,65                | 0,7                 |
| Gezaagd hout met een karakteristieke volumieke massa van $\geq 290 \text{ kg/m}^3$                                       | 0,65                | 0,8                 |

### Oorspronkelijke afmetingen:

$$\text{Breedte} = 450 \text{ mm}$$

$$\text{Hoogte} = 700 \text{ mm}$$

### Afmetingen na 120 min brand:

$$\text{Breedte} = 282 \text{ mm}$$

$$\text{Hoogte} = 616 \text{ mm}$$

Type verbinding:

Connections with fasteners in shear with side members of wood and wood-based panels

## Toetsing Deuvelverbinding

$E_{d,fi} < R_{d,t,fi}$  (invoer)

$$R_{d,t,fi} = n \cdot (R_{20} / Y_{M,fi}) = 367329,6$$

|              |   |                                                                                                             |
|--------------|---|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $R_{d,t,fi}$ | = | de ontwerpwaarde voor de draagcapaciteit                                                                    |
| $R_{20}$     | = | de 20% waarde van de draagcapaciteit bij normale temperaturen (zonder effect van de belastingduur en vocht) |
| $n$          | = | conversion factor                                                                                           |
| $Y_{M,fi}$   | = | partiele veiligheids factor voor hout in brand                                                              |

Note 2: Design resistances are applied for connections, see 6.2.2 and 6.4. For connections a conversion factor  $\eta$  is given in 6.2.2.1.

$$\begin{aligned} R_{20} &= k_{fi} \cdot R_k = 1,15 \cdot 797418 = 917031 \text{ N} \\ k_{fi} &= 1,15 \\ R_k &= 797418 \end{aligned}$$

$$Y_{M,fi} = 1$$

$$\begin{aligned} n &= e^{\Lambda(-k \cdot t_{d,fi})} = e^{\Lambda(-0,915)} = 0,40 \\ k &= 0,085 \text{ (mits } d > 12 \text{ mm)} \\ t_{d,fi} &= 10,8 \end{aligned}$$

$k$  is een parameter gegeven in tabel 6.3;

$t_{d,fi}$  is de rekenwaarde van de brandweerstand van de onbeschermd verbinding, in min.

$E_{d,fi} < R_{d,t,fi}$  (uitvoer)

$$E_{d,fi} < R_{d,t,fi} \text{ geeft: } 132750 < 367329,6 \text{ VOLDOET}$$

### 6.2.2.2 Beschermd verbindingen

(1) 6.2.1.2 is van toepassing, behalve dat  $t_{d,fi}$  behoort te zijn berekend volgens uitdrukking (6.7).

(2) Als alternatieve methode voor de bescherming van kop- en zij-oppervlakken van elementen, mogen de eind- en randafstanden worden vergroot met  $a_{fi}$  overeenkomstig uitdrukking (6.1). Echter, voor brandweerstanden van meer dan 30 min behoren de eindafstanden te zijn vergroot met  $2a_{fi}$ . Deze vergroting van de eindafstand geldt ook voor stompe voegen van het middenhout in een verbinding.

$$t_{d,fi} = \frac{1}{k} \ln \frac{\eta_{fi} \eta_0 k_{mod} Y_{M,fi}}{Y_M k_{fi}} = 10,8$$

De waarde van  $\eta_{fi}$  moet gelijk aan 0,45 zijn genomen, behalve voor opgelegde belastingen volgens klasse E1 van NEN-EN 1991-1-1:2002 (ruimten waar gemakkelijk goederen kunnen worden opgestapeld, inclusief toegangsruimten) in welk geval de waarde van  $\eta_{fi}$  gelijk aan 0,7 moet zijn genomen.

$$\begin{aligned} \eta_{fi} &= 0,45 \\ \eta_0 &= 1,66 \\ k_{mod} &= 0,8 \\ k_{fi} &= 1,15 \\ Y_M &= 1,30 \\ Y_{M,fi} &= 1 \\ k &= 0,085 \\ \text{Oplegreactie} &= 295000 \\ \text{sterkte deuvelverb} &= 490718,9 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} E_{d,fi} &= \eta_{fi} \cdot E_d = 132750 \\ \eta_{fi} &= 0,45 \\ E_d &= 295000 \end{aligned}$$

## Vervorming Deuvelverbinding

### 4.3 Vereenvoudigde regels voor de berekening van constructieve elementen en onderdelen

#### 4.3.1 Algemeen

(1) Druk loodrecht op de vezel mag zijn verwaarloosd.

(2) Afschuiving mag zijn verwaarloosd in rechthoekige en cirkelvormige doorsneden. Voor liggers met een uitkeping behoort te zijn gecontroleerd dat de restdoorsnede bij de uitkeping ten minste 60 % bedraagt van de doorsnede die is benodigd in een situatie zonder brand.

#### 4.3.2 Liggers

(1) Indien het stabiliteitsverband bezwijkt gedurende de vereiste brandtijd, behoort de kipstabiliteit van de ligger te zijn beschouwd zonder enige zijdelingse steun van het verband.

$$\begin{aligned} K_{fi} &= K_u \cdot n_f = 398971 \text{ N/mm} \\ K_u &= 595478 \text{ N/mm} \\ n_f &= 0,67 \end{aligned}$$

$$(\text{= } (G + Q_1 + Q_2) / K_{fi} + U_{\text{speling,tot}}) = 3,48 \text{ mm}$$

### 4.3.4 Staven verbonden met mechanische verbindingmiddelen

(1) P Voor staven verbonden met mechanische verbindingmiddelen, moet de reductie van verschuivingsmodulus door brand in rekening zijn gebracht.

(2) De slipmodulus  $K_{fi}$  voor het geval brand behoort te zijn bepaald als:

$$K_{fi} = K_u \cdot \eta_f \quad (4.5)$$

waarin:

|          |                                                                                                                              |
|----------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| $K_{fi}$ | is de verschuivingsmodulus bij brand, in N/mm;                                                                               |
| $K_u$    | is de verschuivingsmodulus voor de uiterste grenstoestand bij kamertemperatuur overeenkomstig EN 1995-1-1 2.2.2(2), in N/mm; |
| $\eta_f$ | is een omrekenfactor overeenkomstig tabel 4.2.                                                                               |

Tabel 4.2 — Omrekenfactor  $\eta_f$

|                                                          |      |
|----------------------------------------------------------|------|
| Nagels en schroeven                                      | 0,2  |
| Bouten, stiften, ringdeuvels, plaatdeuvels en kramplaten | 0,67 |

Tabel 6.3 — Parameter  $k$

| Verbinding met                                        | $k$   | Maximumperiode voor de geldigheid van parameter $k$ in een onbeschermd verbinding min |
|-------------------------------------------------------|-------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| Nagels en schroeven                                   | 0,08  | 20                                                                                    |
| Bouten hout-op-hout met $d \geq 12$ mm                | 0,065 | 30                                                                                    |
| Bouten staal-op-hout met $d \geq 12$ mm               | 0,085 | 30                                                                                    |
| Stiften hout-op-hout <sup>a</sup> met $d \geq 12$ mm  | 0,04  | 40                                                                                    |
| Stiften staal-op-hout <sup>a</sup> met $d \geq 12$ mm | 0,085 | 30                                                                                    |
| Verbindingmiddelen volgens EN 912                     | 0,065 | 30                                                                                    |

<sup>a</sup> De waarden voor stiften zijn afhankelijk van de aanwezigheid van een bout per iedere vier stiften.

## BIJLAGE 8B

Excelberekening maatgevende deuvelfverbinding  
aanpassing

### OPDRACHTGEVER

**Arcadis**

Afdeling gebouwen

Lichtenauerlaan 100  
3062 ME Rotterdam

Begeleider:

Gerard van engelen

Senior Specialist Structural Engineering

### LEERINSTELLING

**Hogeschool Rotterdam**

Opleiding Civiele Techniek

G.J. de Jonghweg 4-6  
3015GG Rotterdam

Begeleider:

Sven van Rosmalen

### AFSTUDEERDERS

Roel Majoor

Maarten Schoen

Gerard van Engelen:

.....



## Berekening deuvelfverbinding

### Bepalen rekenwaarde materiaal eigenschap (invoer)

volgens NEN-EN 1995-1-1+C1+A1:2011

Klimaatklasse

- 1 vochtgehalte bij 20°C en een rel. vochtigheid hoger dan 65%
- 2 vochtgehalte bij 20°C en een rel. vochtigheid hoger dan 85%
- 3 klimaatomstandigheden met hogere vochtgehalten t.o.v. k2

Klimaatklasse:

2

Belastingduurklasse:

Middellang

(kortste maatgevend)

$\gamma_M$

1,30

(Voor verbindingen)

Tabel 2.2 — Voorbeelden van toekenning van belastingduurklassen

| Belastingduurklasse | Belastingvoorbeelden     |
|---------------------|--------------------------|
| Blijvend            | Eigen gewicht            |
| Lang                | Opslag                   |
| Middellang          | Opgelegde vloerbelasting |
| Kort                | Sneeuw, wind             |
| Zeer kort           | Bijzondere belasting     |

Tabel 2.1 — Belastingduurklassen

| Belastingduurklasse | Grootteorde van de cumulatieve duur van de karakteristieke belasting |
|---------------------|----------------------------------------------------------------------|
| Blijvend            | Langer dan 10 jaar                                                   |
| Lang                | 6 maanden – 10 jaar                                                  |
| Middellang          | 1 week – 6 maanden                                                   |
| Kort                | Minder dan 1 week                                                    |
| Zeer kort           |                                                                      |

### Bepalen rekenwaarde materiaal eigenschap (uitvoer)

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M} \longrightarrow X_k = f_{m,g,k} \& f_{t,0,g,k} \& \rho_{g,k}$$

$k_{mod}$

0,8

(afhankelijk van klimaatn belastingduurklasse)

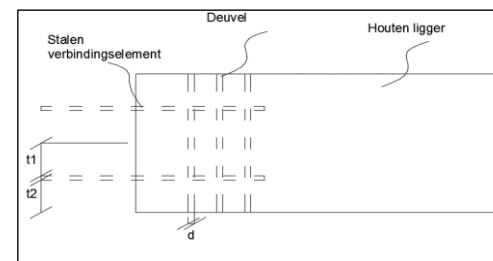
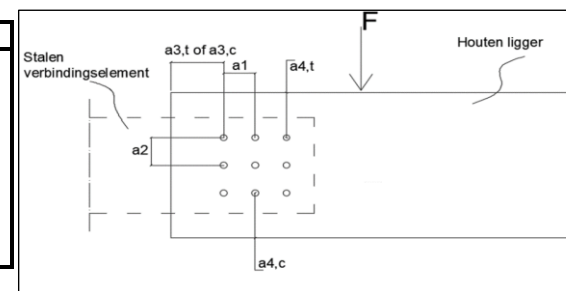
| Materiaal eigenschappen gelamineerd hout GL 30h |       |                   |                       | Rekenwaarde waarde      |
|-------------------------------------------------|-------|-------------------|-----------------------|-------------------------|
| $f_{m,g,k}$                                     | 30    | N/mm <sup>2</sup> | Buigsterkte           | 18,5 N/mm <sup>2</sup>  |
| $f_{t,0,g,k}$                                   | 24    | N/mm <sup>2</sup> | Treksterkte           | 14,8 N/mm <sup>2</sup>  |
| $E_{0,g,mean}$                                  | 13600 | N/mm              | Elasticiteits modulus | nvt N/mm                |
| $\rho_{g,k}$                                    | 430   | kg/m <sup>3</sup> | Dichtheid             | 264,6 kg/m <sup>3</sup> |

| Materiaal eigenschappen deuvelf        |     |                   |             |
|----------------------------------------|-----|-------------------|-------------|
| d                                      | 14  | mm                | diameter    |
| $f_{u,k}$                              | 800 | N/mm <sup>2</sup> | Treksterkte |
| Tussenafstand 1 ( $a_1$ )              |     | 60                | mm          |
| Tussenafstand 2 ( $a_2$ )              |     | 60                | mm          |
| Eindafstand ( $a_{3,t}$ of $a_{3,c}$ ) |     | 120               | mm          |
| Randafstand 1 ( $a_{4,t}$ )            |     | 80                | mm          |
| Randafstand 2 ( $a_{4,c}$ )            |     | 80                | mm          |

| Materiaal eigenschappen staalplaat |     |                   |             |
|------------------------------------|-----|-------------------|-------------|
| t                                  | 12  | mm                | dikte       |
| $f_{u,k}$                          | 235 | N/mm <sup>2</sup> | Treksterkte |

| Slankheid ratio         |             |     |    |
|-------------------------|-------------|-----|----|
| $\lambda = \frac{t}{d}$ | t =         | 64  | mm |
|                         | d =         | 14  | mm |
|                         | $\lambda =$ | 4,6 |    |
|                         | $\lambda =$ | > 4 |    |
| VOLDOET                 |             |     |    |

|               |     |    |
|---------------|-----|----|
| ligger hoogte | 700 | mm |
| 544 <         | 700 |    |
| VOLDOET       |     |    |



## Bepalen stuiksterkte (invoer)

### Bepalen stuiksterkte invoer

Hoek  $\alpha$  waaronder de kracht aangrijpt = 90 graden

Houtsoort = LVL

Reductie waarde  $k_{90}$ : 1,51  $k_{90}$

$$k_{90} = \begin{cases} 1,35 + 0,015 d & \text{for softwoods} \\ 1,30 + 0,015 d & \text{for LVL} \\ 0,90 + 0,015 d & \text{for hardwoods} \end{cases}$$

## Bepalen stuiksterkte (uitvoer)

Stuiksterkte hout parallel aan de vezelrichting

$$f_{h,0,k} = 0,082(1 - 0,01 d) \rho_k = f_{h,0,k} \quad 30,3 \quad \text{N/mm}^2$$

Stuiksterkte onder een hoek met de vezelrichting

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = f_{h,\alpha,k} \quad 20,1 \quad \text{N/mm}^2$$

Stuiksterkte loodrecht op de vezelrichting

$$f_{h,\alpha,k} = \frac{f_{h,0,k}}{k_{90} \sin^2 \alpha + \cos^2 \alpha} = f_{h,90,k} \quad 20,1 \quad \text{N/mm}^2$$

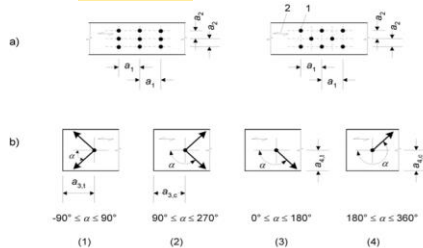
Berekening vloeimoment deugel

$$M_{y,Rk} = 0,3 f_{u,k} d^{2,6} = M_{y,Rk} \quad 229163 \text{ Nmm}$$

## Bepalen minimale (tussen) deufelafstanden (invoer)

Richting van de reactiekracht in de deufelverbinding:

hoek  $\alpha = 270 \quad 0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$



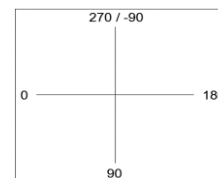
Key:  
(1) Loaded end  
(2) Unloaded end  
(3) Loaded edge  
(4) Unloaded edge  
1 Fastener  
2 Grain direction

Figure 8.7 – Spacings and end and edge distances  
(a) Spacing parallel to grain in a row and perpendicular to grain between rows, (b) Edge and end distances

## Bepalen minimale (tussen) deufelafstanden (uitvoer)

Table 8.5 – Minimum spacings and edge and end distances for dowels

| Spacing and edge/end distances (see Figure 8.7) | Angle                                                                                                               | Minimum spacing or edge/end distance                                                  |
|-------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------|
| $a_1$ (parallel to grain)                       | $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$                                                                                | $(3 + 2  \cos \alpha ) d$                                                             |
| $a_2$ (perpendicular to grain)                  | $0^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$                                                                                | $3 d$                                                                                 |
| $a_{3,t}$ (loaded end)                          | $-90^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$                                                                               | $\max(7 d; 80 \text{ mm})$                                                            |
| $a_{3,c}$ (unloaded end)                        | $90^\circ \leq \alpha < 150^\circ$<br>$150^\circ \leq \alpha < 210^\circ$<br>$210^\circ \leq \alpha \leq 270^\circ$ | $\max(a_{3,t}  \sin \alpha  d; 3 d)$<br>$3 d$<br>$\max(a_{3,t}  \sin \alpha  d; 3 d)$ |
| $a_{4,t}$ (loaded edge)                         | $0^\circ \leq \alpha \leq 180^\circ$                                                                                | $\max((2 + 2 \sin \alpha) d; 3 d)$                                                    |
| $a_{4,c}$ (unloaded edge)                       | $180^\circ \leq \alpha \leq 360^\circ$                                                                              | $3 d$                                                                                 |



Tussenafstand  $\alpha_1 = 42 \text{ mm}$

Tussenafstand  $\alpha_2 = 42 \text{ mm}$

Eindafstand  $a_{3,t}$  of  $a_{3,c} = 98 \text{ mm}$

( $\alpha_{3,t} |\sin \alpha|$ ) is aangenomen in plaats van ( $\alpha_{3,t} |\sin \alpha|$ )d

Randafstand  $\alpha_{4,t} = 56 \text{ mm}$  Boven

Randafstand  $\alpha_{4,c} = 42 \text{ mm}$  Onder

Gekozen tussenafstand

|              |        |         |
|--------------|--------|---------|
| $\alpha_1 =$ | 60 mm  | VOLDOET |
| $\alpha_2 =$ | 60 mm  | VOLDOET |
| $\alpha_1 =$ | 120 mm | VOLDOET |

Gekozen randafstand

|                |       |         |
|----------------|-------|---------|
| $\alpha_{4,t}$ | 80 mm | VOLDOET |
| $\alpha_{4,c}$ | 80 mm | VOLDOET |

## Bepalen max. tolerantie waarden bouten, gaten en ringen

(1) The minimum dowel diameter should be 6 mm. The tolerances on the dowel diameter should be  $-0/+0,1$  mm. Pre-bored holes in the timber members should have a diameter not greater than the dowel.

### 10.4.3 Bolts and washers

(1) Bolt holes in timber should have a diameter not more than 1 mm larger than the bolt. Bolt holes in steel plates should have a diameter not more than 2 mm or  $0,1d$  (whichever is the greater) larger than the bolt diameter  $d$ .

(2) Washers with a side length or a diameter of at least  $3d$  and a thickness of at least  $0,3d$  should be used under the head and nut. Washers should have a full bearing area.

(3) Bolts and lag screws should be tightened so that the members fit closely, and they should be re-tightened if necessary when the timber has reached equilibrium moisture content to ensure that the load-carrying capacity and stiffness of the structure is maintained.

(4) The minimum diameter requirements given in Table 10.1 apply to bolts used with timber connectors, where:

$d_c$  is the connector diameter, in mm;

$d$  is the bolt diameter, in mm

$d_i$  is the diameter of centre hole of connector.

Minimale diameter deuvel  $d \geq 6$  mm

Maximale diameter  $d < 30$  mm

## Bepalen max. tolerantie waarden bouten, gaten en ringen (uitvoer)

Gekozen diameter deuvel 14 mm **VOLDOET**

### Gat toleranties voor deuvels in hout

$d = 15$  mm

### Gat toleranties voor deuvels in staal

$d = 16$  mm

### Minimale afmetingen sluitring

$d = 42$  mm

$t = 4,2$  mm

diameter sluitring

dikte sluitring

Table 10.1 – Requirements for diameters of bolts used with timber connectors

| Type of connector<br>EN 912 | $d_c$      | $d$<br>minimum | $d$<br>maximum |
|-----------------------------|------------|----------------|----------------|
|                             | mm         | mm             | mm             |
| A1 – A6                     | $\leq 130$ | 12             | 24             |
| A1, A4, A6                  | $> 130$    | $0,1 d_c$      | 24             |
| B                           |            | $d_i - 1$      | $d_i$          |

## Bepalen klassificatie staalplaat (invoer)

Het draagvermogen van de staal-hout verbinding hangt af van de dikte van de staalplaat. Er wordt onderscheid gemaakt tussen dunne, dikke staalplaten. Afhankelijk van de dikte moet er met een andere formule de draagvermogen berekend worden.

Dunne staalplaten wanneer:  $t \leq 0,5d$

Dikke staalplaat wanneer:  $t \geq d$   
met max gat tolerantie van  $0,1 \cdot d$

Bij een staalplaat die tussen dun en dik in zit worden beide formules geïntepoleerd

## Bepalen klassificatie staalplaat (invoer)

Bepalen dikte van de staalplaat voor berekening sterkte deuvel verbinding, Voorwaarden voor indelen naar dikte is:

$t =$  dikte gekozen staalplaat = 12 mm

$d =$  diameter gekozen deuvel = 14 mm

Dunne staalplaat 7 mm

Dikke staalplaat 14 mm

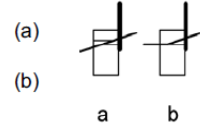
Kwalificatie staalplaat: Tussen

Tolerantie op gat diameter: 1,4 mm

## Berekening draagvermogen volgens eurocode (schema's)

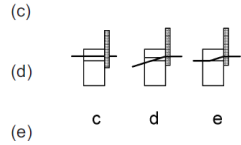
### Dunne staalplaat in enkelsnedige verbinding

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,4 f_{h,k} t_1 d \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



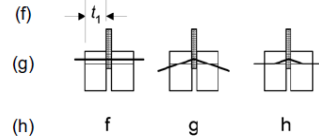
### Dikke staalplaat in enkelsnedige verbinding

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,k} t_1 d \\ f_{h,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



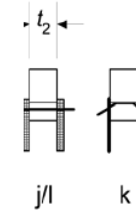
### Staalplaat van elke dikte als middelste element in een dubbelsnedige verbinding

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{h,1,k} t_1 d \\ f_{h,1,k} t_1 d \left[ \sqrt{2 + \frac{4 M_{y,Rk}}{f_{h,1,k} d t_1^2}} - 1 \right] + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,1,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right.$$



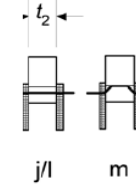
### Dunne staalplaten als buitenste element in een dubbelsnedige verbinding

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \\ 1,15 \sqrt{2 M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{(j)} \\ \text{(k)} \end{array}$$



### Dikke staalplaat als buitenste elementen in een dubbelsnedige verbinding

$$F_{v,Rk} = \min \left\{ \begin{array}{l} 0,5 f_{h,2,k} t_2 d \\ 2,3 \sqrt{M_{y,Rk} f_{h,2,k} d} + \frac{F_{ax,Rk}}{4} \end{array} \right. \quad \begin{array}{l} \text{(l)} \\ \text{(m)} \end{array}$$



where:

- $F_{v,Rk}$  is the characteristic load-carrying capacity per shear plane per fastener;
- $f_{h,k}$  is the characteristic embedment strength in the timber member;
- $t_1$  is the smaller of the thickness of the timber side member or the penetration depth;
- $t_2$  is the thickness of the timber middle member;
- $d$  is the fastener diameter;
- $M_{y,Rk}$  is the characteristic fastener yield moment;
- $F_{ax,Rk}$  is the characteristic withdrawal capacity of the fastener.

## Draagcapaciteit meersnedige verbinding (invoer)

De weerstand van elk afschuifvlak moet berekend worden door aan te nemen dat elk afschuifvlak onderdeel is van een three member verbinding

Bezwijkmode (e), (f) en (j/l) mogen niet gecombineerd worden

### Invoer

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| $t_1$                    | 64 mm     |
| $t_2$                    | 128 mm    |
| Afschuifvlakken deuvel   | 4 st.     |
| Aant. deuvels in een rij | 6 st.     |
| Aantal rijen             | 5 st.     |
| Hoek $\alpha$            | 90 Graden |

|                                                 |                        |
|-------------------------------------------------|------------------------|
| Stuiksterkte hout parallel aan de vezelrichting | 30,3 N/mm <sup>2</sup> |
| Stuiksterkte onder hoek met de vezelrichting    | 20,1 N/mm <sup>2</sup> |
| Stuiksterkte loodrecht op de vezelrichting      | 20,1 N/mm <sup>2</sup> |
| Vloeimoment deuvel                              | 229163 N/mm            |

## Draagcapaciteit meersnedige verbinding (uitvoer)

### Alle staalplaten

|   |            |   |         |                                       |
|---|------------|---|---------|---------------------------------------|
| g | $F_{v,Rk}$ | = | 16022 N | in vezelrichting                      |
| g | $F_{v,Rk}$ | = | 12094 N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |
| h | $F_{v,Rk}$ | = | 22686 N | in vezelrichting                      |
| h | $F_{v,Rk}$ | = | 18461 N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

### Dunne staalplaten

|     |   |            |   |         |                                       |
|-----|---|------------|---|---------|---------------------------------------|
| Dun | k | $F_{v,Rk}$ | = | 16041 N | in vezelrichting                      |
|     | k | $F_{v,Rk}$ | = | 13054 N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

### Dikke staalplaten

|     |   |            |   |         |                                       |
|-----|---|------------|---|---------|---------------------------------------|
| Dik | m | $F_{v,Rk}$ | = | 22686 N | in vezelrichting                      |
|     | m | $F_{v,Rk}$ | = | 18461 N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

### Tussen

### Tussen staalplaten

|  |              |            |   |         |                                       |
|--|--------------|------------|---|---------|---------------------------------------|
|  | interpolatie | $F_{v,Rk}$ | = | 20787 N | in vezelrichting                      |
|  | tussen k & m | $F_{v,Rk}$ | = | 16917 N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

### Minimale waarden uit de formule 'g' & 'h' & k('Dun') OF m('Dik') OF k&m('Tussen') = draagcapaciteit per afschuifvlak

|             |            |   |         |                                       |
|-------------|------------|---|---------|---------------------------------------|
| min g,h,k,m | $F_{v,Rk}$ | = | 16022 N | in vezelrichting                      |
|             | $F_{v,Rk}$ | = | 12094 N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

Wanneer de staalplaat geclassificeerd is als 'tussen' wordt de waarde voor de op te nemen kracht per afschuifvlak berekend door het interpoleren tussen de waarden van de dun en dik geclassificeerde staalplaten. Hierom zijn de waarden voor de dunne en dikke staalplaten in dit geval wel berekend.

## Effectieve deuvels en totaal draagcapaciteit (invoer)

Bij een meervoudige deuvelverbinding moet een reductiefactor meegenomen worden als er meerdere deuvels in een rij zitten

|                          |           |
|--------------------------|-----------|
| Afschuifvlakken deuvel   | 4 st.     |
| Aant. deuvels in een rij | 6 st.     |
| Aantal rijen             | 5 st.     |
| Hoek $\alpha$            | 90 Graden |

### draagcapaciteit per afschuifvlak

|                                       |         |
|---------------------------------------|---------|
| in vezelrichting                      | 16022 N |
| in hoek $\alpha$ met de vezelrichting | 12094   |

|            |   |     |
|------------|---|-----|
| $k_{mod}$  | = | 0,8 |
| $\gamma_M$ | = | 1,3 |

Bij hoeken tussen  $0^\circ \leq \alpha \leq 90^\circ$  kan  $n_{ef}$  worden bepaald door lineaire interpolatie

## Aantal effectieve deuvels en totaal draagcapaciteit (uitvoer)

Effectieve deuvels in een rij parallel aan de vezelrichting

$$n_{ef,p} = 3,8$$

$$n_{ef} = \min \left\{ \begin{array}{l} n \\ n^{0,9} \sqrt{\frac{a_1}{13d}} \end{array} \right.$$

Effectieve deuvels in een rij loodrecht op de vezelrichting

$$n_{ef,L} = 6$$

$$n_{ef} = n$$

Effectieve deuvels in een rij in een hoek  $\alpha$  op de vezelrichting

$$n_{ef} = N_{ef,p} + (N_{ef,L} - N_{ef,p}) / 90^\circ \cdot \alpha$$

$$F_{v,ef,Rk} = n_{ef} F_{v,Rk}$$

$$n_{ef} = 6$$

Draagcapaciteit per rij deuvels (= aantal effectieve deuvels \* aantal afschuifvlakken \* draagcapaciteit per afschuifvlak)

|                   |   |          |                                       |
|-------------------|---|----------|---------------------------------------|
| $F_{v,Rk}$        | = | 243578 N | in vezelrichting                      |
| $F_{v,\alpha,Rk}$ | = | 290250 N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

Draagcapaciteit per rij deuvels rekenwaarde (= draagcapaciteit deuvel \*  $k_{mod}$  /  $\gamma_M$ )

|                   |   |          |                                       |
|-------------------|---|----------|---------------------------------------|
| $F_{v,Rd}$        | = | 149894 N | in vezelrichting                      |
| $F_{v,\alpha,Rd}$ | = | 178615 N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

Draagcapaciteit totaal (= draagcapaciteit per rij deuvels \* aantal rijen)

|                      |   |          |                                       |
|----------------------|---|----------|---------------------------------------|
| $F_{v,d,tot}$        | = | 749469 N | in vezelrichting                      |
| $F_{v,\alpha,d,tot}$ | = | 893077 N | in hoek $\alpha$ met de vezelrichting |

Oplegreactie:

295000

## Stijfheid verbinding (invoer)

|              |   |                       |
|--------------|---|-----------------------|
| $\rho_{g,k}$ | = | 430 kg/m <sup>3</sup> |
| d            | = | 14 mm                 |

Bij staal-hout of beton-hout verbindingen, mag  $K_{ser}$  vermenigvuldigd worden met 2

De verschuivingsmodulus van een verbinding bij de uiterste grenstoestand  $K_u$  behoort te worden genomen als:

## Stijfheid verbinding (uitvoer)

Elastische vervorming verbinding per afschuifvlak

$$K_{ser} = \rho_m^{1,5} d / 23 = 10855 \text{ N/mm per afschuifvlak}$$

Elastische vervorming gehele verbinding (=  $K_{ser}$  \* aant. rijen deuvels \* aant. deuvels / rij \* aant. afschuifvlakken / deuvel)

$$K_{ser,tot} = 1302609 \text{ N/mm (bruikbaarheidsgrenstoestand)}$$

$$K_u = 868406 \text{ N/mm (uiterste grenstoestand)}$$

$$K_u = \frac{2}{3} K_{ser}$$

| Vervorming (invoer)                                                                                                                                                                                                    |                  |                                                | Vervorming (uitvoer)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     |      |    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------|------------------------------------------------|--------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------|----|
| Lengte ligger:                                                                                                                                                                                                         | 9,12             | meter                                          | Speling deuvel gatin houten ligger                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 1    | mm |
| Opleg reactie:                                                                                                                                                                                                         |                  |                                                | Speling deuvel gat in stalen element                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 2    | mm |
| T.g.v. het eigengewicht                                                                                                                                                                                                | G =              | 62356 N                                        | U <sub>speling,tot</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 3    | mm |
| Overheersende veranderlijke belasting                                                                                                                                                                                  | Q <sub>1</sub> = | 87780 N                                        | Uit tabel 7.1 volgt dat de speling bij de vervorming opgeteld moet worden                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                |      |    |
| Overige veranderlijke belasting                                                                                                                                                                                        | Q <sub>i</sub> = | 42134 N                                        |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |    |
| Ψ <sub>0</sub>                                                                                                                                                                                                         | 0,7              | NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011 - Tabel A1.1         | u <sub>inst</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                        | 3,15 | mm |
| Ψ <sub>2</sub>                                                                                                                                                                                                         | 0,3              | NEN-EN 1990+A1+A1/C2:2011 - Tabel A1.1         |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |    |
| k <sub>def</sub>                                                                                                                                                                                                       | 0,8              | Klimaat klasse 2 aangenomen, Nog nader bepalen |                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          |      |    |
| (3) Bij verbindingen bestaande uit houten elementen met eenzelfde tijdsafhankelijk gedrag behoort de waarde van k <sub>def</sub> te zijn verdubbeld.                                                                   |                  |                                                | u <sub>fin,g</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 0,09 | mm |
| (4) Bij een verbinding bestaande uit twee houtachtige elementen met een verschillend tijdsafhankelijk gedrag behoort de uiteindelijke vervorming te zijn berekend met de volgende vervormingsfactor k <sub>def</sub> : |                  |                                                | u <sub>fin,Q,1</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0,08 | mm |
| $k_{def} = 2 \sqrt{k_{def,1} \cdot k_{def,2}}$                                                                                                                                                                         |                  |                                                | u <sub>fin,Q,i</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0,03 | mm |
| staal hout verbinding dus geen vermenigvuldiging factor                                                                                                                                                                |                  |                                                | u <sub>fin</sub>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         | 3,20 | mm |
|                                                                                                                                                                                                                        |                  |                                                | <div> <div>(= (G + Q<sub>1</sub> + Q<sub>i</sub>)/K<sub>ser,tot</sub> + U<sub>speling,tot</sub>)</div> <div> <div>u<sub>fin</sub> = u<sub>fin,G</sub> + u<sub>fin,Q<sub>1</sub></sub> + ∑ u<sub>fin,Q<sub>i</sub></sub></div> <div>(2.2)</div> </div> </div> <div> <div>waarin:</div> <div> <div>u<sub>fin,G</sub> = u<sub>inst,G</sub> (1 + k<sub>def</sub>)</div> <div>voor de blijvende belasting G</div> <div>(2.3)</div> </div> <div> <div>u<sub>fin,Q,1</sub> = u<sub>inst,Q,1</sub> (1 + ϕ<sub>2,1</sub> k<sub>def</sub>)</div> <div>voor de overheersende veranderlijke belasting Q<sub>1</sub></div> <div>(2.4)</div> </div> <div> <div>u<sub>fin,Q,i</sub> = u<sub>inst,Q,1</sub> (ϕ<sub>0,i</sub> + ϕ<sub>2,i</sub> k<sub>def</sub>)</div> <div>voor de gelijktijdige veranderlijke belastingen Q<sub>i</sub> (i &gt; 1)</div> <div>(2.5)</div> </div> </div> |      |    |
|                                                                                                                                                                                                                        |                  |                                                | <div> <div>uiterste grenstoestand</div> <div>3,2 mm</div> </div>                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                         |      |    |

(5)P It shall be taken into account that the load-carrying capacity of steel-to-timber connections with a loaded end may be reduced by failure along the perimeter of the fastener group.

NOTE: A method of determining the strength of the fastener group is given in Annex A (informative).

Tabel 3.2 — Waarden van  $k_{def}$  voor hout en houtachtige materialen

| Materiaal                | Norm     | Klimaatklasse |      |      |
|--------------------------|----------|---------------|------|------|
|                          |          | 1             | 2    | 3    |
| Gelijmd gelamineerd hout | EN 14080 | 0,60          | 0,80 | 2,00 |

$$K_{mean,fin} = \frac{K_{mean}}{(1 + k_{def})}$$

7.1 Joint slip

(1) For joints made with dowel-type fasteners the slip modulus  $K_{ser}$  per shear plane per fastener under service load should be taken from Table 7.1 with  $\rho_m$  in kg/m³ and  $d$  or  $d_c$  in mm. For the definition of  $d_c$ , see EN 13271.

NOTE: In EN 26891 the symbol used is  $k_s$  instead of  $K_{ser}$ .

Table 7.1 – Values of  $K_{ser}$  for fasteners and connectors in N/mm in timber-to-timber and wood-based panel-to-timber connections

| Fastener type                                                                                                                     | $K_{ser}$                            |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Dowels<br>Bolts with or without clearance <sup>a</sup><br>Screws<br>Nails (with pre-drilling)                                     | $\rho_m^{1,5} d / 23$                |
| Nails (without pre-drilling)                                                                                                      | $\rho_m^{1,5} d^{0,8} / 30$          |
| Staples                                                                                                                           | $\rho_m^{1,5} d^{0,8} / 80$          |
| Split-ring connectors type A according to EN 912<br>Shear-plate connectors type B according to EN 912                             | $\rho_m d / 2$                       |
| Toothed-plate connectors:<br>– Connectors types C1 to C9 according to EN 912<br>– Connectors type C10 and C11 according to EN 912 | $1,5 \rho_m d / 4$<br>$\rho_m d / 2$ |

<sup>a</sup> The clearance should be added separately to the deformation.

Tabel 3.1 — Waarden van  $k_{mod}$

| Materiaal                | Norm     | Klimaat-klasse | Belastingsduurklasse |      |            |      |           |
|--------------------------|----------|----------------|----------------------|------|------------|------|-----------|
|                          |          |                | Blijvend             | Lang | Middellang | Kort | Zeer kort |
| Gelijmd gelamineerd hout | EN 14080 | 1              | 0,60                 | 0,70 | 0,80       | 0,90 | 1,10      |
|                          |          | 2              | 0,60                 | 0,70 | 0,80       | 0,90 | 1,10      |
|                          |          | 3              | 0,50                 | 0,55 | 0,65       | 0,70 | 0,90      |

(4) For the limitation of the rope effect  $F_{ax,Rk}$  8.2.2(2) applies.

Tabel NB.2 – A1.1 —  $\psi$ -factoren voor gebouwen

| Belasting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | $\psi_0$             | $\psi_1$ | $\psi_2$ |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------|----------|----------|
| Voorgeschreven belastingen in gebouwen, categorie                                                                                                                                                                                                                                                                                                        |                      |          |          |
| Categorie A: woon- en verblijfsruimtes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                   | 0,4                  | 0,5      | 0,3      |
| Categorie B: kantoorruimtes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                              | 0,5                  | 0,5      | 0,3      |
| Categorie C: bijeenkomstruimtes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0,6/0,4 <sup>a</sup> | 0,7      | 0,6      |
| Categorie D: winkelruimtes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 0,4                  | 0,7      | 0,6      |
| Categorie E: opslagruimtes                                                                                                                                                                                                                                                                                                                               | 1,0                  | 0,9      | 0,8      |
| Categorie F: verkeersruimte, voertuiggewicht ≤ 30 kN                                                                                                                                                                                                                                                                                                     | 0,7                  | 0,7      | 0,6      |
| Categorie G: verkeersruimte <sup>b</sup> , 30 kN < voertuiggewicht ≤ 160 kN                                                                                                                                                                                                                                                                              | 0,7                  | 0,5      | 0,3      |
| Categorie H: daken                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                       | 0                    | 0        | 0        |
| Sneeuwbelasting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                          | 0                    | 0,2      | 0        |
| Belasting door regenwater                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                | 0                    | 0        | 0        |
| Windbelasting                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                            | 0                    | 0,2      | 0        |
| Temperatuur (geen brand)                                                                                                                                                                                                                                                                                                                                 | 0                    | 0,5      | 0        |
| <sup>a</sup> De waarde 0,6 geldt voor delen van het gebouw die in geval van een calamiteit zwaar kunnen worden belast door een mensenmenigte (vluchtroutes, trappen enz.); de waarde 0,4 geldt in overige gevallen.<br><sup>b</sup> Met verkeersruimte wordt in dit geval een ruimte bedoeld waar voertuigen kunnen rijden, bijvoorbeeld parkeergarages. |                      |          |          |

(3) For steel-to-timber or concrete-to-timber connections,  $K_{ser}$  should be based on  $\rho_m$  for the timber member and may be multiplied by 2,0.

Tabel 2.3 — Aanbevolen partiële factoren  $\gamma_m$  voor materiaaleigenschappen en weerstanden

|                           |      |
|---------------------------|------|
| Fundamentele combinaties: |      |
| Gezaagd hout              | 1,3  |
| Gelijmd gelamineerd hout  | 1,25 |
| LVL, multiplex, OSB       | 1,2  |
| Spaanplaten               | 1,3  |
| Vezelplaten, hard         | 1,3  |
| Vezelplaten, medium       | 1,3  |
| Vezelplaten, MDF          | 1,3  |
| Vezelplaten, zacht        | 1,3  |
| Verbindingen              | 1,3  |
| Metalen hechtplaten       | 1,25 |
| Bijzondere combinaties    | 1,0  |



|                  |                                                                                |
|------------------|--------------------------------------------------------------------------------|
| $f_{m,0,rep}$    | buigsterkte evenwijdig aan de vezel                                            |
| $E_{0,ser,rep}$  | elasticiteitsmodulus evenwijdig aan de vezel in de bruikbaarheidsgrenstoestand |
| $\rho_{rep}$     | volumieke massa                                                                |
| $f_{t,0,rep}$    | treksterkte evenwijdig aan de vezel                                            |
| $f_{t,90,rep}$   | treksterkte loodrecht op de vezel                                              |
| $f_{c,0,rep}$    | druksterkte evenwijdig aan de vezel                                            |
| $f_{c,90,rep}$   | druksterkte loodrecht op de vezel                                              |
| $f_{v,0,rep}$    | schuifsterkte                                                                  |
| $E_{0,u,rep}$    | elasticiteitsmodulus evenwijdig aan de vezel in de uiterste grenstoestand      |
| $E_{90,ser,rep}$ | elasticiteitsmodulus loodrecht op de vezel bij naaldhout                       |
| $E_{90,ser,rep}$ | elasticiteitsmodulus loodrecht op de vezel bij loofhout                        |
| $G_{ser,rep}$    | afschuivingmodulus.                                                            |

|                                       |         |            |                 |
|---------------------------------------|---------|------------|-----------------|
| ter vergelijking met het gebouw treet |         |            |                 |
| gegevens treet                        |         | totaal     | uitkomst treet  |
| diameter deuvls                       | 12      | 12702,0067 | 609696,3239 447 |
| Pm =                                  | 430*2 = | 840        |                 |
| aantal deuvls                         | 12      |            |                 |

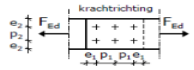
|            |       |   |          |
|------------|-------|---|----------|
| 447 /      | (2/3) | = | 670,5    |
| 670,5 /    | 2     | = | 335,25   |
| 335,25 *   | 1,25  | = | 419,0625 |
| 419,0625 / | 1,25  | = | 335,25   |
| 335,25 *   | 2     | = | 670,5    |
| 670,5 *    | (2/3) | = | 447      |

Table 5 — Characteristic strength and stiffness properties an N/mm² and densities in kg/m³ for homogeneous glulam

| Property                           | Symbol          | Glulam strength class |        |        |        |        |        |        |
|------------------------------------|-----------------|-----------------------|--------|--------|--------|--------|--------|--------|
|                                    |                 | GL 20h                | GL 22h | GL 24h | GL 26h | GL 28h | GL 30h | GL 32h |
| Bending strength                   | $f_{m,g,k}$     | 20                    | 22     | 24     | 26     | 28     | 30     | 32     |
| Tensile strength                   | $f_{t,0,g,k}$   | 16                    | 17,6   | 19,2   | 20,8   | 22,3   | 24     | 25,6   |
|                                    | $f_{t,90,g,k}$  | 0,5                   |        |        |        |        |        |        |
| Compression strength               | $f_{c,0,g,k}$   | 20                    | 22     | 24     | 26     | 28     | 30     | 32     |
|                                    | $f_{c,90,g,k}$  | 2,5                   |        |        |        |        |        |        |
| Shear strength (shear and torsion) | $f_{v,g,k}$     | 3,5                   |        |        |        |        |        |        |
| Rolling shear strength             | $f_{r,g,k}$     | 1,2                   |        |        |        |        |        |        |
| Modulus of elasticity              | $E_{0,g,mean}$  | 8 400                 | 10 500 | 11 500 | 12 100 | 12 600 | 13 600 | 14 200 |
|                                    | $E_{0,g,05}$    | 7 000                 | 8 800  | 9 600  | 10 100 | 10 500 | 11 300 | 11 800 |
|                                    | $E_{90,g,mean}$ | 300                   |        |        |        |        |        |        |
|                                    | $E_{90,g,05}$   | 250                   |        |        |        |        |        |        |
| Shear modulus                      | $G_{g,mean}$    | 650                   |        |        |        |        |        |        |
|                                    | $G_{g,05}$      | 540                   |        |        |        |        |        |        |
| Rolling shear modulus              | $G_{r,g,mean}$  | 65                    |        |        |        |        |        |        |
|                                    | $G_{r,g,05}$    | 54                    |        |        |        |        |        |        |
| Density                            | $\rho_{g,k}$    | 340                   | 370    | 385    | 405    | 425    | 430    | 440    |
|                                    | $\rho_{g,mean}$ | 370                   | 410    | 420    | 445    | 460    | 480    | 490    |

# Controle staalplaat

## Invoer



e = eindafstand  
p = steek  
e<sub>1</sub> en p<sub>1</sub> : evenwijdig aan krachtrichting  
e<sub>2</sub> en p<sub>2</sub> : loodrecht op krachtrichting

| minimumwaarden<br>volgens Eurocode 3                                                                                                                     | maximumwaarden<br>volgens Eurocode 3                                                                                               | bout-<br>diameter d <sub>b</sub> | minimale boutafstanden     |                            |                            |                            |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|----------------------------|
|                                                                                                                                                          |                                                                                                                                    |                                  | p <sub>1</sub>             | p <sub>2</sub>             | e <sub>1</sub>             | e <sub>2</sub>             |
| e <sub>1</sub> ≥ 1,2 d <sub>b</sub><br>e <sub>2</sub> ≥ 1,5 d <sub>b</sub><br>p <sub>1</sub> ≥ 2,2 d <sub>b</sub><br>p <sub>2</sub> ≥ 3,0 d <sub>b</sub> | e <sub>1</sub> ≤ 4 t + 40 mm<br>e <sub>2</sub> ≤ 4 t + 40 mm<br>p <sub>1</sub> ≤ 14 t of 200 mm<br>p <sub>2</sub> ≤ 14 t of 200 mm | M12<br>M16<br>M20<br>M24<br>M30  | 35<br>40<br>50<br>60<br>70 | 35<br>45<br>55<br>65<br>80 | 20<br>25<br>30<br>35<br>40 | 20<br>25<br>30<br>35<br>40 |

Bout diameter = M14

p1 = 60 mm  
p2 = 60 mm  
e1 = 50 mm  
e2 = 120 mm

f<sub>ub</sub> = 400 N/mm<sup>2</sup>  
f<sub>u</sub> = 235 N/mm<sup>2</sup>

Diameter deugel = 14 mm  
Dikte staalplaat = 12 mm  
d0 = 16 mm  
Speling op gat = 2 mm

Partiele veiligheid Y<sub>M2</sub> = 1,25

Totaal aantal deugels = 30 st.

Oplegreactie = 295000 N

Optredende kracht per deugel = optredende oplegreactie / totaal aantal deugels  
= 9833,333 < 78960

## Uitvoer

p1 min = 37,5 < 60 **VOLDOET**  
p2 min = 40 < 60 **VOLDOET**  
e1 min = 22,5 < 50 **VOLDOET**  
e2 min = 22,5 < 120 **VOLDOET**

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}}$$

a<sub>b</sub> is de minimale waarde van: 1 ; f<sub>ub</sub>/f<sub>u</sub> ; a<sub>d</sub>

1  
f<sub>ub</sub>/f<sub>u</sub> = 1,70  
a<sub>d</sub> = Eindbouten: e<sub>1</sub>/(3\*d<sub>0</sub>) = 1,04  
Binnenste bouten: p<sub>1</sub>/(3\*d<sub>0</sub>)-(1/4) = 1

Geeft:

Eindbouten: Binnenste bouten:  
a<sub>b</sub> = 1 a<sub>b</sub> = 1

k<sub>1</sub> is de minimale waarde van: 2,8 \* (e<sub>2</sub>/d<sub>0</sub>) - 1,7 ; 1,4 \* (p<sub>2</sub>/d<sub>0</sub>) - 1,7 ; 2,5

2,5  
2,8 \* (e<sub>2</sub>/d<sub>0</sub>) - 1,7 = 19,3  
1,4 \* (p<sub>2</sub>/d<sub>0</sub>) - 1,7 = 3,55

Geeft:

Eindbouten: Binnenste bouten:  
k<sub>1</sub> = 2,5 k<sub>1</sub> = 2,5

Eind/randbouten:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 78960$$

Binnenste bouten:

$$F_{b,Rd} = \frac{k_1 \cdot a_b \cdot f_u \cdot d \cdot t}{\gamma_{M2}} = 78960$$

| Afschuiving staalplaat                       |          |                    |                           |
|----------------------------------------------|----------|--------------------|---------------------------|
| Invoer                                       |          | Uitvoer            |                           |
| berekend volgens controle bij staalprofielen |          | t <sub>max</sub> = | 135,68 N/mm <sup>2</sup>  |
| $t = \frac{V_{max}}{A_{lijf}}$               |          | t =                | 122,92 N/mm <sup>2</sup>  |
| $t_{Max} = \frac{\sigma}{\sqrt{3}}$          |          | UC =               | 0,91 <span>Voldoet</span> |
| dikte staalplaat                             | 12 mm    |                    |                           |
| Lengte staalplaat                            | 100 mm   |                    |                           |
| Aantal staalplaten                           | 2        |                    |                           |
| Vmax                                         | 295000 N |                    |                           |

### Controle splijtsterkte ligger (invoer) NL

$$F_{90,Rk} = 14bw \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}}$$

|                     |     |                     |
|---------------------|-----|---------------------|
| Modificatie factor  | 1   | (voor verbindingen) |
| Belaste randafstand | 449 | mm                  |
| Hoogte ligger       | 700 | mm                  |
| Breedte ligger      | 450 | mm                  |

### Controle splijtsterkte ligger (uitvoer) NL

$$F_{90,Rk} = 222933,8$$

$$F_{90,Rd} = F_{90,Rk} * Y_m * k_{mod} = 137190 \text{ N}$$

### Controle splijtsterkte ligger (invoer) DUI

$$F_{uit} = t_{ef}^{0.8} h^{0.8} k_z k_s k_r k_g f_{t,90}$$

|            |   |                                           |                       |
|------------|---|-------------------------------------------|-----------------------|
| $t_{ef}$   | = | 168                                       | mm                    |
| $h$        | = | 700                                       | mm                    |
| $f_{t,90}$ | = | treksterkte loodrecht op de vezelrichting | 2,5 N/mm <sup>2</sup> |
| $k_z$      | = | 13,91                                     |                       |
| $h_e$      | = | 449                                       | mm                    |
| $k_s$      | = | 1,3                                       |                       |
| $l_r$      | = | 300                                       | mm                    |
| $k_r$      | = | 2,042284                                  |                       |
| $n_r$      | = | 5                                         |                       |
| $h_{i,1}$  |   | 269                                       | mm                    |
| $h_{i,2}$  |   | 389                                       | mm                    |
| $h_{i,3}$  |   | 329                                       | mm                    |
| $h_{i,4}$  | = | $h_e$                                     | = 449 mm              |
| $k_g$      | = | 1                                         |                       |
| $s$        | = | 30                                        | mm                    |

### Controle splijtsterkte ligger (uitvoer) DUI

$$k_z = 6.5 + \frac{18h_e^2}{h^2}$$

$$k_s = \max \left\{ \begin{array}{l} 1.0 \\ 0.7 + \frac{1.4l_r}{h} \end{array} \right.$$

$$k_r = \frac{n_r}{\sum_{i=1}^{n_r} \left( \frac{h - h_e}{h - h_i} \right)^2}$$

$$k_g = \left\{ \begin{array}{ll} 0.5 & , 2s \geq 2h \\ 1.0 & , 2s \leq 0.5h \\ \frac{2s}{4h} + 0.5 & , 0.5h \leq 2s \leq 2h \end{array} \right.$$

$$F_{uit,d} = 1050800 \text{ N} \quad (\text{karakteristiek})$$

$$F_{uit,d} = 646646 \text{ N} \quad (\text{rekenwaarde})$$

## Brand

### Bepalen rekenwaarde sterkte eigenschappen gelamineerd hout bij brand

| Materiaal eigenschappen gelamineerd hout GL 30h |       |                   |                       |
|-------------------------------------------------|-------|-------------------|-----------------------|
| $f_{m,g,k}$                                     | 30    | N/mm <sup>2</sup> | Buigsterkte           |
| $f_{t,0,g,k}$                                   | 24    | N/mm <sup>2</sup> | Treksterkte           |
| $E_{0,g,mean}$                                  | 13600 | N/mm              | Elasticiteits modulus |
| $E_{0,g,05}$                                    | 11300 | N/mm              | Elasticiteits modulus |

Voor de toetsing van de draagkracht van de ligger bij brand moeten de 20 percentielwaarden van de sterkte eigenschappen gebruikt worden

| 20% - fractielwaarde van stijfheid | 20% - fractielwaarde van sterkte eigenschap |
|------------------------------------|---------------------------------------------|
| $S_{20} = k_{fl} S_{05}$           | $f_{20} = k_{fl} f$                         |

Tabel 2.1 — Waarden voor  $k_{fl}$

|                          |      |
|--------------------------|------|
| Gezaagd hout             | 1,25 |
| Gelijmd gelamineerd hout | 1,15 |

$k_{fl} = 1,15$

| Materiaal eigenschappen gelamineerd hout GL 30h |       |                   |                       |
|-------------------------------------------------|-------|-------------------|-----------------------|
| $f_{m,g,k,20}$                                  | 34,5  | N/mm <sup>2</sup> | Buigsterkte           |
| $f_{t,0,g,k,20}$                                | 27,6  | N/mm <sup>2</sup> | Treksterkte           |
| $E_{0,g,20}$                                    | 12995 | N/mm              | Elasticiteits modulus |

### Bepalen inbranddiepte ligger

Het effect van hoekafrondingen moet meegenomen worden bij een ligger, dus wordt de inbranddiepte berkend als de schijnbare inbranddiepte

$$d_{char,n} = \beta_n t$$

$d_{char,n} = \beta_n * t = 84 \text{ mm}$   
 $\beta_n = 0,7$  schijnbare inbrandsnelheid  
 $t = 120$  tijdsduur van de blootstelling aan brand  
 $p = 430$  volumieke massa

|                                                                                                                                                                                                                | $\beta_0$<br>mm/min | $\beta_h$<br>mm/min |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|---------------------|
| a) Naaldhout en beuken<br>Gelijmd gelamineerd hout met een karakteristieke volumieke massa van $\geq 290 \text{ kg/m}^3$<br>Gezaagd hout met een karakteristieke volumieke massa van $\geq 290 \text{ kg/m}^3$ | 0,65<br>0,65        | 0,7<br>0,8          |

### Oorspronkelijke afmetingen:

Breedte = 450 mm  
 Hoogte = 700 mm

### Afmetingen na 120 min brand:

Breedte = 282 mm  
 Hoogte = 616 mm

|                  |                                                                                     |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|
| Type verbinding: | Connections with fasteners in shear with side members of wood and wood-based panels |
|------------------|-------------------------------------------------------------------------------------|

Toetsing Deuvelverbinding

$E_{d,fi} < R_{d,t,fi}$  (invoer)

$E_{d,fi} < R_{d,t,fi}$  (uitvoer)

$$R_{d,t,fi} = n \cdot (R_{20} / Y_{M,fi}) = 1216659$$

$R_{d,t,fi}$  $=$ de ontwerpwaarde voor de draagcapaciteit

$R_{20}$  $=$ de 20% waarde van de draagcapaciteit bij normale temperaturen (zonder effect van de belastingduur en vocht)

$n$  $=$ conversion factor

$Y_{M,fi}$  $=$ partiele veiligheids factor voor hout in brand

Note 2: Design resistances are applied for connections, see 6.2.2 and 6.4. For connections a conversion factor  $\eta$  is given in 6.2.2.1.

$R_{20} = k_{fi} \cdot R_k = 1,15 \cdot 1451251 = 1668938 \text{ N}$ 

$k_{fi} = 1,15$

$R_k = 1451251$

$Y_{M,fi} = 1$

$n = e^{(-k \cdot t_{d,fi})} = e^{-0,31608} = 0,73$ 

$k = 0,085$  (mits  $d > 12\text{mm}$ )

$t_{d,fi} = 3,72$

$k$  is een parameter gegeven in tabel 6.3;

$t_{d,fi}$  is de rekenwaarde van de brandweerstand van de onbeschermde verbinding, in min.

$E_{d,fi} < R_{d,t,fi}$  geeft: 132750 < 1216659 **VOLDOET**

**6.2.2.2 Beschermde verbindingen**

(1) 6.2.1.2 is van toepassing, behalve dat  $t_{d,fi}$  behoort te zijn berekend volgens uitdrukking (6.7).

(2) Als alternatieve methode voor de bescherming van kop- en zij-oppervlakken van elementen, mogen de eind- en randafstanden worden vergroot met  $a_{fi}$  overeenkomstig uitdrukking (6.1). Echter, voor brandweerstand van meer dan 30 min behoren de eindafstanden te zijn vergroot met  $2a_{fi}$ . Deze vergroting van de eindafstand geldt ook voor **stompe voegen van het middenhout** in een verbinding.

$$t_{d,fi} = \frac{1}{k} \ln \frac{\eta_{fi} \eta_0 k_{mod} Y_{M,fi}}{Y_M k_{fi}} = 3,718583$$

De waarde van  $\eta_{fi}$  moet gelijk aan **0,45** zijn genomen, behalve voor opgelegde belastingen volgens klasse E1 van NEN-EN 1991-1-1:2002 (ruimten waar gemakkelijk goederen kunnen worden opgestapeld, inclusief toegangsruimten) in welk geval de waarde van  $\eta_{fi}$  gelijk aan 0,7 moet zijn genomen.

$\eta_{fi} = 0,45$   
 $\eta_0 = 3,03$   
 $k_{mod} = 0,80$   
 $k_{fi} = 1,15$   
 $Y_M = 1,30$   
 $Y_{M,fi} = 1$   
 $k = 0,085$   
Oplegreactie = 295000  
sterkte deuvelverb = 893077

$E_{d,fi} = \eta_{fi} \cdot E_d = 132750$ 

$\eta_{fi} = 0,45$

$E_d = 295000$

Vervorming Deuvelverbinding

4.3 Vereenvoudigde regels voor de berekening van constructieve elementen en onderdelen

4.3.1 Algemeen

- (1) Druk loodrecht op de vezel mag zijn verwaarloosd.
- (2) Afschuiving mag zijn verwaarloosd in rechthoekige en cirkelvormige doorsneden. Voor liggers met een uitkeping behoort te zijn gecontroleerd dat de restdoorsnede bij de uitkeping ten minste 60 % bedraagt van de doorsnede die is benodigd in een situatie zonder brand.
- 4.3.2 Liggers**
- (1) Indien het stabiliteitsverband bezwijkt gedurende de vereiste brandtijd, behoort de kipstabiliteit van de ligger te zijn beschouwd zonder enige zijdelingse steun van het verband.

$K_{fi} = K_u \cdot \eta_f = 581832 \text{ N/mm}$ 

$K_u = 868406$

$\eta_f = 0,67$

$(= (G + Q_1 + Q_2) / K_{fi} + U_{spelling,tot}) = 3,33 \text{ mm}$

4.3.4 Staven verbonden met mechanische verbindingsmiddelen

- (1)P Voor staven verbonden met mechanische verbindingsmiddelen, moet de reductie van verschuivingsmodulus door brand in rekening zijn gebracht.
- (2) De slipmodulus  $K_f$  voor het geval brand behoort te zijn bepaald als:
- $K_{fi} = K_u \cdot \eta_f$
- waarin:
- $K_{fi}$  is de verschuivingsmodulus bij brand, in N/mm;
- $K_u$  is de verschuivingsmodulus voor de uiterste grenstoestand bij kamertemperatuur overeenkomstig EN 1995-1-1 2.2.2(2), in N/mm;
- $\eta_f$  is een omrekenfactor overeenkomstig tabel 4.2.

Tabel 4.2 — Omrekenfactor  $\eta_f$

|                                                          |      |
|----------------------------------------------------------|------|
| Nagels en schroeven                                      | 0,2  |
| Bouten, stiften, ringdeuvels, plaatdeuvels en kramplaten | 0,67 |

Tabel 6.3 — Parameter  $k$

| Verbinding met                                                | $k$   | Maximumperiode voor de geldigheid van parameter $k$ in een onbeschermde verbinding min |
|---------------------------------------------------------------|-------|----------------------------------------------------------------------------------------|
| Nagels en schroeven                                           | 0,08  | 20                                                                                     |
| Bouten hout-op-hout met $d \geq 12 \text{ mm}$                | 0,065 | 30                                                                                     |
| Bouten staal-op-hout met $d \geq 12 \text{ mm}$               | 0,085 | 30                                                                                     |
| Stiften hout-op-hout <sup>a</sup> met $d \geq 12 \text{ mm}$  | 0,04  | 40                                                                                     |
| Stiften staal-op-hout <sup>a</sup> met $d \geq 12 \text{ mm}$ | 0,085 | 30                                                                                     |
| Verbindingsmiddelen volgens EN 912                            | 0,065 | 30                                                                                     |

<sup>a</sup> De waarden voor stiften zijn afhankelijk van de aanwezigheid van een bout per iedere vier stiften.

## BIJLAGE 9

3D weergaven maatgevende deuvelverbinding

### OPDRACHTGEVER

**Arcadis**

Afdeling gebouwen

Lichtenauerlaan 100  
3062 ME Rotterdam

Begeleider:

Gerard van engelen  
Senior Specialist Structural Engineering

### LEERINSTELLING

**Hogeschool Rotterdam**

Opleiding Civiele Techniek

G.J. de Jonghweg 4-6  
3015GG Rotterdam

Begeleider:

Sven van Rosmalen

### AFSTUDEERDERS

Roel Majoor  
Maarten Schoen

Gerard van Engelen:

.....

## Inhoud

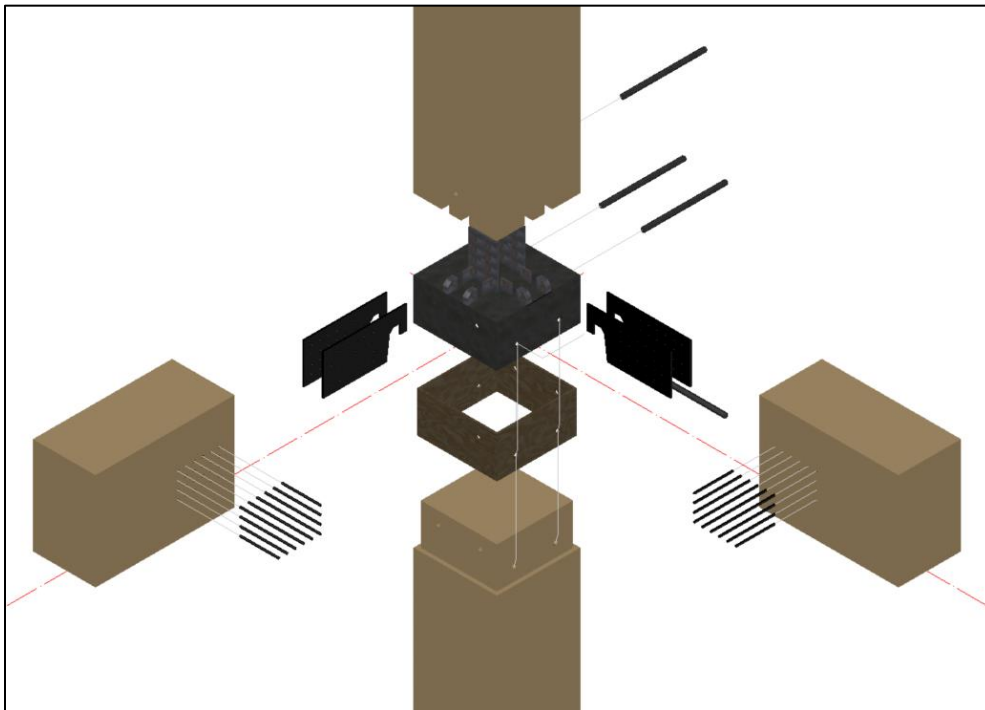
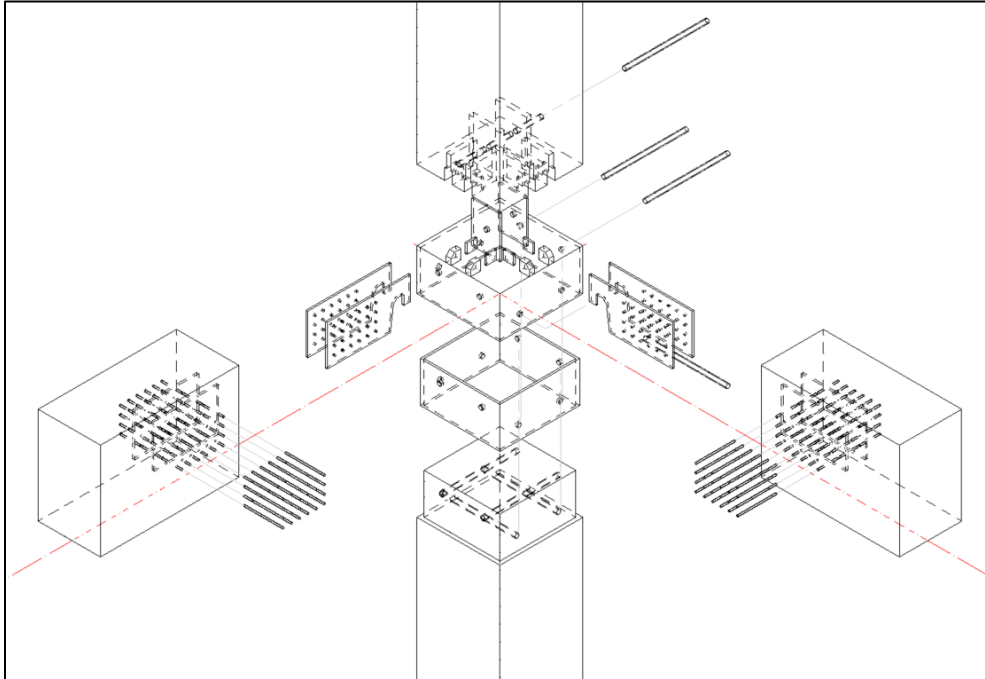
|      |                                                  |   |
|------|--------------------------------------------------|---|
| 1.   | 3D weergaven optimaal ontwerp variant twee ..... | 2 |
| 1.1. | Exploded view 90 graden .....                    | 2 |
| 1.2. | Imploded view 90 graden .....                    | 3 |
| 1.3. | Exploded view 63 graden .....                    | 4 |
| 1.4. | Imploded view 63 graden .....                    | 5 |
| 1.5. | Exploded view 59 graden .....                    | 6 |
| 1.6. | Imploded view 59 graden .....                    | 7 |



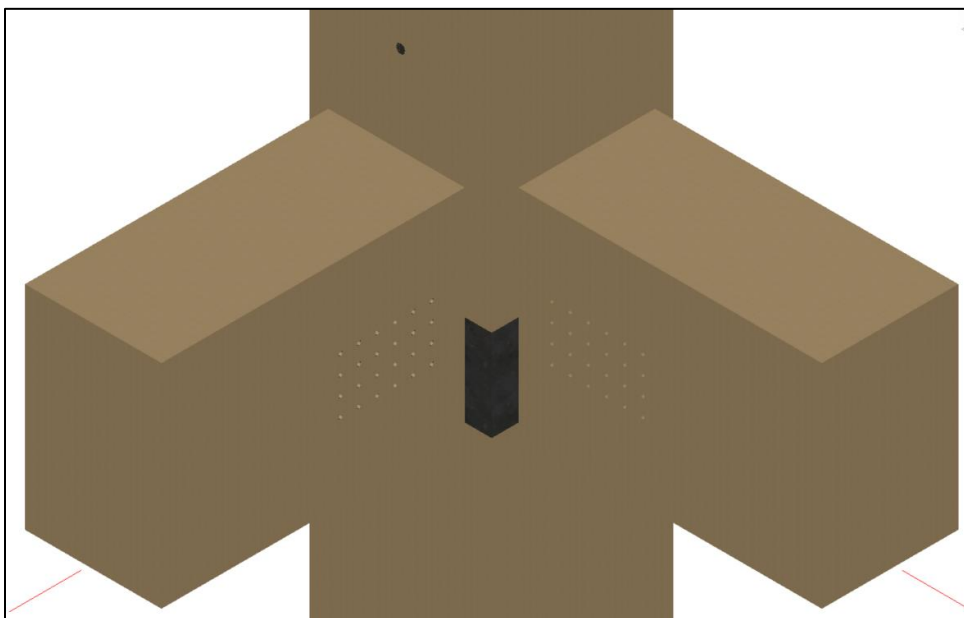
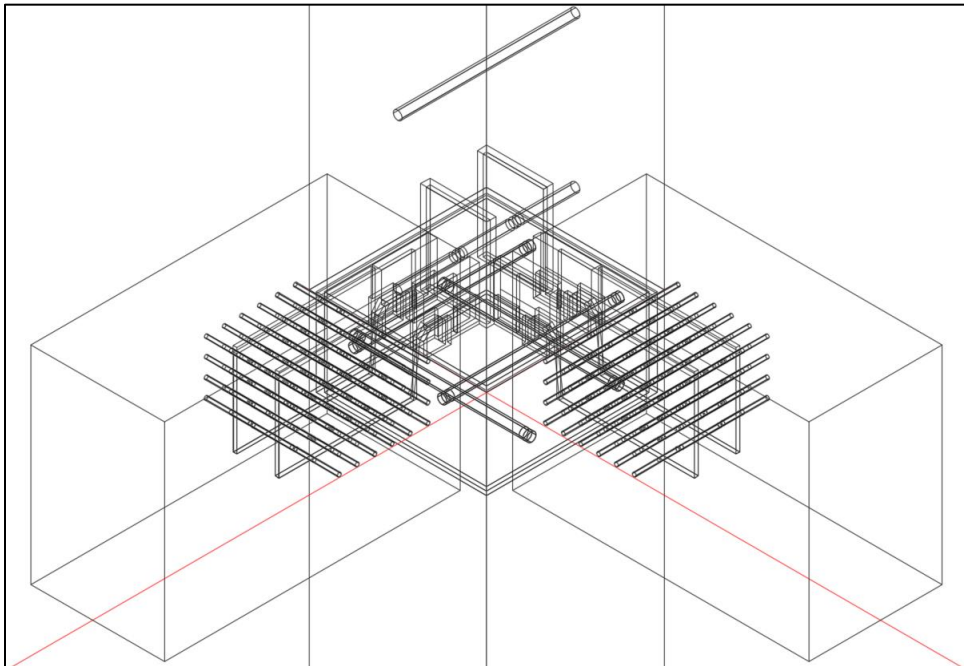
## 1. 3D weergaven optimaal ontwerp variant twee

In deze bijlage is het optimale ontwerp van variant twee uitgetekend en weergegeven onder verschillende hoeken met de kolom.

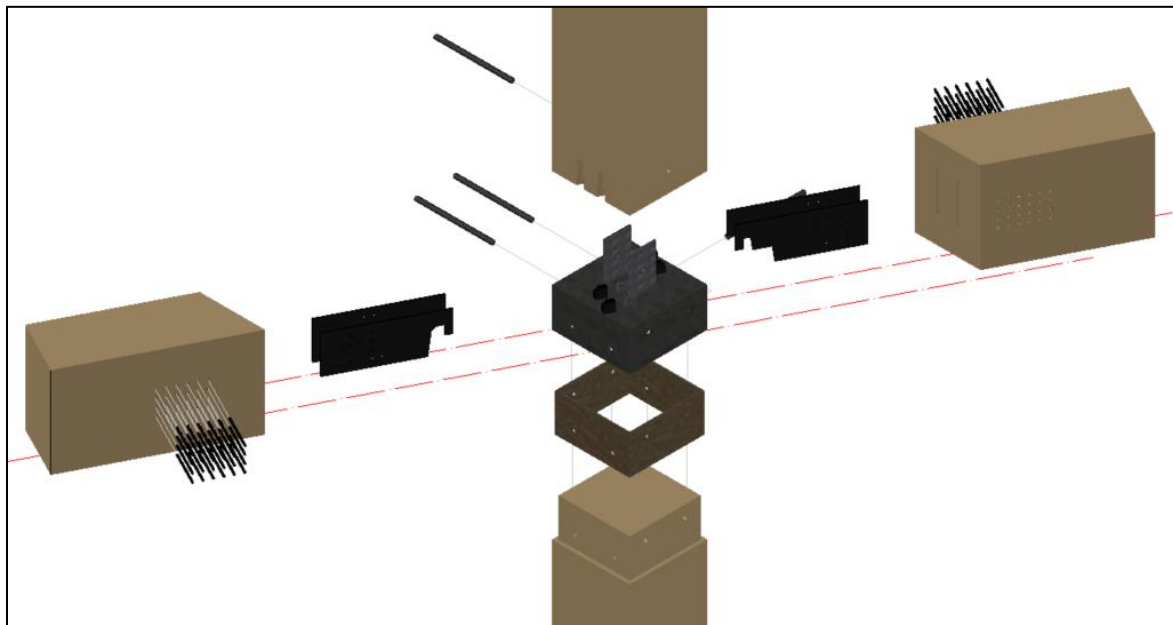
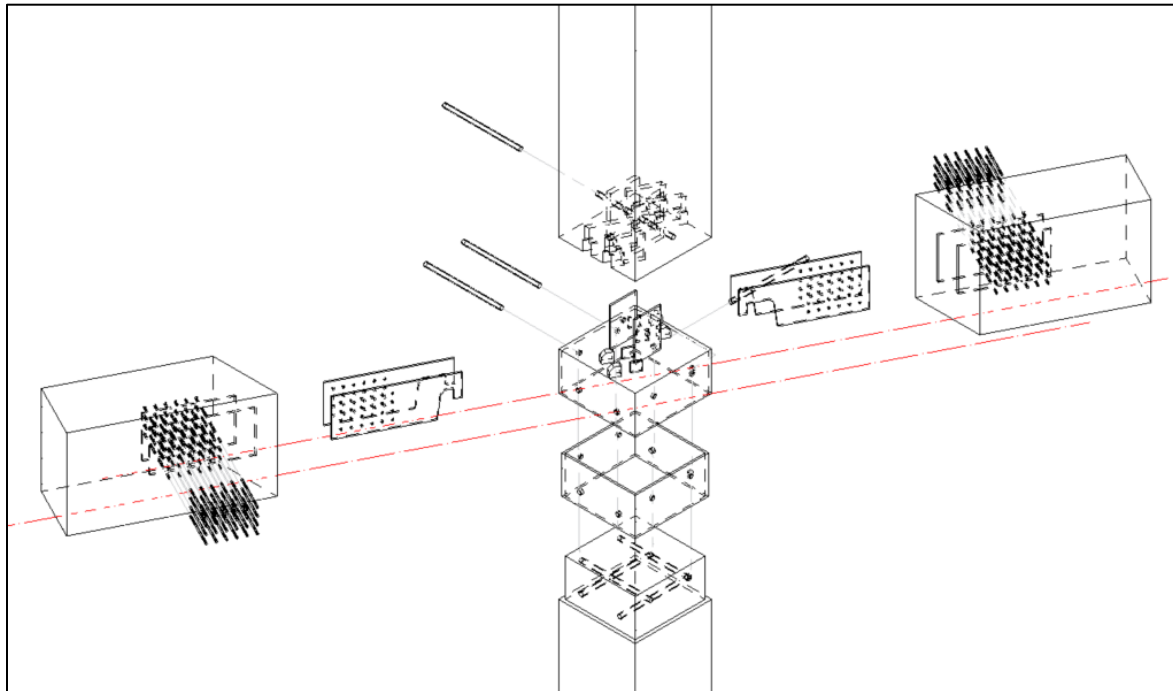
### 1.1. Exploded view 90 graden



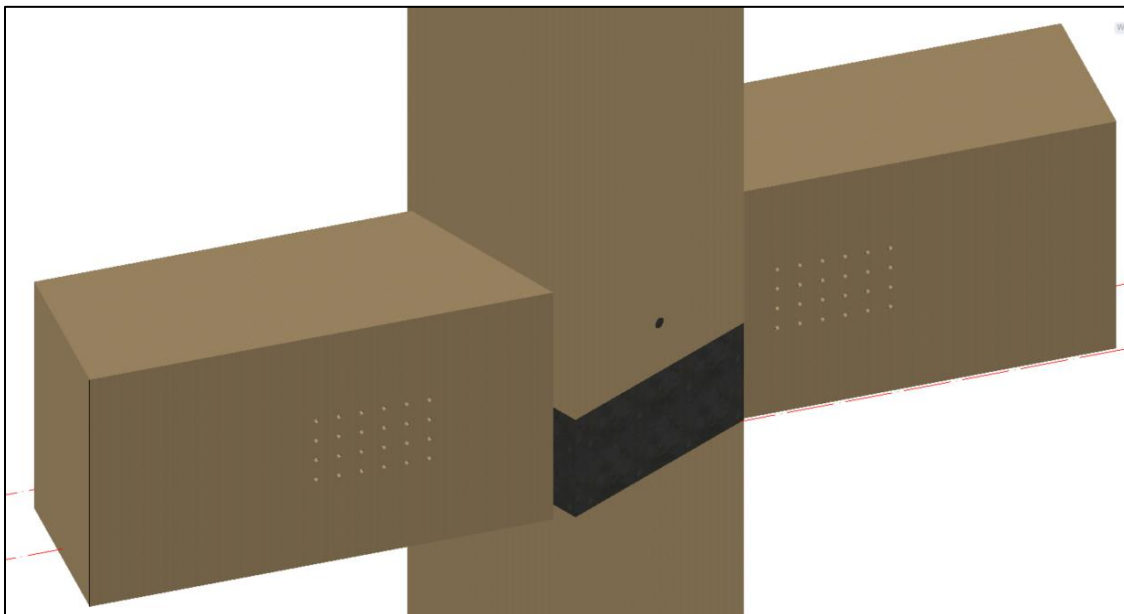
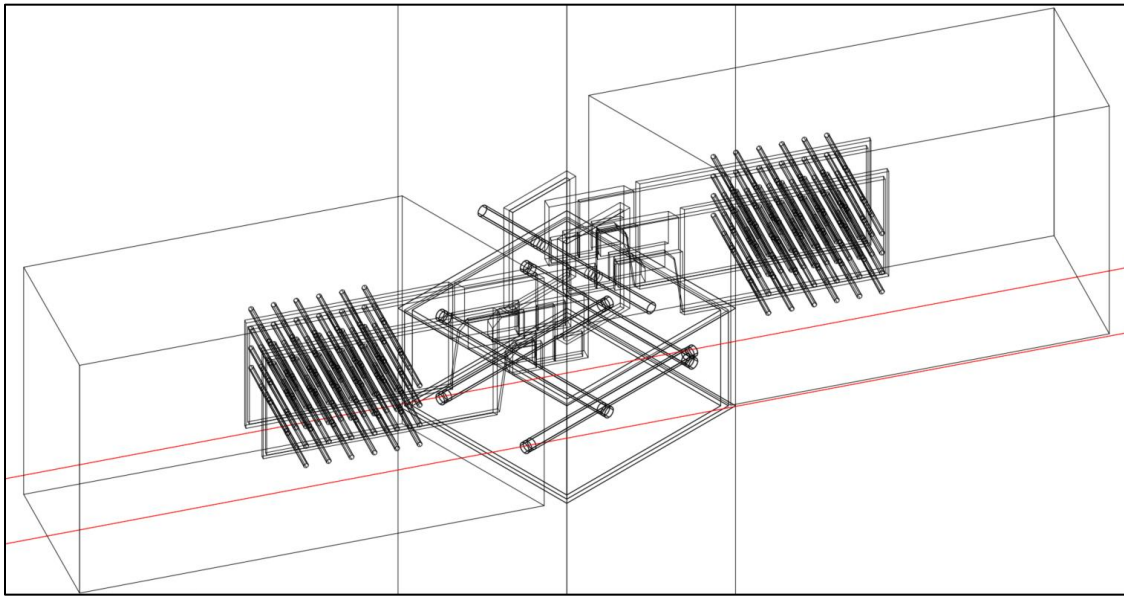
## 1.2. Imploded view 90 graden



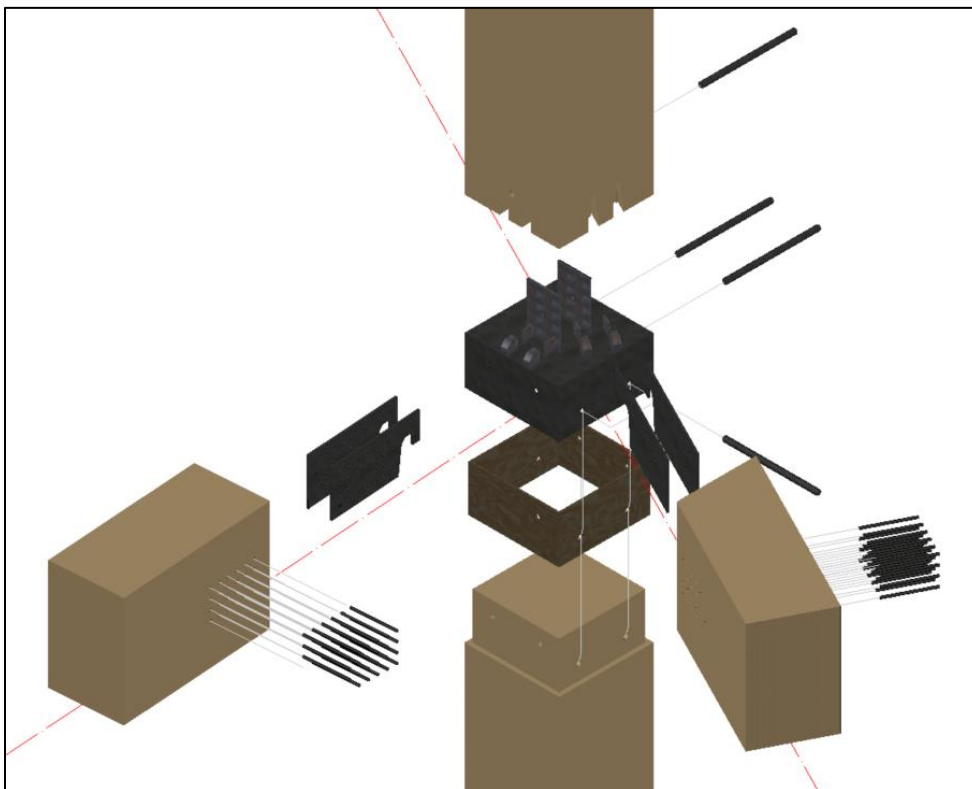
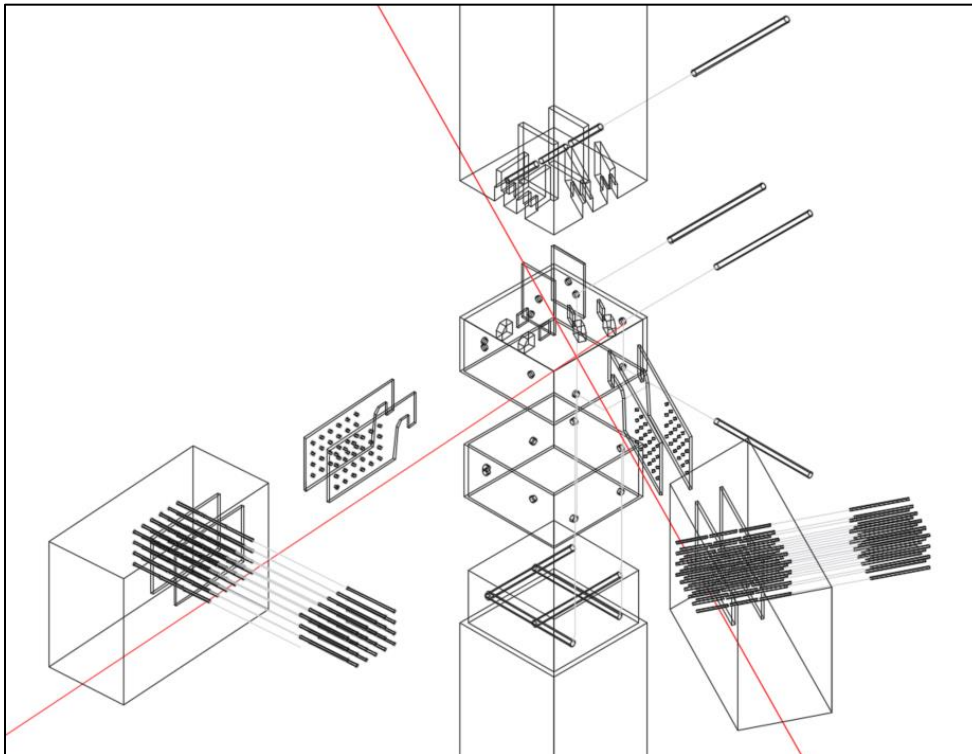
### 1.3. Exploded view 63 graden



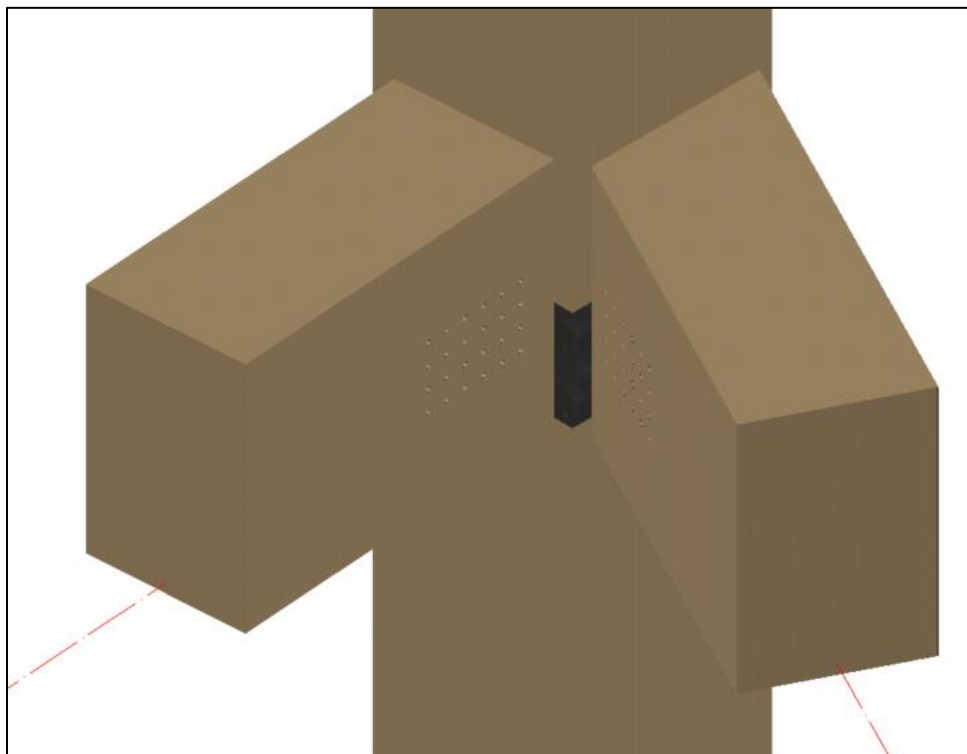
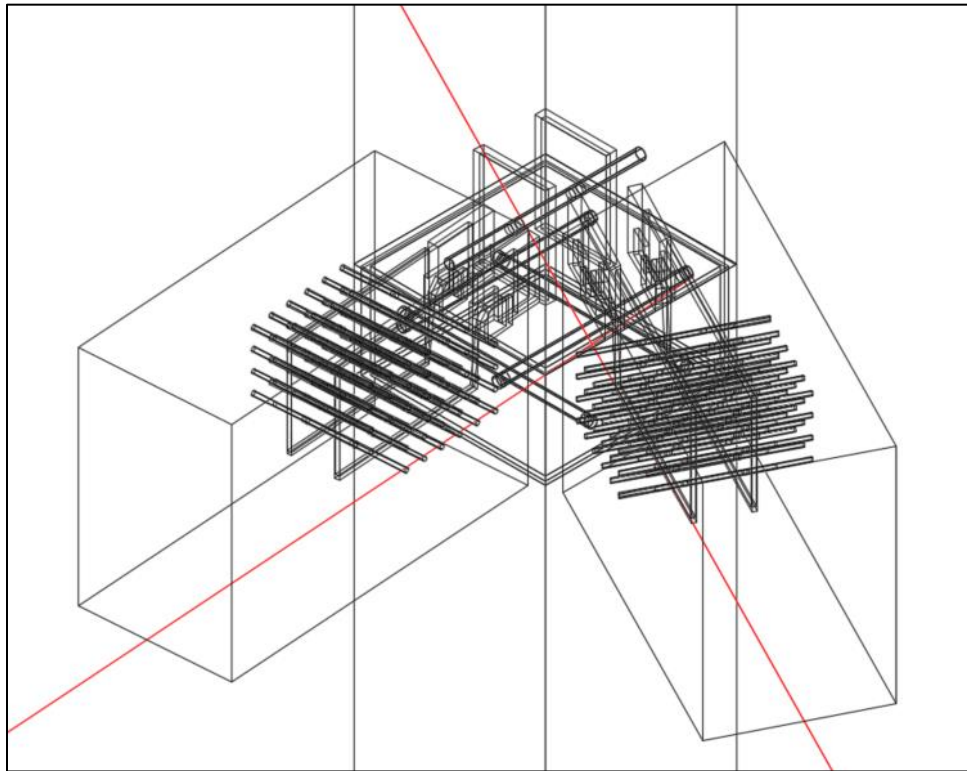
#### 1.4. Imploded view 63 graden



### 1.5. Exploded view 59 graden



### 1.6. Imploded view 59 graden



## BIJLAGE 10

Berekening splijtsterkte volgens methode 1 tot en met 8 ter vergelijking met de testresultaten Martin Pedersen

### OPDRACHTGEVER

**Arcadis**

Afdeling gebouwen

Lichtenauerlaan 100

3062 ME Rotterdam

Begeleider:

Gerard van engelen

Senior Specialist Structural Engineering

### LEERINSTELLING

**Hogeschool Rotterdam**

Opleiding Civiele Techniek

G.J. de Jonghweg 4-6

3015GG Rotterdam

Begeleider:

Sven van Rosmalen

### AFSTUDEERDERS

Roel Majoor

Maarten Schoen

Gerard van Engelen:

.....

# Inhoud

|                                                |    |
|------------------------------------------------|----|
| 1. Gegevens verbinding Pedersen .....          | 2  |
| 1.1. Afmetingen .....                          | 2  |
| 1.2. Schets en afmetingen verbinding .....     | 2  |
| 2. Methode 1 - DIN.....                        | 3  |
| 2.1. T = 40.....                               | 3  |
| 2.2. T = 65.....                               | 3  |
| 3. Methode 2 – Aanpassing DIN.....             | 4  |
| 3.1. T = 40.....                               | 4  |
| 3.2. T = 65.....                               | 4  |
| 4. Methode 3 – Eurocode 5 .....                | 5  |
| 4.1. T = 40.....                               | 5  |
| 4.2. T = 65.....                               | 5  |
| 5. Methode 4 – Eurocode 5 & Ballerini.....     | 6  |
| 5.1. T = 40.....                               | 6  |
| 5.2. T = 65.....                               | 7  |
| 6. Methode 5 – Jensen.....                     | 7  |
| 6.1. T = 40.....                               | 7  |
| 6.2. T = 65.....                               | 7  |
| 7. Methode 6 – Schoenmakers .....              | 8  |
| 7.1. T = 40.....                               | 8  |
| 7.2. T = 65.....                               | 8  |
| 8. Methode 7 – B. Franke & P. Quenneville..... | 8  |
| 8.1. T = 40.....                               | 8  |
| 8.2. T = 65.....                               | 9  |
| 9. Methode 8 – Zarnani & Quenneville.....      | 9  |
| 9.1. T = 40.....                               | 9  |
| 9.2. T = 65.....                               | 10 |
| Bibliografie .....                             | 11 |



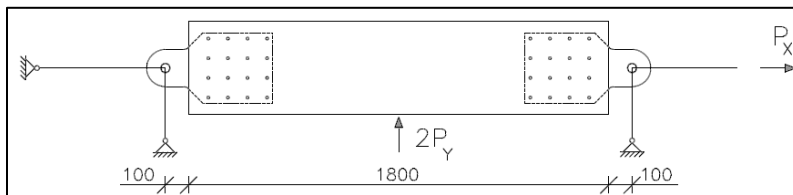
## 1. Gegevens verbinding Pedersen

De testresultaten uit de test, uitgevoerd door Pedersen, worden vergeleken met de resultaten van de berekeningen. De berekeningen zijn uitgevoerd met een waarde voor  $t_1$  van 40mm en  $t_1 = 65$ mm.

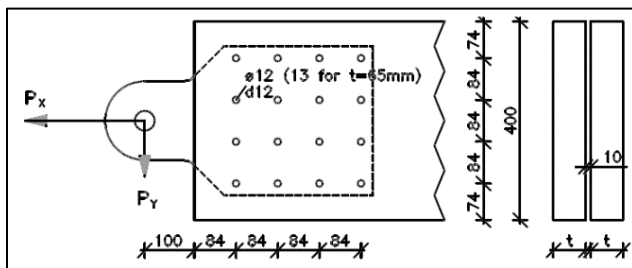
### 1.1. Afmetingen

|                       |            |                                           |
|-----------------------|------------|-------------------------------------------|
| Hoogte balk           | $h$        | 400 mm                                    |
| Breedte verbinding    | $a_r$      | 252 mm (h.o.h. afstand buitenste deuvels) |
| Breedte balk          | $b$        | 80 mm en 130 mm                           |
| Belaste randafstand   | $h_e$      | 326 mm                                    |
| Lengte deuvel         | $l_d$      | 90 mm                                     |
| $h_e/h$               | $\alpha$   | 0,815                                     |
| Breuk energie         | $G_c^I$    | 0,225 N/mm <sup>2</sup>                   |
| Breuk energie         | $G_c^{II}$ | 0,65 N/mm <sup>2</sup>                    |
| Treksterkte hout      | $F_{t,90}$ | 2,5 N/mm <sup>2</sup>                     |
| Tussenafstand $a_2/2$ | $s$        | 42 mm                                     |
| Inbedding deuvel      | $t_1$      | 40 en 65 mm                               |
| Aantal rijen          | $n$        | 4                                         |
| Aantal kolommen       | $m$        | 4                                         |

### 1.2. Schets en afmetingen verbinding



Figuur 1 – Proefopstelling volgens Pedersen (Bron: Pedersen (2002))



Figuur 2 – Detail verbinding Pedersen (Bron: Pedersen (2002))

## 2. Methode 1 - DIN

2.1. T = 40

$$F_{ult} = t_{ef}^{0,8} h^{0,8} k_z k_s k_r k_g f_{t,90}$$

$$t_{eff} = \text{MIN}(12 * d; 2 * t_1; l_d) \text{ geeft: } t_{eff} = \text{MIN}(12 * 12; 2 * 40; 90) = 80 \text{ mm}$$

$$k_z = 6,5 + \frac{18 * h_e^2}{h^2} = 6,5 + \frac{18 * 326^2}{400^2} = 18,5$$

$$k_s = \text{MAX}(1; 0,7 + \frac{1,4 * a_r}{h}) = 0,7 + \frac{1,4 * 252}{400} = 1,6$$

$$k_r = \frac{n_r}{\sum_{i=1}^{n_r} \left( \frac{h-h_i}{h-h_i} \right)^2} = \frac{n_r}{\left( \frac{400-326}{400-326} \right)^2 + \left( \frac{400-326}{400-242} \right)^2 + \left( \frac{400-326}{400-158} \right)^2 + \left( \frac{400-326}{400-74} \right)^2} = \frac{4}{1 + 21,9 * 10^{-2} + 9,4 * 10^{-2} + 5,2 * 10^{-2}} = 2,9$$

Waarin:

$n_r$  = aantal deuvels in 1 kolom

$h_i$  = randafstand tot belaste deuveld in een kolom

$$k_g = 0,5 \text{ bij } 2s \geq 2h; 1,0 \text{ bij } 2s \leq 0,5h; \frac{2s}{4h} + 0,5 \text{ bij } 0,5 \leq 2s \leq 2 =$$

$$k_g = s * 42 \leq 0,5 * 400 \text{ geeft } k_g = 1$$

Invullen geeft:

$$F_{ult} = 80^{0,8} \cdot 400^{0,8} \cdot 18,5 \cdot 1,6 \cdot 2,9 \cdot 1 \cdot 2,5 = 862.481 \text{ N}$$

2.2. T = 65

Alle waarden behalve  $t_{ef}$  blijven hetzelfde

$$t_{eff} = \text{MIN}(12 * d; 2 * t_1; l_d) \text{ geeft: } t_{eff} = \text{MIN}(12 * 12; 2 * 65; 140) = 130 \text{ mm}$$

Invullen geeft:

$$F_{ult} = 130^{0,8} \cdot 400^{0,8} \cdot 18,5 \cdot 1,6 \cdot 2,9 \cdot 1 \cdot 2,5 = 1.271.839 \text{ N}$$

### 3. Methode 2 – Aanpassing DIN

3.1. T = 40

$$k_z = 6,5 + \frac{18 \cdot h_e^2}{h^2} = 6,5 + \frac{18 \cdot 326^2}{400^2} = 18,5$$

$$k_s = 0,7 + \frac{1,4 \cdot a_r}{h} = 0,7 + \frac{1,4 \cdot 252}{400} = 1,6$$

$$t_{eff} = \text{MIN} (12 \cdot d; 2 \cdot t_1; l_d)$$

$$t_{eff} = \text{MIN} 12 \cdot 12; 2 \cdot 40; 90 = 80 \text{ mm}$$

$h_e/h = 0,7$  wordt als limiet gesteld dus:

$$k_{r,new} = 0,18n + 0,82 \text{ bij } h_e/h = 0,7;$$

$$k_{r,new} = 0,18n + 0,82 = 0,18 \cdot 4 + 0,82 = 1,54$$

Deze limiet geldt ook voor  $k_{c,new}$ :

$$k_{c,new} = 0,09m + 0,82 \text{ bij } h_e/h = 0,7$$

$$k_{c,new} = 0,09m + 0,82 = 0,09 \cdot 4 + 0,82 = 1,18$$

Toevoegen kalibratie waarde van  $k = 1,5$  tot het beter volgen van de trendlijn

$F_{uit}$  volgens de DIN:

$$F_{ult} = t_{ef}^{0,8} \cdot h^{0,8} \cdot k_z \cdot k_s \cdot k_r \cdot k_g \cdot f_{t,90}$$

$F_{uit}$  volgens de aanpassing op de DIN:

$$F_{ult} = t_{ef}^{0,8} \cdot h^{0,8} \cdot k_z \cdot k_s \cdot k_{r,new} \cdot k_g \cdot f_{t,90} \cdot k_{c,new} \cdot k$$

Invullen geeft:

$$F_{ult,t=40} = 80^{0,8} \cdot 400^{0,8} \cdot 18,5 \cdot 1,6 \cdot 1,54 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot 1,18 \cdot 1,5 = 810.672 \text{ N}$$

3.2. T = 65

$$k_z = 6,5 + \frac{18 \cdot h_e^2}{h^2} = 6,5 + \frac{18 \cdot 326^2}{400^2} = 18,5$$

$$k_s = 0,7 + \frac{1,4 \cdot a_r}{h} = 0,7 + \frac{1,4 \cdot 252}{400} = 1,6$$

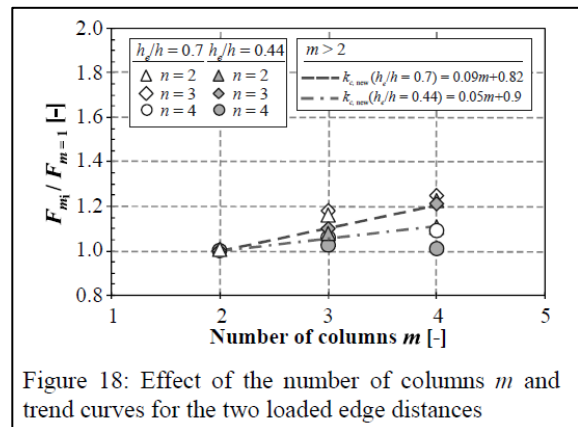
$$t_{eff} = \text{MIN} (12 \cdot d; 2 \cdot t_1; l_d)$$

$$t_{eff} = \text{MIN} 12 \cdot 12; 2 \cdot 65 = 130 \text{ mm}$$

$h_e/h = 0,7$  wordt als limiet gesteld dus:

$$k_{r,new} = 0,18n + 0,82 \text{ bij } h_e/h = 0,7;$$

$$k_{r,new} = 0,18n + 0,82 = 0,18 \cdot 4 + 0,82 = 1,54$$



Figuur 3 - Effect van het aantal kolommen  $m$  en de trendlijnen voor de twee loaded-edge distances (Franke & Quenneville, Failure behaviour and resistance of dowel-type connections loaded perpendicular to grain, 2010)

Deze limiet geldt ook voor  $k_{c,new}$ :

$$k_{c,new} = 0,09m + 0,82 \text{ bij } h_e/h = 0,7$$

$$k_{c,new} = 0,09m + 0,82 = 0,09 \cdot 4 + 0,82 = 1,18$$

Toevoegen kalibratie waarde van  $k = 1,5$  tot het beter volgen van de trendlijn

$F_{ult}$  volgens de DIN:

$$F_{ult} = t_{ef}^{0,8} h^{0,8} k_z k_s k_r k_g f_{t;90}$$

$F_{ult}$  volgens de aanpassing op de DIN:

$$F_{ult} = t_{ef}^{0,8} \cdot h^{0,8} \cdot k_z \cdot k_s \cdot k_{r,new} \cdot k_g \cdot f_{t;90} \cdot k_{c,new} \cdot k$$

Invullen geeft:

$$F_{ult,t=65} = 130^{0,8} \cdot 400^{0,8} \cdot 18,5 \cdot 1,6 \cdot 1,54 \cdot 1 \cdot 2,5 \cdot 1,18 \cdot 1,5 = 1.195.441 \text{ N}$$

## 4. Methode 3 – Eurocode 5

4.1.  $T = 40$

$$F = b \cdot 14 \cdot \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}} = 80 \cdot 14 \cdot \sqrt{\frac{326}{1 - \frac{326}{400}}} = 47.015 \text{ N}$$

[Art. 8.1.4 (3), NEN-EN 1995-1-1+C1+A1]

Waarin:

326 =  $h_e$  = Afstand tot verste deuvet

400 =  $h$  = Hoogte ligger

80 =  $b$  = Breedte ligger

4.2.  $T = 65$

$$F = b \cdot 14 \cdot \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}} = 130 \cdot 14 \cdot \sqrt{\frac{326}{1 - \frac{326}{400}}} = 76.400 \text{ N}$$

[Art. 8.1.4 (3), NEN-EN 1995-1-1+C1+A1]

## 5. Methode 4 – Eurocode 5 & Ballerini

5.1. T = 40

L<sub>i</sub> neemt de randafstand mee en wordt 0 genomen bij een verbinding aan de rand van de ligger.

$$F_{90,Rk} = 2b \cdot 8,6 \cdot \sqrt{\frac{h_e}{1-\alpha^3}} \cdot f_w \cdot f_r$$

Waarin:

$$\alpha = h_e / h = 326 / 400 = 0,815$$

$$f_w(l_r, l_l, h) = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0,75 \left( \frac{l_r + l_l}{h} \right) \\ 2,2 \end{array} \right. \quad (4)$$

Waarin:

l<sub>r</sub> = verbinding breedte = 252 mm

l<sub>l</sub> = de afstand tussen de verschillende verbinding clusters, 0 bij rand verbindingen. Bij een verbinding in het midden van de ligger is l<sub>l</sub> twee keer de afstand van het hart van het cluster tot het eind van de ligger

h = 400mm

Geeft:

$$f_w(l_r, l_l, h) = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0,75 \left( \frac{l_r + l_l}{h} \right) \\ 2,2 \end{array} \right\} = \min \left\{ \begin{array}{l} 1 + 0,75 \left( \frac{252+0}{400} \right) \\ 2,2 \end{array} \right\} = 1,47$$

$$f_r(n, h_m) = 1 + 1,75 \frac{\kappa}{1 + \kappa} \quad \text{where} \quad \kappa = \frac{n \cdot h_m}{1000} \quad (5)$$

Waarin:

$$\kappa = \frac{n \cdot h_m}{1000} = \frac{4 \cdot 252}{1000} = 1,008$$

Waarin:

n = aantal rijen = 4 st

h<sub>m</sub> = hoogte van de verbinding = 252 mm

Geeft:

$$f_r(n, h_m) = 1 + 1,75 \cdot \left( \frac{\kappa}{1 + \kappa} \right) = 1 + 1,75 \cdot \frac{1,008}{1 + 1,008} = 1,88$$

Geeft:

$$F_{90,Rk} = 2b \cdot 8,6 \cdot \sqrt{\frac{h_e}{1-\alpha^3}} \cdot f_w \cdot f_r = 2 \cdot 80 \cdot 8,6 \cdot \sqrt{\frac{326}{1-0,815^3}} \cdot 1,47 \cdot 1,88 = 101.381 \text{ N}$$

5.2. T = 65

$$F_{90,Rk} = 2b * 8,6 * \sqrt{\frac{h_e}{1 - \alpha^3}} * f_w * f_r = 2 * 130 * 8,6 * \sqrt{\frac{326}{1 - 0,815^3}} * 1,47 * 1,88 = 164744 \text{ N}$$

## 6. Methode 5 – Jensen

6.1. T = 40

G = 650N/mm<sup>2</sup>

G<sub>r</sub> = G<sub>c</sub> = 0,225 of 0,65

E = 12600 N/mm<sup>2</sup>

β = 1.01\*10<sup>-3</sup> (α=2\*β\*h)

$$2 * b \sqrt{\frac{a * h * G * G_r}{\frac{3}{5} * (1 - \alpha) + \frac{3}{2} * \frac{G}{E} * \left(\frac{\beta}{\alpha}\right)^2 * (1 - \alpha^3)}} =$$

$$2 * 80 \sqrt{\frac{0,815 * 400 * 650 * 0,225}{\frac{3}{5} * (1 - 0,815) + \frac{3}{2} * \frac{650}{12600} * \left(\frac{1,01 * 10^{-3}}{0,815}\right)^2 * (1 - 0,815^3)}} =$$

$$2 * 80 \sqrt{\frac{47677,5}{0,111 + 5,545513509 * 10^{-7}}} = 104.861 \text{ N}$$

6.2. T = 65

G = 650N/mm<sup>2</sup>

G<sub>r</sub> = g<sub>c</sub> = 0,225 of 0,65

E = 12600 N/mm<sup>2</sup>

β = 1.01\*10<sup>-3</sup> (a=2\*β\*h)

$$2 * 130 \sqrt{\frac{0,815 * 400 * 650 * 0,225}{\frac{3}{5} * (1 - 0,815) + \frac{3}{2} * \frac{650}{12600} * \left(\frac{1,01 * 10^{-3}}{0,815}\right)^2 * (1 - 0,815^3)}} =$$

$$2 * 130 \sqrt{\frac{47677,5}{0,111 + 5,545513509 * 10^{-7}}} = 170.399 \text{ N}$$

## 7. Methode 6 – Schoenmakers

7.1. T = 40

$$1 * 10,8 * b * \sqrt{\frac{h_e}{0,6 * \left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} = 1 * 10,8 * 80 * \sqrt{\frac{326}{0,6 * \left(1 - \frac{326}{400}\right)}} = 46823$$

Gekozen voor 1 omdat de verbinding aan het uiteinde zit, wanneer een verbinding in het midden van de ligger zit moet keer 2 worden gedaan

7.2. T = 65

$$1 * 10,8 * b * \sqrt{\frac{h_e}{0,6 * \left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} = 1 * 10,8 * 80 * \sqrt{\frac{326}{0,6 * \left(1 - \frac{326}{400}\right)}} = 46823$$

## 8. Methode 7 – B. Franke & P. Quenneville

8.1. T = 40

$$F_{connection} = \min \begin{cases} F_{ductile} \text{ (EYM)} \\ F_{splitting} = F_{90} \end{cases}$$

### Meegenomen parameters:

|                     |                              |                                       |
|---------------------|------------------------------|---------------------------------------|
| hoogte balk         | h                            | 400mm                                 |
| breedte verbinding  | a <sub>r</sub>               | 252mm (hoh afstand buitenste deuvels) |
| breedte balk        | b                            | 80mm                                  |
| Belaste randafstand | h <sub>e</sub>               | 326mm                                 |
| Breuk energie       | G <sub>c</sub> <sup>I</sup>  | 0,225N/mm <sup>2</sup>                |
| Breuk energie       | G <sub>c</sub> <sup>II</sup> | 0,65N/mm <sup>2</sup>                 |

$$G_{norm}^I = e^{\left(h^{-1} \left(200 - 10h_e \cdot h^{-0,25} - a_r\right)\right)} \text{ for solid wood and glulam} \quad (4)$$

$$G_{norm}^I = e^{\left(0,8 - 1,6h_e h^{-1} - 1 \cdot 10^{-3} a_r\right)} \text{ for LVL} \quad (5)$$

$$G_{norm}^{II} = \left(0,05 + 0,12 \frac{h_e}{h} + 1 \cdot 10^{-3} a_r\right) \text{ for solid wood, glulam and LVL} \quad (6)$$

$$G_{norm}^I = e^{(400^{-1}(200 - 10 \cdot 326 \cdot 400^{-0,25} - 252))} = 0,142$$

$$G_{norm}^{II} = (0,05 + 0,12 \cdot \frac{326}{400} + 1 \cdot 10^{-3} \cdot 252) = 0,3998$$

$$k_r = \begin{cases} 1 & \text{for } n = 1 \\ 0,1 + (\arctan(n))^{0,6} & \text{for } n > 1 \end{cases} \quad (7)$$

$$k_r = 0,1 + (\tan^{-1}(4))^{0,6} = 1,28$$

$$F_{90} = \frac{b}{\left( \frac{\mathcal{G}_{norm}^I(h_e/h, a_r, h)}{\mathcal{G}_c^I} + \frac{\mathcal{G}_{norm}^{II}(h_e/h, a_r, h)}{\mathcal{G}_c^{II}} \right)} k_r$$

$$F_{90} = \frac{80}{\left( \frac{0,142}{0,225} + \frac{0,3998}{0,65} \right)} \cdot 1,28 = 82.17 kN$$

$$8.2. \quad T = 65$$

$$G_{norm}^I = e^{(400^{-1}(200 - 10 \cdot 326 \cdot 400^{-0,25} - 252))} = 0,142$$

$$G_{norm}^{II} = (0,05 + 0,12 \cdot \frac{326}{400} + 1 \cdot 10^{-3} \cdot 252) = 0,3998$$

$$k_r = 0,1 + (\tan^{-1}(4))^{0,6} = 1,28$$

$$F_{90} = \frac{130}{\left( \frac{0,142}{0,225} + \frac{0,3998}{0,65} \right)} \cdot 1,28 = 133,824 kN$$

## 9. Methode 8 – Zarnani & Quenneville

$$9.1. \quad T = 40$$

$$P_{s,b} = \eta b C_{fp} \sqrt{\frac{h_e}{1 - \frac{h_e}{h}}} \quad (8) \quad , \text{ in which } \eta = \frac{\min(\gamma h_e, a_{3c,L}) + \min(\gamma h_e, a_{3c,R}) + w_{net}}{2\gamma h_e}$$

$$W_{net} = a_1 (n_R - 1) - 6,4 n_R$$

$$a_1 = 84$$

$$n_r = 4$$

$$W_{net} = 84 * (4-1) - 6,4 * 4 = 226.4 \text{ mm}$$

$$N = Y * h_e * a_{3c,L} + Y * h_c * a_{3c,R} + w_{net} / Y * h_e = (84) + (2,7 * 326) + 226,4 / (2 * 2,7 * 326) = 0,68$$

$$Y = 2,7 \text{ glulam en 4 voor lvl}$$

$$a_{3c,L} = 84$$

$$a_{3c,R} = 4000$$

$$C_{fp} = C_{fp} = \sqrt{\frac{5}{3} * G * G_c} = \sqrt{\frac{5}{3} * 650 * 0,225} = 15,6$$

Deze waarde dient verder gereduceerd te worden met (2/3):  $15,6 * 2/3 = 10,4$

De waarde 10,4 is later bijgesteld naar 14.

$$N * b * 14 * \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} = 0,68 * 80 * 14 * \sqrt{\frac{326}{1 - \frac{326}{400}}} = 31797 N$$



9.2.  $T = 65$

$$W_{\text{net}} = a_1 (n_R - 1) - 6,4 n_R = 84 * (4 - 1) - 6,4 * 4 = 226,4 \text{ mm}$$

$$a_1 = 84$$

$$n_r = 4$$

$$N = Y * h_e * a_{3c,L} + Y * h_c * a_{3c,R} + w_{\text{net}} / Y * h_e = (84) + (2,7 * 326) + 226,4 / (2 * 2,7 * 326) = 0,68$$

$Y = 2,7$  glulam en 4 voor lvl

$$a_{3c,L} = 84$$

$$a_{3c,R} = 4000$$

$$C_{fp} = C_{fp} = \sqrt{\frac{5}{3} * G * G_c} = \sqrt{\frac{5}{3} * 650 * 0,225} = 15,6$$

*Deze waarde dient verder gereduceerd te worden met (2/3):  $15,6 * 2/3 = 10,4$*

*De waarde 10,4 is later bijgesteld naar 14.*

$$N * b * 14 * \sqrt{\frac{h_e}{\left(1 - \frac{h_e}{h}\right)}} = 0,68 * 130 * 14 * \sqrt{\frac{326}{1 - \frac{326}{400}}} = 51671 \text{ N}$$

## Bibliografie

- Ballerini, M. (2004). A new prediction formula for the splitting strength of beams loaded by dowel-type connections. *CIB-37-7-5, Working commission W18 - Timber Structures Meeting*, (p. 19). Edinburgh.
- Ehlbeck, J., Görlacher, R., & Werner, H. (1989). Determination of perpendicular-to-grain tensile stresses in joints with dowel-type fasteners. *CIB 22-7-2, Working commission W18 - Timber Structures Meeting*, (p. 20). Berlin, Germany.
- Franke, B., & Quenneville, P. (2010). Failure behaviour and resistance of dowel-type connections loaded perpendicular to grain. *CIB 43-7-6, Working Commission W18 - Timber Structures Meeting*, (p. 15). Nelson.
- Franke, B., & Quenneville, P. (2013). Design approach for the splitting failure of dowel-type connections loaded perpendicular to grain. *CIB 46-7-6 Working Commission W18 - Timber Structures Meeting*, (p. 12). Vancouver.
- Jensen, J. L. (2002). Splitting strength of beams loaded by connections. *CIB 36-7-8* (p. 15). Japan: Akita Prefectural University.
- Schoenmaker, J. (2010). Fracture and failure mechanisms in timber loaded perpendicular to the grain by mechanical connections. DOI: 10.6100/IR673053. Eindhoven: Technische Universiteit eindhoven.
- Zarnani, P., & Quenneville, P. (2013). Wood splitting capacity in timber connections loaded transversely: Riveted joint strength for full and partial width failure modes. *CIB 46-7-5, Working commission W18 - Timber Structures Meeting*. Vancouver, Canada.