VERTICAAL DRAGEND VERLIJMD KRUISLAAGHOUT EN BRANDVEILIGHEID

EEN VERKENNEND ONDERZOEK NAAR DE CONSTRUCTIEVE VEILIGHEID VAN VERLIJMD KRUISLAAGHOUT BIJ BLOOTSTELLING AAN BRAND



Hanzehogeschool Groningen
University of Applied Sciences

Nieman RAADGEVENDE INGENIEURS In't Hart van de Bouw

AUTEUR: PAULA ZEE

IN OPDRACHT VAN: NIEMAN RAADGEVENDE INGENIEURS B.V.

Verticaal dragend verlijmd kruislaaghout en brandveiligheid

Een verkennend onderzoek naar de constructieve veiligheid
van verlijmd kruislaaghout bij blootstelling aan brand

Auteur Paula Zee
Studentnummer 329604
Bouwkunde, specialisatie Structural Engineering
E-mail: p.c.zee@st.hanze.nl

Groepsnummer 32

Onderwijsinstelling Hanzehogeschool Groningen
Academie voor Architectuur, Bouwkunde en Civiele Techniek
Zernikeplein 7
9747 AS Groningen
Tel: 050 – 595 55 55
Studiejaar 2017-2018
Afstudeerbegeleider: *ing. Jan de Haan*
Afstudeerlezer: *ir. Robert Ovbiagbonhia*

Opdrachtgever Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V.
Dr. van Lookeren Campagneweg 16
8025 BX Zwolle
Postbus 40147
8004 DC Zwolle
Tel: 038 – 467 00 30
Bedrijfsbegeleider: *ir. Ruud van Herpen*

Plaats, datum Zwolle, 28 mei 2018

Hanzehogeschool Groningen
University of Applied Sciences

Nieman RAADGEVENDE INGENIEURS In 't Hart van de Bouw

Voorwoord

Dit rapport vormt de afsluiting van mijn opleiding Bouwkunde aan de Hanzehogeschool te Groningen. Voor het afstuderen is een periode ingepland vanaf 12 februari 2018 tot en met 29 juni 2018. In deze periode heb ik mij beziggehouden met het onderzoeken, berekenen en het schrijven van dit afstudeerrapport. In 2014 ben ik begonnen met deze brede opleiding. Al snel werd voor mij duidelijk dat constructief ontwerpen mijn interesse trok. Daarnaast merkte ik dat brandveiligheid ook mijn interesse trok. Om deze reden heb ik ervoor gekozen om deze twee onderwerpen te combineren in mijn afstudeerscriptie.

Nadat ik in contact kwam met Ruud van Herpen werd mij duidelijk dat ik graag wilde afstuderen in de richting van constructieve veiligheid en brandveiligheid. In overleg is het onderwerp, een onderzoek naar de constructieve veiligheid van verlijmd kruislaaghout (CLT) bij blootstelling aan een natuurlijke brand, tot stand gekomen. Dit afstudeeronderzoek is uitgevoerd in opdracht van Nieman Raadgevende Ingenieurs te Zwolle. Dit rapport is met name bedoeld voor constructeurs en adviseurs brandveiligheid die te maken hebben, of nog krijgen, met het beoordelen van de constructieve veiligheid van verlijmde kruislaaghout (CLT) constructies bij blootstelling aan een natuurlijke brand.

Bij deze wil ik alle docenten van de studierichting Constructief Ontwerpen bedanken, en in het bijzonder Jan de Haan, voor hun tijd, ondersteuning en feedback tijdens de opleiding en het afstuderen. Daarnaast wil ik Adam Duivenvoorden van De Groot Vroomshoop Groep B.V. voor het beschikbaar stellen van een casus en voor het beantwoorden van al mijn vragen en Bas Boellaard van Solid Timber voor het beantwoorden van al mijn vragen.

Als laatste wil ik iedereen bij Nieman Raadgevende Ingenieurs bedanken voor het beschikbaar stellen van een afstudeerwerkplek en voor de leuke tijd die ik hier het afgelopen half jaar heb gehad. In het bijzonder wil ik Ruud van Herpen bedanken voor de deskundige begeleiding en de waardevolle adviezen.

Zwolle, 28 mei 2012

Paula Zee



Samenvatting

Hout wordt al heel lang toegepast als constructiemateriaal voor verscheidene bouwwerken, maar sinds kort is er ook interesse in hout als constructiemateriaal voor hoogbouw. Hout is een brandbaar materiaal en op dit moment zijn er geen ontwerp- en rekenregels om massief houten panelen van verlijmd kruislaaghout (cross-laminated timber, CLT) hierop te kunnen toetsen aan het *Bouwbesluit 2012* conform de normen *NEN-EN 1991* (Eurocode 1) en *NEN-EN 1995* (Eurocode 5). De vraag rijst of er voldoende constructieve veiligheid aanwezig is in een verticaal dragende CLT constructie bij blootstelling aan een natuurlijke brand. Dit is de aanleiding geweest voor dit afstudeeronderzoek en heeft geleid tot de volgende vraagstelling:

Is er voldoende constructieve veiligheid aanwezig in verticaal dragende massief houten panelen opgebouwd uit verlijmd kruislaaghout (CLT) bij blootstelling aan een natuurlijke brand?

Het eerste gedeelte van dit afstudeeronderzoek bestaat uit een literatuuronderzoek. Er is onderzoek gedaan naar het constructieve en mechanische gedrag van verlijmd kruislaaghout (CLT), de lijmverbinding, het brandgedrag van hout en bijbehorende wet- en regelgeving. Daarnaast is ook onderzoek gedaan naar de optredende belasting bij brand. Als aanvulling op het literatuuronderzoek is een enquête-onderzoek gehouden.

Het tweede gedeelte bestaat uit een simulatie-onderzoek waarbij de temperatuurontwikkeling in de brandruimte en het temperatuurverloop in de CLT constructie bij blootstelling aan een natuurlijke brand gesimuleerd zijn. De simulaties zijn uitgevoerd met behulp van het zonemodel Ozone en het simulatiepakket Voltra. Hierbij is onderzocht wat de invloed van deze blootstelling is op het draagvermogen van de constructie door de gereduceerde doorsnede na de blootstelling te toetsen op druk en buiging. Gedurende de brandcondities is getoetst aan de hand van de buitengewone belastingcombinatie. Gedurende gebruikscondities (na brand) is getoetst in de uiterste grenstoestand (UGT).

Het is gebleken dat de verticaal dragende constructie CLT 100 C5s zijn draagkracht en brand scheidende functie behoudt gedurende de blootstelling aan de natuurlijke brand. Na de brand is er onvoldoende draagvermogen over bij toetsing van de gereduceerde doorsnede in de uiterste grenstoestand (UGT). Op basis van de gevonden resultaten in dit afstudeeronderzoek kan verondersteld worden dat er voldoende constructieve veiligheid aanwezig is in verticaal dragende massief houten panelen opgebouwd uit verlijmd kruislaaghout (CLT) gedurende de blootstelling aan een natuurlijke brand.

Dit afstudeeronderzoek heeft geleid tot een aantal aanbevelingen. In dit afstudeeronderzoek is niet ingegaan op de vervorming van verticaal dragende CLT constructies bij blootstelling aan een natuurlijke brand. Volgens de *NEN-EN 1995-1-2* moeten vervormingscriteria worden getoetst wanneer dit vereist is. Het afstudeeronderzoek heeft zich beperkt tot onbeschermde CLT constructies. Wanneer gekozen wordt voor een afwerking met gipsplaten kan dit de resultaten voor de constructieve veiligheid positief beïnvloeden wat betreft duurzaamheid en betrouwbaarheid. De gipsplaten beschermen de CLT constructie tegen aantasting door verkoling. Naar aanleiding van de gehouden enquête wordt aanbevolen om een universele richtlijn op te nemen in de *NEN-EN 1995* om CLT constructies te dimensioneren en om de brandveiligheid/constructieve veiligheid van CLT constructies te beoordelen. Afgaande op de resultaten van dit afstudeeronderzoek verdient het een aanbeveling om de constructieve veiligheid van CLT constructies bij brand te toetsen aan een natuurlijke brand in plaats van de standaard brandkromme. De bepaalde variaties in Voltra zouden wellicht gunstig kunnen zijn. Het verdient daarom een aanbeveling dat uitgegaan zou kunnen worden van een ruimere bandbreedte waarbij resultaten conservatiever zullen zijn. Het verdient een aanbeveling om de statische berekening en de toetsing op druk en buiging zowel in UGT als bij de buitengewone belastingcombinatie conform Eurocodes probabilistisch te benaderen zodat onzekerheden in constructieve materiaaleigenschappen en in veiligheidsfactoren kunnen worden beschouwd. Naast bovenstaande aanbevelingen zijn een aantal aanbevelingen gedaan voor vervolgonderzoek.

Inhoud

Voorwoord ii
Samenvatting iii
Begrippenlijst 1
1 Inleiding 3
1.1 Achtergrond van het onderzoek 3
1.1.1 Constructieve veiligheid bij brand 3
1.1.2 Scenario's constructieve veiligheid bij brand 3
1.2 Aanleiding 4
1.3 Opdrachtgever 5
1.4 Probleemstelling 5
1.5 Doelstelling 5
1.6 Vraagstelling 6
1.7 Leeswijzer 6
2 Methode van onderzoek 7
2.1 Onderzoeksvragen 7
2.2 Plan van aanpak 7
2.3 Stroomschema 8
3 Verlijmd kruislaaghout (CLT) en Eurocode 5 9
3.1 Opbouw verlijmd kruislaaghout (CLT) 9
3.2 Toegepaste lijmsoorten 10
3.3 Constructieve eigenschappen 11
3.4 Rekenmethode 13
3.4.1 CLT Designer & Calculatis 13
3.4.2 Mechanisch verbonden liggers 14
3.5 Resultaten enquêteonderzoek 14
4 Brand, Bouwbesluit 2012 en Eurocode 5 16
4.1 Wet- en regelgeving 16
4.1.1 Bouwbesluit 2012 16
4.1.2 Eurocode 5 17
4.2 Natuurlijk brandconcept 18
4.2.1 Brandvermogensscenario 18
4.2.2 Verbrandingsmodellen 19
4.3 Rekenmodellen 19
4.3.1 Ozone 19
4.3.2 Voltra 20

4.4 Brandgedrag hout 21
4.4.1 Inbranddiepte 22
4.4.2 Inbrandsnelheid 22
4.5 Belasting bij brand 23
4.5.1 Thermische belastingen 24
4.5.2 Mechanische belastingen 25
4.5.3 Toetsing draagkracht 25
5 Simulatie-onderzoek: uitgangspunten en randvoorwaarden 26
5.1 Casus 26
5.2 Draagvermogen gebruikscondities 26
5.3 Parameters brandstof 27
5.4 Simulatie 28
5.4.1 Stochastische randcondities Ozone 29
5.4.2 Stochastische randcondities Voltra 30
6 Simulatie-onderzoek: rekenresultaten 33
6.1 Temperatuurontwikkeling brandruimte 33
6.2 Equivalente brandduur 34
6.3 Probabilistische benadering thermische belasting 35
6.4 Probabilistische benadering thermische respons 37
7 Toetsing gereduceerde doorsnede 41
7.1 Brandcondities 42
7.2 Gebruikscondities 42
8 Conclusies en aanbevelingen 44
8.1 Conclusies 44
8.2 Discussie & aanbevelingen 46
8.3 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek 47
Literatuurlijst 48
Bijlagen 50

Begrippenlijst

Betrouwbaarheid: geschiktheid van een constructie of een constructief element om te voldoen aan de voorgeschreven eisen, met inbegrip van de ontwerplevensduur, waarvoor zij is ontworpen. Betrouwbaarheid is meestal uitgedrukt in probabilistische termen. Betrouwbaarheid omvat veiligheid, bruikbaarheid en duurzaamheid van een constructie volgens *NEN-EN 1990*.

Bouwbesluit 2012: voorschriften voor veiligheid, gezondheid, bruikbaarheid, energiezuinigheid en milieu voor bouwwerken (Bouwregelgeving Rijksoverheid). Een bouwwerk moet altijd voldoen aan die voorschriften.

Brandcompartiment: gedeelte van één of meer gebouwen, bestemd als maximaal uitbreidingsgebied van brand.

Brandcondities: omstandigheden waarbij een bouwwerk zijn functie vervult gedurende de voorgeschreven brandweerstand. Hierbij worden constructieve elementen getoetst volgens de buitengewone belastingcombinatie conform *NEN-EN 1990*.

Brandruimte: de ruimte waar de brand woedt. Dit kan een (sub)brandcompartiment zijn of een ruimte binnen het (sub)brandcompartiment.

Brandvermogen: het energetisch vermogen van een brand uitgedrukt in MW als functie van tijd.

Buitengewone belasting: belasting, gewoonlijk van korte duur maar van aanmerkelijke grootte, waarvan de kans van optreden tijdens de ontwerplevensduur van de constructie gering is conform *NEN-EN 1990*.

Constructieve veiligheid: het veiligheidsniveau waaraan een bouwwerk dient te voldoen wat betreft de betrouwbaarheid en de duurzaamheid (bruikbaarheid) van de constructie van dat bouwwerk.

Cross Laminated Timber (CLT) / Verlijmd kruislaaghout: een massief houten paneel opgebouwd uit kruislings verlijmde platen. De platen bestaan uit drie tot zeven lamellen.

Delaminering: het bezwijken van lamellen van een CLT constructie door verkoling.

Durability / Duurzaamheid: het vermogen van een product/constructie om de vereiste functie te behouden gedurende een periode onder gebruikscondities (in de uiterste grenstoestand) zonder excessief ingrijpen wat betreft onderhoud of reparaties.

Eurocode: constructieve normen voor de bepaling van de belasting en de respons van draagconstructies.

Equivalente brandduur: de hoeveelheid energie (thermische belasting) die volgens de standaard brandkromme wordt opgelegd aan de constructie (Quaas, 2017). Wanneer het natuurlijk brandconcept wordt gehanteerd als thermische belasting, maar de thermische en mechanische respons niet rechtstreeks aan de thermische belasting gekoppeld kunnen worden, is het zinvol om het de belasting in equivalente minuten standaard brandkromme uit te drukken (van Herpen, Hamerlinck, van de Leur, Scholten, & Vrouwenvelder, 2014). Zie voor een uitgebreidere toelichting Bijlage I-2.

Fire resistance / Brandwerendheid: vermogen van een constructie met een dragende (of scheidende) functie, (een gedeelte of een element daarvan) om de vereiste functies te vervullen bij een bepaald belastingsniveau: een bepaalde blootstelling aan brand gedurende een bepaalde tijdsduur.

Fire resilience / Incasseringsvermogen bij brand: geeft de weerstand aan van een gebouw om een brand te doorstaan.

Gebruikscondities: normale omstandigheden waarbij een bouwwerk zijn functie ten aanzien van bruikbaarheid vervult gedurende de voorgeschreven ontwerplevensduur. Hierbij worden constructieve elementen getoetst volgens de belastingcombinatie in de uiterste grenstoestand (UGT) voorgeschreven door de *NEN-EN 1990*.

Karakteristieke waarde: ook wel representatieve waarde. Dit is de waarde van de karakteristieke sterkte die door de materialen bereikt wordt met een ondergrens van 95%.

Mechanische belasting: optredende belasting op een constructie, dit kan een statische of dynamische belasting zijn.

Natural fire / Natuurlijke brand: houdt in dat het brandverloop in een brandruimte door brandstof- en gebouwkenmerken wordt bepaald. De temperatuurontwikkeling in de brandruimte wordt daarmee bepaald door projectspecifieke parameters. Invloeden van buitenaf (zoals brandweerinzet en installaties) blijven buiten beschouwing.

Nederlands Normalisatie Instituut (NEN): begeleidt en stimuleert de ontwikkeling van normen. Normen zijn afspraken die marktpartijen vrijwillig met elkaar maken over de kwaliteit en veiligheid van hun producten, diensten en processen. Daarnaast beheert en publiceert NEN de voor Nederland geldende normen.

Ontwerplevensduur: veronderstelde periode gedurende welke een constructie of een deel ervan te gebruiken is voor het doel als beoogd, met inbegrip van het voorziene onderhoud, maar zonder dat ingrijpend herstel nodig is volgens *NEN-EN 1990.*

Partiële veiligheidsfactor: factor die rekening houdt met het feit dat de sterkte van een materiaal een lagere waarde kan hebben dan de voorgeschreven karakteristieke waarde. In 95% van de gevallen zal de sterkte ten minste gelijk zijn aan de karakteristieke waarde, in 5% van de gevallen kan de sterkte van het materiaal afwijken van de karakteristieke waarde.

Probabilistische benadering: benadering waarbij rekening wordt gehouden met stochasten. Op basis van de centrale limietstelling wordt verondersteld dat de kansverdeling van de stochasten een normale verdeling is.

Projectspecifieke parameters: parameters die projectgebonden zijn, zoals gebruiksoppervlakte en daglichtopeningen.

RHR (Rate of Heat Release) / Vermogensdichtheid: de hoeveelheid energie die per seconde vrijkomt bij brand. De vermogensdichtheid is onder andere afhankelijk van de soort en de hoeveelheid brandstof die aanwezig is in het compartiment.

Standard Fire Curve / Standaard brandkromme (SBK): nominale temperatuur-tijdrelatie, vastgesteld in *NEN-EN 1363-1* voor een volledig ontwikkelde brand in een compartiment.

Sustainability / Duurzaamheid: de instandhouding of het voortzettingsvermogen van systemen en processen op lange en zeer lange termijn zonder dat dit schadelijke effecten teweegbrengt.

Thermische belasting: optredende belasting op een constructie ten gevolge van brand in minuten SBK.

Uiterste grenstoestand: toestand waarboven de constructie niet langer aan de van toepassing zijnde ontwerp – en berekeningscriteria voldoet. Toestand samengaand met instortingen of andere soortgelijke vormen van constructief bezwijken.

Vuurbelasting: de hoeveelheid warmte die vrijkomt per eenheid van vloeroppervlakte bij verbranding van alle in het bouwwerk aanwezige brandbare materialen met aftrek van de benodigde energie voor verdamping van het in het materiaal aanwezige water conform *NEN 6090*. Bij de variabele vuurbelasting wordt de vuurbelasting verminderd met de permanente vuurbelasting van het bouwwerk conform *NEN 6090*.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond van het onderzoek

Hout wordt al heel lang toegepast als constructiemateriaal voor verscheidene bouwwerken, maar sinds kort is er ook interesse in hout als constructiemateriaal voor hoogbouw. Onder andere binnen Europa zijn er al menige woontorens gerealiseerd met een houten (hoofd)draagconstructie. Op dit moment wordt het ontwerp voor een woontoren met houten draagconstructie aan de Amstel in Amsterdam uitgewerkt, genaamd HAUT. Deze woontoren heeft een hoogte van 73 meter en zal de hoogste houten woontoren van Nederland worden (Reijn, 2017).

Hout is een brandbaar materiaal en op dit moment zijn er geen ontwerp- en rekenregels om massief houten panelen van verlijmd kruislaaghout (cross-laminated timber, CLT) hierop te kunnen toetsen aan het *Bouwbesluit 2012* conform de normen *NEN-EN 1991* (Eurocode 1) en *NEN-EN 1995* (Eurocode 5). Om bij bouwprojecten de juiste adviezen te kunnen geven ten aanzien van brandveiligheid van CLT, wordt in paragraaf 1.1.2 *Scenario's constructieve veiligheid bij brand* een aantal scenario's verondersteld waarbij CLT wordt blootgesteld aan een natuurlijke brand.

Vanuit het bedrijfsleven is er de behoefte om richtlijnen te ontwikkelen om CLT te kunnen beoordelen op brandveiligheid. Het doel is om de betrouwbaarheid en duurzaamheid te kunnen beoordelen bij brand. Met het bedrijfsleven wordt bedoeld; opdrachtgevers, adviseurs en verzekeraars van bouwprojecten.

1.1.1 Constructieve veiligheid bij brand

Bij hoogbouw, hoger dan 70 meter, gelden volgens *Bouwbesluit 2012* de strengste eisen met betrekking tot het bezwijken van de (hoofd)draagconstructie. De (hoofd)draagconstructie hiervan valt onder gevolgklasse 3 volgens *NEN-EN 1991*. Dit betekent dat het bezwijken van de constructie grote gevolgen heeft ten aanzien van het verlies van mensenlevens, en/of zeer grote economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving. Voor woongebouwen lager dan 70 meter geldt gevolgklasse 2. Dit betekent dat het bezwijken van de constructie minder grote gevolgen heeft ten aanzien van het verlies van mensenlevens en/of aanzienlijke economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.

Verlijmd kruislaaghout (CLT) is een brandbaar materiaal en kan samen met de inhoud van een brandcompartiment bijdragen aan een brand wanneer het materiaal daaraan wordt blootgesteld. CLT kan zelf uitdoven wanneer de convectieve warmteoverdrachten en warmte-uitstraling naar de constructie gering zijn (Crielaard, 2015). Het is echter niet duidelijk of een CLT constructie nog betrouwbaar is nadat deze is blootgesteld aan brand.

Vanwege inbranding is de doorsnede van CLT na brand gereduceerd en heeft mogelijk onvoldoende draagvermogen in gebruikscondities en is mogelijk ook onvoldoende brandwerend voor een eventuele volgende brand. CLT kan wellicht voldoende brandwerend zijn, maar dat is geen garantie voor een houtconstructie die voldoende "fire-resilient" is. Een gebouw is fire resilient wanneer na een brand het gebouw nog functioneel en bruikbaar is en is een kenmerk van duurzaamheid. Het gebouw overleeft dan als het ware een calamiteit.

1.1.2 Scenario's constructieve veiligheid bij brand

Aan het begrip constructieve veiligheid (duurzaamheid en betrouwbaarheid) kunnen, in overleg met Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V. te Zwolle, vier scenario's worden gekoppeld bij blootstelling aan een natuurlijke brand:

1. De constructie bezwijkt binnen de thermische belasting volgens de standaard brandkromme (in minuten) waarin de constructie niet mag bezwijken;
2. De constructie bezwijkt bij overschrijding van de thermische belasting volgens de standaard brandkromme (in minuten);

3. De constructie is bestand tegen bezwijken, constructieve elementen moeten na de brand worden vervangen of versterkt (brandwerend maar niet fire resilient);
4. De constructie is bestand tegen bezwijken en kan na brand weer in gebruik worden genomen, alleen cosmetische ingrepen zijn na de brand nodig (fire resistant en fire resilient).

In het eerste scenario wordt niet aan de gestelde eisen in het *Bouwbesluit 2012* voldaan. In dit geval kan worden verondersteld dat de constructie niet duurzaam is en niet betrouwbaar is gedurende brandcondities. In het tweede scenario wordt wel aan de eisen van het *Bouwbesluit 2012* voldaan, maar is de kans dat de constructie bezwijkt gedurende de blootstelling aan brand groot. In het derde scenario wordt wel aan het *Bouwbesluit 2012* voldaan, maar het op grote schaal vervangen of versterken van constructieve elementen is niet per definitie duurzaam wat betreft materiaalgebruik. Het vierde scenario is het meest duurzaam en betrouwbaar, de draagconstructie is minimaal beschadigd en beschadigingen kunnen relatief eenvoudig worden gerepareerd alvorens het gebouw weer in gebruik kan worden genomen. De constructieve veiligheid en de duurzaamheid is in het laatste scenario het grootst.

In scenario's 1 en 2 wordt de CLT constructie getoetst aan de buitengewone belastingcombinatie voorgeschreven door *NEN-EN 1990*. In de scenario's 3 en 4 wordt de CLT constructie getoetst aan de belastingcombinatie in de uiterste grenstoestand (UGT). Hieruit zal blijken of de CLT constructie nog bruikbaar (betrouwbaar en duurzaam) is na brand.

1.2 Aanleiding

Op dit moment wordt gewerkt aan nieuwe regelgeving betreffende dit materiaal. In de nabije toekomst zal in de vernieuwde norm *NEN-EN 1995* (Eurocode 5) beschreven worden hoe de brandwerendheid van CLT berekend dient te worden.

Verder blijkt uit onderzoek (van Herpen, Hamerlinck, van de Leur, Scholten, & Vrouwenvelder, 2014) dat de kans $1{\cdot}10^{-6}$ per m² bedraagt op een constructie-bedreigende compartimentsbrand gedurende een ontwerplevensduur van 50 jaar. Dit maakt brand een relatief veelvoorkomende calamiteit, waar in het ontwerp rekening mee gehouden dient te worden. Momenteel hoeft een gebouw wat betreft brandveiligheid alleen te voldoen aan de wetgeving volgens *Bouwbesluit 2012*. Indien een gebouw voldoet aan gestelde eisen uit het *Bouwbesluit 2012* is een scenario waarbij CLT bezwijkt door brand denkbaar, wat niet bijdraagt aan de duurzaamheid van een gebouw. Daarom willen adviseurs brandveiligheid fire-resilient gaan ontwerpen.

Uit een afstudeeronderzoek (Crielaard, 2015) is gebleken dat bij blootstelling aan de standaard brandkromme de doorsnede van een CLT constructie behoorlijk gereduceerd wordt door het inbranden van de constructie. Aan de oppervlakte van de CLT constructie vindt dan verkoling plaats. In sommige scenario's kan de verkoolde laag zelfs afbladderen waardoor nieuw brandbaar materiaal weer blootgesteld wordt aan de brand. Dit verschijnsel heet delaminering, dit is afgebeeld in Figuur 1.



Figuur 1 Inbranding en delaminering van verticaal dragende CLT constructie, afbeelding afkomstig uit *Self-extinguishment of cross laminated timber* (Crielaard, 2015)

De vraag rijst of er voldoende constructieve veiligheid aanwezig is in een verticaal dragende CLT constructie bij blootstelling aan een natuurlijke brand. De beantwoording van deze vraag naar de brandveiligheid van massief houten panelen opgebouwd uit verlijmd kruislaaghout (CLT) staat centraal in dit afstudeeronderzoek.

1.3 Opdrachtgever

Het afstudeeronderzoek wordt uitgevoerd onder begeleiding van de afdeling Brandveiligheid van Nieman. Nieman wil graag vooroplopen met innovatieve projecten en wil externe partijen van kwalitatief goed advies voorzien. De uitkomsten van dit afstudeeronderzoek zullen relevant kunnen zijn voor adviseurs op het gebied van brandveiligheid en voor constructeurs.

1.4 Probleemstelling

Vanuit de bouwpraktijk en de opdrachtgever Nieman is er behoefte aan ontwerp- en rekenregels om CLT constructies te kunnen toetsen. Het is niet bekend wat de exacte prestaties van CLT zijn bij brand. Het probleem dat hierdoor ontstaat is dat adviseurs in brandveiligheid zich niet of onvoldoende bewust zijn van de mogelijke aanwezige risico's door het ontbreken van ontwerp- en rekenregels.

Het is gebruikelijk dat er een veiligheidsmarge aanwezig in de capaciteit van het draagvermogen van een draagconstructie. Dit wordt getoetst met een Unity Check (U.C.). In de normen van de Eurocodes zijn verschillende toetsingen waaraan constructies moeten voldoen opgenomen. De U.C. geeft een verhouding aan tussen de optredende belasting en de opneembare sterkte. De opneembare sterkte dient groter te zijn dan optredende belasting, de U.C. is dus als volgt te beschrijven: U.C. ≥ 1. Wanneer het draagvermogen, de opneembare sterkte, onbedoeld gaat afnemen ten gevolge van brand, ontstaat een reëel risico met betrekking tot bezwijken van dit constructieonderdeel. Het delamineren (zie Figuur 1) wijst erop dat het draagvermogen afneemt door afname van de houtdoorsnede ten gevolge van de blootstelling aan een bepaalde thermische belasting.

Gebleken is dat er nog geen universele richtlijnen, ontwerp- en rekenregels zijn om CLT constructies te ontwerpen en te toetsen wat betreft brandveiligheid volgens de Eurocodes. Zo is niet bekend of verticaal dragende massief houten panelen van verlijmd kruislaaghout (CLT) bestand zijn tegen bezwijken binnen de gestelde eis in het *Bouwbesluit 2012* volgens de standaard brandkromme bij blootstelling aan een natuurlijke brand.

De vraag die dit oproept is of er voldoende constructieve veiligheid in de constructie aanwezig is om, nadat de brand heeft plaatsgevonden, te voldoen aan de belastingcombinatie behorende bij gebruikscondities.

Voorgaande leidt tot het volgende probleem:

Het is op dit moment niet mogelijk om met regelgeving conform NEN-EN 1995 (Eurocode 5) te achterhalen of er voldoende constructieve veiligheid aanwezig is in verticaal dragende massief houten panelen opgebouwd uit verlijmd kruislaaghout (CLT) bij blootstelling aan een natuurlijke brand.

1.5 Doelstelling

Het doel van dit afstudeeronderzoek is de constructieve veiligheid (betrouwbaarheid en duurzaamheid) van CLT bij blootstelling aan een natuurlijke brand inzichtelijk te maken en specifiek voor verticaal dragende massief houten panelen van verlijmd kruislaaghout (CLT). Dit geschiedt door onder andere de materiaaleigenschappen en het brandgedrag van CLT te onderzoeken.

Het doel is de constructieve veiligheid van verticaal dragende massief houten panelen van verlijmd kruislaaghout (CLT) bij blootstelling aan een natuurlijke brand inzichtelijk te maken en te kwantificeren.

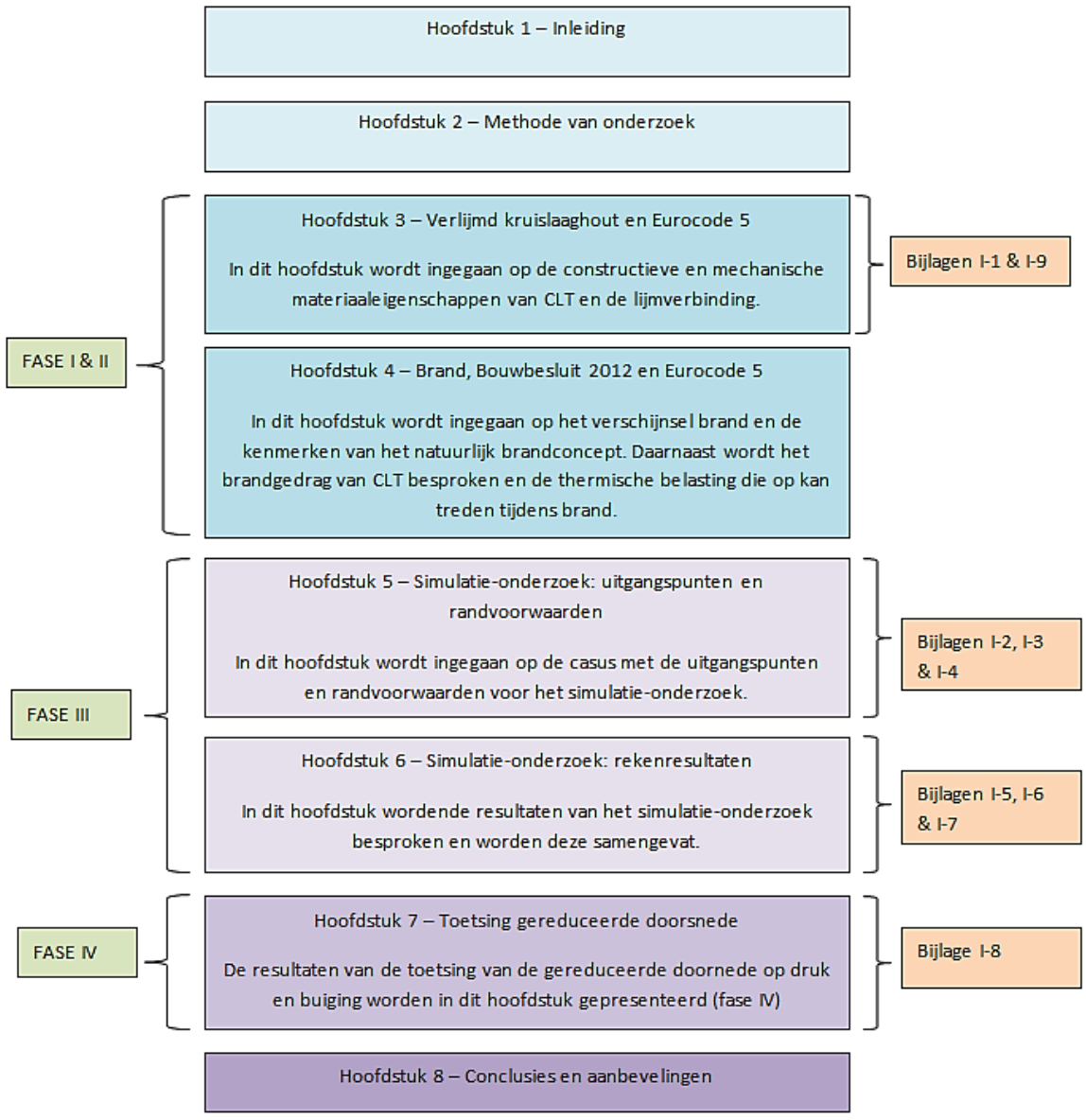
Dit afstudeeronderzoek beperkt zich tot verticale dragende CLT houtconstructies. In het afstudeeronderzoek *Self-extinguishment of cross laminated timber* (Crielaard, 2015) zijn brandproeven gedaan waarbij de inbranding en uitdoving van de wanden van het geteste brandcompartiment, uitgevoerd in verlijmd kruislaaghout, onderzocht werd. Deze brandproeven werden echter uitgevoerd volgens de standaard brandkromme uit Bouwbesluit 2012. De resultaten zouden kunnen verschillen wanneer verticale CLT houtconstructies blootgesteld worden aan een natuurlijke brand.

1.6 Vraagstelling

De hoofdvraag die ontstaat, luidt als volgt:

Is er voldoende constructieve veiligheid aanwezig in verticaal dragende massief houten panelen opgebouwd uit verlijmd kruislaaghout (CLT) bij blootstelling aan een natuurlijke brand?

1.7 Leeswijzer



Figuur 2 Leeswijzer

2 Methode van onderzoek

2.1 Onderzoeksvragen

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden wordt de waarschijnlijkheid beschouwd van de vier scenario's die in paragraaf 1.1.2 *Scenario's constructieve veiligheid* bij brand zijn benoemd. Daaruit volgen een aantal onderzoeksvragen, deze zijn:

1. Welke constructieve eigenschappen heeft verlijmd kruislaaghout (CLT)?
2. Wat is het brandgedrag van CLT?
3. Wat zijn stochastische randcondities bij een natuurlijke brand?
4. Wat is het draagvermogen van een verticaal dragende CLT constructie onder gebruikscondities?
5. Wat is de thermische belasting op een CLT constructie uitgaande van een natuurlijke brand rekening houdend met de invloed van stochastische randcondities?
6. In welke mate neemt het draagvermogen van een verticaal dragende CLT constructie af onder brandcondities en gebruikscondities uitgaande van een natuurlijke brand?

Het afstudeeronderzoek bestaat uit een literatuurstudie (fase I), waarbij onderzoek is gedaan naar het materiaal verlijmd kruislaaghout (CLT) en de bijbehorende eigenschappen. Aanvullend daarop zal een enquête (fase II) worden verspreid onder bedrijven om informatie te verzamelen over het materiaal en de eigenschappen . In combinatie met de case-study (fase III) kan een aantal deelvragen dan al worden beantwoord. Op basis van theoretische gronden en wet- en regelgeving uit de case-study en literatuurstudie wordt een gevoeligheidsanalyse (fase IV) gemaakt om te onderzoeken welke afzonderlijke parameters de grootste invloed hebben op het brandverloop. Een overzicht van de fases waarin de onderzoeksvragen worden behandeld is ook weergegeven in paragraaf 2.3 *Stroomschema*.

2.2 Plan van aanpak

Hieronder is een verdere toelichting weergegeven van het plan van aanpak per deelvraag.

Onderzoeksvraag 1: Hiervoor wordt een literatuurstudie gedaan naar de constructieve eigenschappen van CLT en bestaande rekenmethoden van verticaal dragend CLT. Er zal voornamelijk gebruik worden gemaakt van publicaties van leveranciers en andere instanties. Hierbij wordt ook een enquête verspreid onder een aantal bedrijven om inzichtelijk te maken van welke rekenmethoden zij gebruik maken.

Onderzoeksvraag 2: Het brandgedrag is materiaalafhankelijk, om de mate van inbranding te kunnen bepalen is inzicht nodig in de thermische respons van CLT. Dit wordt gedaan middels een literatuurstudie. Hiervoor zal voornamelijk gebruik worden gemaakt van publicaties van leveranciers en andere instanties. Hierbij wordt ook een enquête verspreid onder bedrijven, de enquête speelt in op de verwachting van bedrijven van het brandgedrag van CLT.

Onderzoeksvraag 3: De invloed van stochastische randcondities kunnen worden gesimuleerd met het softwareprogramma's Ozone en Voltra. De onzekerheden kunnen als afzonderlijke parameters worden ingevoerd. Door deze parameters te variëren, wordt inzichtelijk welke parameters de grootste invloed hebben op de ontwikkeling van brand.

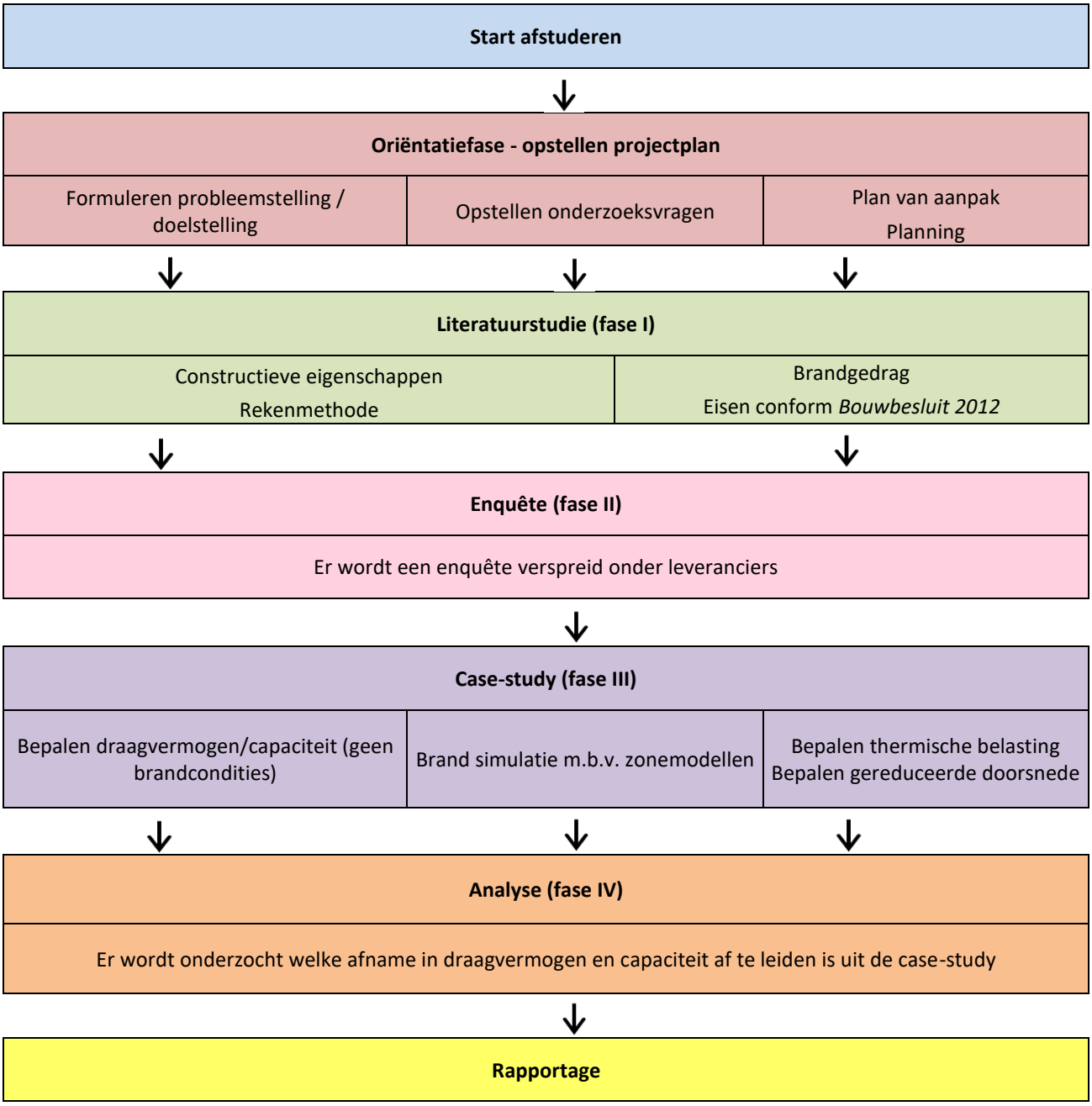
Onderzoeksvraag 4: Om de constructieve veiligheid van CLT te kunnen beoordelen moet eerst de draagkracht bepaald worden onder gebruikscondities. Dit wordt onderzocht aan de hand van een statische berekening conform rekenmethoden uit de normen van de Eurocodes en literatuuronderzoek.

Onderzoeksvraag 5: Om de invloed van een natuurlijke brand op het draagvermogen van de verticale CLT houtconstructie te bepalen dient het natuurlijk brandverloop te worden gesimuleerd met het softwareprogramma Ozone. Dit natuurlijk brandverloop kan vervolgens vertaald worden naar een equivalente brandduur. In deze simulaties zal de invloed

van stochastische randcondities worden meegenomen. Om het temperatuurverloop in de doorsnede en de gereduceerde doorsnede van CLT te bepalen wordt gebruik gemaakt van het softwareprogramma Voltra. De data afkomstig uit de simulaties zal worden verwerkt in overzichtelijke grafieken en tabellen. Deze tabellen en grafieken zullen worden voorzien van een toelichting.

Onderzoeksvraag 6: Om de constructieve veiligheid van CLT te beoordelen zijn in paragraaf 1.1.2 *Scenario's constructieve veiligheid bij brand* een aantal scenario's gekoppeld aan constructieve veiligheid (betrouwbaarheid en duurzaamheid). Aan de hand van verkregen resultaten uit voorgaande onderzoeksvragen zal een uitspraak over de constructieve veiligheid van CLT kunnen worden gedaan door middel van toetsingen van de gereduceerde doorsnede aan de belastingcombinatie in de UGT en aan de buitengewone belastingcombinatie.

2.3 Stroomschema



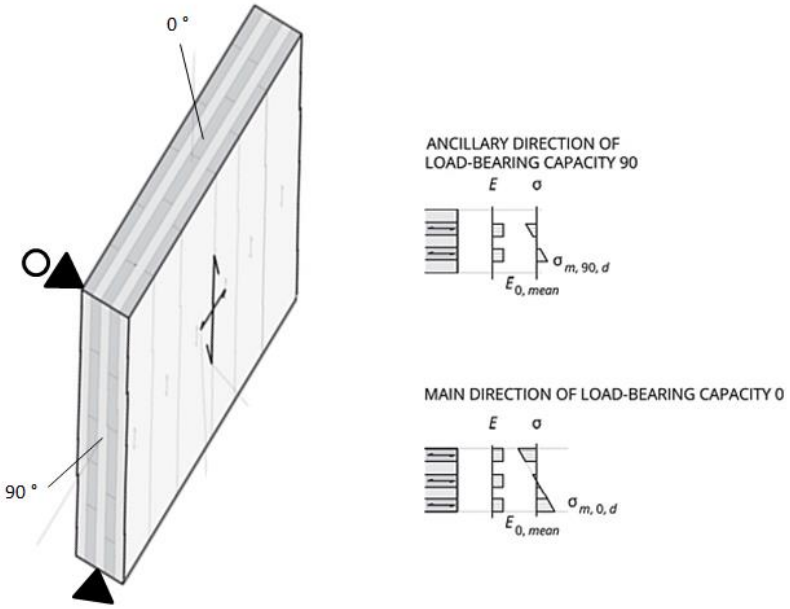
Figuur 3 Stroomschema

3 Verlijmd kruislaaghout (CLT) en Eurocode 5

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de constructieve en mechanische materiaaleigenschappen van CLT en de lijmverbinding. Deze eigenschappen gelden voor zowel horizontaal als verticaal dragende panelen zoals wanden en vloeren.

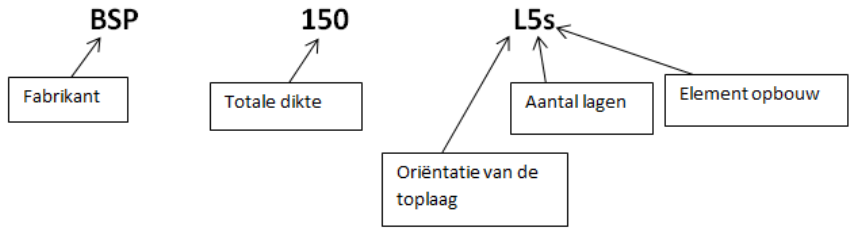
3.1 Opbouw verlijmd kruislaaghout (CLT)

CLT bestaat uit meerdere lamellen massief gezaagd hout die kruislings verlijmd zijn. In Figuur 4 is te zien hoe deze lamellen opgestapeld zijn bij een verticaal dragend paneel. De buitenste lamellen zijn altijd in dezelfde richting gelegd, dit is de longitudinale richting (0°) en is tevens de overspanningsrichting. Het element is dus altijd opgebouwd uit een oneven aantal lamellen. De lamellen die haaks hierop zijn verlijmd liggen in de transversale richting (90°). De lamellen zijn meestal verlijmd met een polyurethaanlijm. Het verschil met gelamineerd hout is dat alle verlijmde lamellen haaks op elkaar verlijmd zijn. De eigenschappen van het hout en de lijm zijn hetzelfde, maar het draagvermogen verschilt door de orientatie (0° of 90°) van de verlijmde lamellen.



Figuur 4 Rekenmodel verticaal dragend paneel van verlijmd kruislaaghout (CLT) met bijbehorende rek- en spanningsdiagrammen in longitudinale (0°) en transversale richting (90°)

De lamellen kunnen het beste krachten opnemen in axiale (longitudinale) richting, dit is evenwijdig aan de vezelrichting van de lamellen. In Figuur 4 is weergegeven op welke manier krachten kunnen worden opgenomen in lamellen die in dezelfde richting liggen. CLT heeft een systematische aanduiding, bijvoorbeeld CLT 140 C5s. Dit is verduidelijkt in Figuur 5.



Figuur 5 Systematische aanduiding CLT

3.2 Toegepaste lijmsoorten

Lijmen die worden toegepast in CLT constructies dienen een zodanige sterke en duurzame verbinding te realiseren dat de lijmvoeg intact blijft gedurende de brand. Bij hout op hout lijmverbindingen wordt onderscheid gemaakt tussen twee lijmsoorten, polycondensatielijmen en eencomponent polyurethaanlijmen (zie Tabel 1).

Tabel 1 Lijmsoorten

Polycondensatielijmen	Eencomponent polyurethaanlijmen
Ureumformaldehyde (UF-lijm) Melaminelijm Melamine ureumformaldehyde (MUF-lijm) Melamineformaldehyde (MF-lijm) Methaandifenyl-isocyanaat (MDI-lijm) Fenolformaldehyde (PF-lijm) Resorcinolformaldehydelijm (RF-lijm)	Polyurethaan (PUR-lijm)

Voor het lijmen van hout op hout mogen fenolformaldehyde- en aminoplastische type 1-lijmen worden toegepast conform *NEN-EN 1995-1-2*. Dit zijn polycondensatielijmen die worden toegepast bij dragende houtconstructies. De typeaanduiding geeft aan bij welke klimaatklasse[1] de lijm wordt toegepast, voor een overzicht en toelichting van de klimaatklassen zie Tabel 5 voor klimaatklassen 1 t/m 3. Type 1 lijm kan bij alle klimaatklassen worden toegepast, terwijl type 2 lijm alleen bij klimaatklasse 1 kan worden toegepast.

Eencomponent polyurethaanlijm is een lijm die ook toegepast wordt voor dragende houtconstructies. Eencomponent polyurethaanlijmen zijn urethaanpolymeren die isocyanaat bevatten, die een verbinding met hout vormen door een chemische reactie met water. Ook hierbij geeft de typeaanduiding aan bij welke klimaatklasse de lijm kan worden toegepast. Type 1 lijm kan bij alle klimaatklassen worden toegepast, maar type 2 lijm kan alleen bij klimaatklasse 1 worden toegepast. In Tabel 1 zijn de verschillende lijmen verdeeld in twee lijmsoorten schematisch weergegeven.

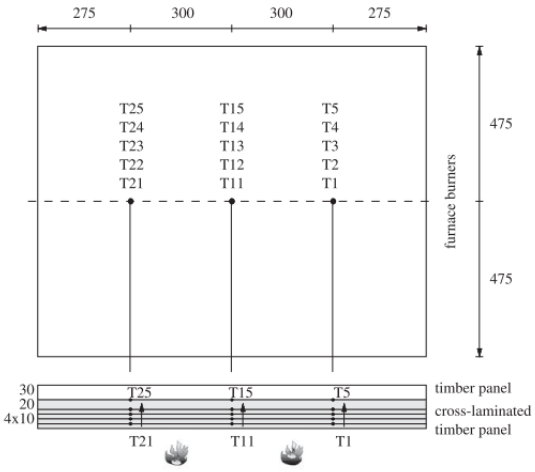
Eencomponent polyurethaanlijmen dragen mogelijk bij aan het delamineren van CLT bij blootstelling aan brand (Crielaard, 2015). Toch wordt deze lijmsoort veel toegepast, omdat deze lijm milieuvriendelijker is dan de polycondensatielijmen die formaldehyde bevatten. In het afstudeeronderzoek *Self-extinguishment of cross laminated timber* (Crielaard, 2015) zijn brandproeven met CLT constructies gedaan waarbij polyurethaanlijm werd toegepast. Op het moment dat een lamel van de CLT constructie volledig verkoold was, bezweek de lijmlaag en trad het verschijnsel delaminering op.

Het Fins Zweedse concern Stora Enso Timber DIY Products B.V. te Helsinki (een producent van CLT) past polyurethaanlijm toe in CLT constructies, namelijk polyurethaan type 1 lijm (Declaration of Performance CLT, 2015). Na verder onderzoek bij De Groot Vroomshoop Groep B.V. te Vroomshoop (een producent van CLT), en Stora Enso is gebleken dat zij allebei gebruik maken van een polyurethaanlijm van de leverancier Henkel Nederland B.V. te Nieuwegein, dit bedrijf is een producent van onder andere polyurethaanlijmen. De lijm die toegepast wordt in CLT constructies van De Groot Vroomshoop en Stora Enso is de LOCTITE HB S309 Purbond. Volgens het document *Technisches Datenblatt*, weergegeven in Bijlage I-1, is de lijm bestand tegen temperaturen tot meer dan 150 °C. De lijmsoorten genoemd in Tabel 1 zijn allemaal getest volgens de normen *NEN-EN 301* en *NEN-EN 15425* tot temperaturen van 70 of 90 °C in plaats van temperaturen volgens de standaard brandkromme.

Een verschil in prestatie kan worden geconstateerd tussen lijmsoorten wanneer panelen, uitgevoerd in CLT, worden blootgesteld aan de standaard brandkromme (Frangi, Fontana, Hugi, & Jöbstl, 2009). Om dit verschil

[1] Het systeem van klimaatklassen is hoofdzakelijk bedoeld om sterktewaarden te kunnen toekennen en om vervormingen te kunnen berekenen in bepaalde klimaatomstandigheden conform *NEN-EN 1995-1-1.*

aan te tonen is er een onderzoek opgezet waarbij proefstukjes van CLT met verschillende opbouw en verschillende lijmsoorten, namelijk MUF-lijmen en polyurethaanlijmen, blootgesteld werden aan de standaard brandkromme. Tussen de lamellen zijn temperatuursensoren geplaatst om het temperatuurverloop door de constructie te kunnen meten. De proefopstelling is weergegeven in Figuur 6.



Figuur 6 Proefopstelling voor de brandproeven met CLT panelen met 5 lamellen

Uit de gedane brandproeven, zoals hierboven is omschreven, is gebleken dat de proefstukjes waarbij een polyurethaanlijm is toegepast, de temperatuur snel stijgt tot de temperatuur van de brandruimte. Dit wordt verklaard door het delamineren van de verkoolde lamellen, de temperatuursensoren werden na het delamineren direct blootgesteld aan de brandhaard waardoor de gemeten temperatuur gelijk werd aan die van de brandruimte.

De temperatuur van de proefstukjes waarbij een MUF-lijm is toegepast stijgt niet zo snel vergeleken met de proefstukjes waarbij een polyurethaanlijm is toegepast. Daarnaast bleef de gemeten temperatuur altijd lager dan de temperatuur van de brandruimte. Uit observatie bleek ook dat delaminering niet is opgetreden. Op basis van de verkregen gegevens wordt gesteld dat polyurethaanlijmen temperatuurgevoelig zijn en dat dit invloed heeft op inbranddiepte van een CLT constructie (Frangi, Fontana, Hugi, & Jöbstl, 2009). Verschillende onderzoeken wijzen uit dat er veel parameters zijn die kunnen variëren, deze variaties leiden tot verschillende prestaties (Klippel, Leyder, Frangi, & Fontana). Dit zal verder worden toegelicht in paragraaf 4.4 *Brandgedrag hout*.

3.3 Constructieve eigenschappen

De sterkteklasse van CLT is C24, de houtsoort is picea abies (Declaration of Performance CLT, 2015). De botanische naam picea abies staat voor vuren. Voor de soortelijke massa wordt een gemiddelde van 460 kg/m³ aangehouden. In Tabel 2 hieronder zijn constructieve eigenschappen weergegeven voor de sterkteklassen van hout, in Tabel 3 zijn verschillende houtsoorten weergegeven met de bijbehorende soortelijke massa.

Tabel 2 Selectie van karakteristieke sterkte-eigenschappen van hout afkomstig uit *NEN-EN 388*

materiaal	sterkte						doorbuiging				
	γ_k [kg/m³]	$f_{m,k}$	$f_{t,0,k}$	$f_{t,90,k}$	$f_{c,0,k}$	$f_{c,90,k}$	$f_{v,k}$	$E_{0;mean}$	$E_{90,mean}$	$E_{0,05}$	G_{mean}	G_R
		[N/mm²]						[N/mm²]				
C14	350	14	7,2	0,4	16	2,0	3,0	7000	230	4700	440	-
C16	370	16	8,5	0,4	17	2,2	3,2	8000	270	5400	500	-
C18	380	18	10	0,4	18	2,2	3,2	9000	300	6000	560	-
C20	400	20	11,5	0,4	19	2,3	3,6	9500	320	6400	590	-
C22	410	22	13	0,4	20	2,4	3,8	10000	330	6700	630	-
C24	**420**	**24**	**14**	**0,4**	**21**	**2,5**	**4,0**	**11000**	**370**	**7400**	**690**	**50**
C27	430	27	16,5	0,4	22	2,5	4,0	11500	380	7700	720	-
C30	460	30	19	0,4	24	2,7	4,0	12000	400	8000	750	-
C35	470	35	22,5	0,4	25	2,7	4,0	13000	430	8700	810	-
C40	480	40	26	0,4	27	2,8	4,0	14000	470	9400	880	-
C45	490	45	30	0,4	29	2,9	4,0	15000	500	10100	940	-
C50	520	50	33,5	0,4	30	3,0	4,0	16000	530	10700	1000	-

Tabel 3 Houtsoorten naaldhout afkomstig uit *NEN-EN 1912*

houtsoort (naaldhout)	botanische naam	ρ (kg/m³)	sterkteklasse
grenen	pinus sylvestris	460	C14, C18, C24, C30
vuren	picea abies	460	C14, C18, C24, C30
lariks	larix decidua	700	C14, C18, C24, C30
douglas	pseudotsuga menziesii	500	C14, C18, C24, C30

CLT constructies vallen normaal gesproken onder klimaatklasse 1 of 2. Klimaatklasse 1 houdt in dat de constructie zich in een verwarmde ruimte bevindt. De relatieve luchtvochtigheid zal gedurende enkele weken per jaar hoger zijn dan 65%. Het vochtgehalte in het hout zal gemiddeld 12% zijn volgens *NEN-EN 1995-1-1.* Een CLT constructie valt onder klimaatklasse 2 als de constructie zich in de buitenlucht bevindt, maar de constructie geen direct contact heeft met water. De relatieve luchtvochtigheid zal dan gedurende enkele weken per jaar hoger zijn 85%. Het gemiddelde vochtgehalte in het hout zal niet hoger zijn dan 20%. De klimaatklassen hebben invloed op de kruipfactor k_{def} en de modificatiefactor k_{mod}. Deze factoren zijn te vinden in *NEN-EN 1995-1-1,* ze zijn ook weergegeven in Tabel 4 en Tabel 5.

Tabel 4 Kruipfactoren k_{def} conform *NEN-EN 1995-1-1*

materiaal	klimaatklasse		
	1 (verwarmd)	2 (open)	3 (nat)
gezaagd hout	0,6	0,8	2,0

Tabel 5 Modificatiefactoren k_{mod} conform *NEN-EN 1995-1-1*

belastingduurklasse	grootte orde	klimaatklasse		
		1 (verwarmd)	2 (open)	3 (nat)
1. blijvend	≥ 10 jaar	0,6	0,6	0,5
2. lang	6 maanden - 10 jaar	0,7	0,7	0,55
3. middellang	1 week - 6 maanden	0,8	0,8	0,65
4. kort	≤ 1 week	0,9	0,9	0,7
5. zeer kort		1,1	1,1	0,9

De kruipfactor k_{def} heeft invloed op de uiteindelijke vervorming van een constructief element. Kruip is een blijvende vervorming van een houtconstructie bij gelijkblijvende belasting. Kruip zorgt voor een extra vervorming na verloop van tijd.

De modificatiefactor k_{mod} geeft een mogelijke reductie of verhoging van de rekenwaarde van een sterkte-eigenschap bij een bepaalde belastingduurklasse. De modificatiefactor brengt de invloed van de belastingduur en het vochtgehalte van het hout in rekening. De belastingduur geeft aan hoe lang de maatgevende belasting op een constructie onderdeel optreedt tijdens de ontwerplevensduur van de constructie. Wanneer de belastingduur bijvoorbeeld onder de categorie "1. blijvend" valt, wordt de rekenwaarde van de sterkte-eigenschap gereduceerd, zoals weergegeven in formule [1]. De rekenwaarde van de sterkte-eigenschap is in dat geval dus lager dan wanneer de belastingduurklasse zeer kort zou zijn, omdat het materiaal gedurende lange tijd weerstand moet kunnen bieden tegen de optredende belasting.

De karakteristieke sterkte-eigenschappen, zoals weergegeven in Tabel 2, dient met de modificatiefactor te worden vermenigvuldigd, zodat rekening wordt gehouden met de belastingduurklassen 1 tot en met 5 en variaties in optredende belastingen gedurende de belastingduur. Daarnaast wordt er ook nog rekening gehouden met de partiële veiligheidsfactor γ_M = 1,25 voor CLT (Wallner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014).

De rekenwaarde van de sterkte van een materiaal, uitgedrukt als X_d, moet dus als volgt worden berekend volgens *NEN-EN 1995-1-1*.

$$X_d = k_{mod} \frac{X_k}{\gamma_M} \qquad [1]$$

Waarbij geldt:

X_k is de karakteristieke waarde van de sterkte-eigenschap

γ_M is de partiële veiligheidsfactor voor een materiaaleigenschap

k_{mod} is de modificatiefactor die de invloed van belastingduur en het vochtgehalte van het hout in rekening brengt

3.4 Rekenmethode

Er zijn verschillende rekenmethoden die door bedrijven worden toegepast om een CLT constructie te kunnen dimensioneren. Het is echter gebleken dat er nog geen universele analytische benadering is die toegepast wordt door leveranciers en constructeurs.

De meest gebruikte analytische benadering in Europa die toegepast kan worden voor CLT constructies is gebaseerd op de theorie van mechanisch verbonden liggers volgens bijlage B in *NEN-EN 1995-1-1* (Cagnon & Pirvu, 2011). Daarnaast worden de softwareprogramma's CLT designer en Calculatis van Stora Enso (producent van CLT) veel gebruikt door bedrijven om initiële berekeningen van een CLT constructie te kunnen maken.

3.4.1 CLT Designer & Calculatis

CLT Designer is in een Nederland veelgebruikt rekenprogramma. Dit programma is ontwikkeld in een samenwerking tussen de TU Graz en verschillende leveranciers van verlijmd kruislaaghout. Hiermee kan een initiële berekening worden opgezet voor een ontwerp. CLT Designer kan rekening houden met de Nederlandse wetgeving conform Eurocodes.

Calculatis is een rekensoftwareprogramma ontwikkeld door Stora Enso, producent van CLT houtconstructies. Het softwareprogramma heeft veel gelijkenissen met CLT Designer. In het softwareprogramma kun je voor verschillende landen kiezen, maar helaas kan er nog niet voor Nederland worden gekozen. Calculatis kan dus niet rekenen conform Nederlandse wetgeving.

3.4.2 Mechanisch verbonden liggers

De meest gebruikte analytische benadering voor CLT is gebaseerd op de zogenaamde methode van *Mechanisch verbonden liggers* zoals beschreven in de bijlage B van *NEN-EN 1995-1-1* (Cagnon & Pirvu, 2011). Bij deze rekenmethode wordt ervan uitgegaan dat de CLT constructie een effectieve buigstijfheid bezit. Deze effectieve buigstijfheid wordt beïnvloed door de verbindingsefficiëntiefactor γ. Deze factor is 1 als de verbinding tussen de lamellen volledig verlijmd zijn en 0 als de lamellen geen enkele connectie met elkaar hebben en dus ook geen krachten over kunnen dragen. Meestal ligt deze waarde tussen 0,85 en 0,99.

De effectieve buigstijfheid EI_{eff} kan worden bepaald met formule [2]. Daarna kan de slankheid λ_{eff}, zoals bepaald in formule [3], ingevuld worden in vergelijking 6.21 van *NEN-EN 1995-1-1*, en de druksterkte van verticaal dragende CLT bij verticale (axiale) belasting kan berekend worden met artikel 6.3 van *NEN-EN 1995-1-1*. Hiermee kan worden aangetoond dat een CLT wand voldoende draagvermogen heeft om de axiale belasting op te kunnen nemen.

$$EI_{eff} = \Sigma(E_i I_i + \gamma_i E_i A_i {a_i}^2) \qquad [2]$$

Waarbij geldt dat:

$A_i = b_i \cdot h_i$ en $I_i = \frac{b_i \cdot {h_i}^3}{12}$

$$\gamma = \frac{1}{1 + (\pi^2 \cdot \frac{E_1 \cdot A_1}{l^2} \cdot \frac{h_1}{G_R \cdot b})}$$

De buigstijfheid wordt beïnvloedt door het aantal lamellen dat axiale krachten op kan nemen. De andere lamellen liggen haaks op deze axiale krachten en dragen dus niet bij aan het opneembaar vermogen van de CLT constructie in axiale (longitudinale, zie Figuur 4) richting.

$$\lambda_{eff} = l \cdot \sqrt{\frac{A_{tot}}{I_{eff}}} \text{ waarbij } I_{eff} = \frac{(EI)_{eff}}{E_{mean}} \qquad [3]$$

3.5 Resultaten enquêteonderzoek

Aanvullend op de literatuurstudie is een enquête gehouden onder een kleine groep constructeurs en ingenieurs van bedrijven die zich bezighouden met CLT. Gezien de geringe grootte van de testgroep (3 constructeurs en 2 ingenieurs) zijn de resultaten niet heel betrouwbaar. Wel is de respons een goede graadmeter om te onderzoeken welke rekenmethoden er gebruikt worden en hoe constructeurs op dit moment omgaan met het scenario brand bij het dimensioneren van CLT constructies. De individuele reacties en het overzicht van alle reacties is weergegeven in Bijlage I-9.

Het is gebleken dat veel deelnemers het softwareprogramma RFEM (een 3D rekenprogramma) gebruiken naast CLT Designer, maar geen van de respondenten het softwareprogramma Calculatis gebruikt. Dit is logisch, omdat het softwareprogramma niet volgens Nederlandse norm kan rekenen. Verder valt op dat men in de statische berekening altijd rekening houdt met het verschijnsel brand, met uitzondering van één respondent die zegt dat hij dit in de ontwerpfase nog niet doet. Dit wordt bevestigd door de resultaten van vraag 4, het merendeel van de respondenten denkt dat brand maatgevend is voor de constructieve veiligheid van CLT constructies.

De antwoorden op vraag 6 laten zien dat op dit moment CLT constructies gedimensioneerd worden op brand bij blootstelling aan de standaard brandkromme, in plaats van een natuurlijke brand. Verder is opvallend dat een groot deel, 40%, aangeeft dat er geen maatregelen wat betreft brand worden getroffen in projecten waarbij CLT wordt toegepast. Er wordt dus vanuit gegaan dat CLT voldoende brandwerend is. Verder wordt

gezegd dat maatregelen voor het beperken van de uitbreiding van brand erg afhankelijk zijn van het project en dat er vaak gebruik wordt gemaakt van overdimensionering en bescherming tegen brand met gipsplaten.

Het begrip fire resilience is nog relatief onbekend onder de deelnemers, de meesten hebben hier nog nooit van gehoord. Dit strookt met het feit dat de meeste respondenten ook niet dimensioneren op basis van een natuurlijke brand in plaats van de standaard brandkromme.

Op de vraag of er een verschil in prestatie is bij brand tussen polyurethaanlijmen en MUF-lijmen zijn verschillende antwoorden gegeven. Dit laat zien dat er nog weinig kennis is over de prestaties van deze lijmen. Een respondent geeft de terechte aanvulling dat hoewel polyurethaanlijm over het algemeen slechtere prestaties heeft bij brand dan MUF-lijm, dit niet voor alle lijmen hoeft te gelden. Niet elke MUF-lijm presteert per definitie beter dan polyurethaanlijm.

Als laatste blijkt dat er unaniem de behoefte is aan universele richtlijnen, opgenomen in de *NEN-EN 1995* om CLT constructies te dimensioneren en om de brandveiligheid van CLT constructies te beoordelen.

4 Brand, Bouwbesluit 2012 en Eurocode 5

Verbranding is een chemische reactie, die in het geval van een volledige verbanding schematisch als volgt weergegeven kan worden. Brandstof + zuurstof (O_2) → kooldioxide (CO_2) + waterdamp (H_2O)

Om deze chemische reactie tot stand te laten komen zijn er een aantal beperkende factoren met elk hun eigen drempelwaarde. Wanneer de verhouding tussen deze factoren optimaal is ontstaat er brand volgens de branddriehoek (zie Figuur 7). De “warmte” die in de branddriehoek weergegeven is eigenlijk de ontstekingsenergie. De benodigde temperatuur wordt namelijk bereikt door een externe toevoer van energie om de exotherme reactie te laten verlopen.



Figuur 7 Branddriehoek

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op het verschijnsel brand en de kenmerken van het natuurlijk brandconcept. Daarnaast wordt het brandgedrag van CLT en de thermische belasting die op kan treden tijdens brand besproken.

4.1 Wet- en regelgeving

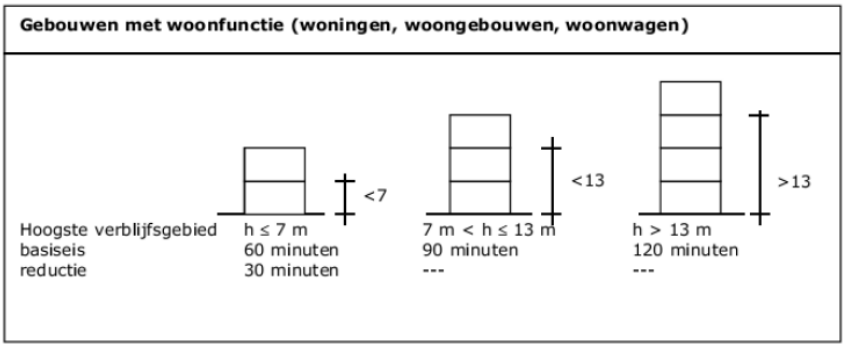
Het *Bouwbesluit 2012* hanteert eisen wat betreft brandveiligheid die gebaseerd zijn op de standaard brandkromme. De temperatuur volgens de standaard brandkromme kan afwijken van de temperatuur volgens het natuurlijk brandconcept. Het natuurlijk brandconcept houdt namelijk rekening met projectspecifieke parameters, de standaard brandkromme doet dit niet.

De *NEN-EN 1991-1-2* hanteert een meer realistische aanpak door ook het natuurlijk brandconcept en de betrouwbaarheid van een constructie te beschouwen. In bijlage E van *NEN-EN 1991-1-2* is de bepalingsmethode voor de brandwerendheid van een draagconstructie met natuurlijke branden opgenomen.

4.1.1 Bouwbesluit 2012

Wanneer volgens het *Bouwbesluit 2012* een brandwerendheid van 30 minuten vereist is, is dit volgens de standaard brandkromme. Dit zijn geen werkelijke klokminuten, maar duiden een weerstand tegen een bepaalde temperatuur aan.

Een bouwconstructie bezwijkt bij brand niet binnen een bepaalde tijdsduur (zie Figuur 8) door het bezwijken van een bouwconstructie binnen of grenzend aan het betreffende brandcompartiment volgens het *Bouwbesluit 2012*. Bij het bepalen van de weerstand tegen het bezwijken van een bouwconstructie moet worden uitgegaan van de buitengewone belastingcombinaties die volgens *NEN-EN 1991-1-2* kunnen optreden bij brand. De tijdsduur tot het moment van het bezwijken is afhankelijk van het materiaal, dit wordt in het geval van een houtconstructie bepaald aan de hand van *NEN-EN 1995-1-2*.



Figuur 8 Eisen aan draagconstructie m.b.t. bezwijken volgens *Bouwbesluit 2012*

4.1.2 Eurocode 5

De *NEN-EN 1995-1-2* schrijft voor dat wanneer een mechanische weerstand in het geval van brand is vereist, constructies zodanig ontworpen en gebouwd moeten zijn dat zij hun draagkracht behouden gedurende de blootstelling aan brand. Verder moeten elementen die de begrenzing vormen van het brandcompartiment zo zijn ontworpen en gebouwd dat zij hun brand scheidende functie behouden gedurende de blootstelling aan brand. Daarvoor moet verzekerd zijn dat:

- Desintegratie niet plaatsvindt (in het geval van CLT delaminering niet plaatsvindt);
- De isolatie niet bezwijkt;
- De warmtestraling van de niet-blootgestelde zijde beperkt is.

Een probabilistische benadering, waarin een realistische brand en respons van de constructie worden beschouwd, zou moeten leiden tot het voldoen aan de vereiste betrouwbaarheid bij een geringere brandwerende bescherming dan met de standaard brandkromme. De berekening volgens het standaard brandconcept is een conservatieve benadering en leidt tot een hogere betrouwbaarheid dan benodigd volgens de Eurocodes (van Herpen, Hamerlinck, van de Leur, Scholten, & Vrouwenvelder, 2014).

De Eurocodes hanteren een betrouwbaarheidsindex β, waarmee de overlevingskans van de constructie gedurende de referentieperiode (ontwerplevensduur) uitgedrukt wordt. Dit is eigenlijk het omgekeerde van een faalkans. De betrouwbaarheidsindex, behorende bij de gevolgklasse CC1, CC2 en CC3 van de Eurocode, hangt als volgt samen met de toelaatbare kans op falen $p_{(f)}$ van de draagconstructie, dit is weergegeven in Tabel 6. De rekenwaarden van een sterkte-eigenschap, zoals beschreven in paragraaf 3.3 *Constructieve eigenschappen* is een praktische manier om ervoor te zorgen dat de betrouwbaarheidsindex β gelijk is of groter is dan de streefwaarde in Tabel 6.

Tabel 6 Betrouwbaarheidsindex en faalkans (van Herpen, Hamerlinck, van de Leur, Scholten, & Vrouwenvelder, 2014)

Gevolgklasse	Betrouwbaarheidsindex	Referentieperiode	Faalkans $p_{(f)}$ gedurende de referentieperiode
CC1	$\beta = 4{,}3$	50 jaar	$4{,}83 \cdot 10^{-4}$
CC2	$\beta = 3{,}8$	50 jaar	$7{,}23 \cdot 10^{-5}$
CC3	$\beta = 3{,}3$	15 jaar	$7{,}23 \cdot 10^{-6}$

Volgens de *NEN-EN 1995-1-2* moet een algemene constructieve berekening van de situatie bij brand rekening houden met:

- maatgevende bezwijkmechanisme bij brand;
- de temperatuurafhankelijk materiaaleigenschappen en stijfheden van de constructieonderdelen;

- de effecten van thermische uitzetting en vervormingen (indirecte belastingen als gevolg van brand). Binnen het kader van dit afstudeeronderzoek zijn deze effecten buiten beschouwing gelaten.

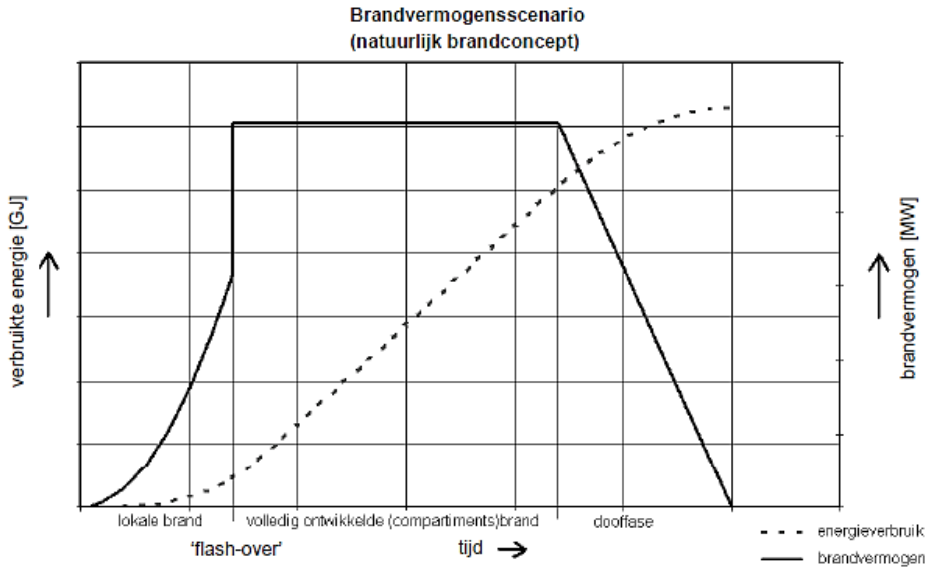
4.2 Natuurlijk brandconcept

Het natuurlijk brandconcept is volgens de *NEN 6055* een samenhangend concept waarbij fysische en empirische modellen worden toegepast. Een empirisch model gaat uit van de analyse van de relatie van geobserveerde gegevens, een fysisch model is een vereenvoudigde voorstelling van een fysische werkelijkheid. Door deze modellen te combineren is het mogelijk om het brandverloop van een natuurlijke brand in een ruimte te voorspellen.

Een natuurlijke brand houdt in dat het brandverloop in een brandruimte door brandstof- en gebouwkenmerken wordt bepaald. De temperatuurontwikkeling in de brandruimte wordt daarmee bepaald door projectspecifieke parameters. Invloeden van buitenaf (zoals brandweerinzet en installaties) blijven buiten beschouwing *(NEN 6055)*.

Het brandvermogen dat tot ontwikkeling komt in de brandruimte hangt af van de aanwezige hoeveelheid zuurstof en brandstof in die ruimte. Het brandvermogen in een brandruimte is afhankelijk van projectspecifieke factoren zoals vorm, afmetingen, openingen en het toegepaste materiaal. De normen *NEN 6055* en de nationale bijlage van *NEN-EN 1991-1-2* vertonen samenhang wat betreft het natuurlijk brandconcept, thermische belastingen en de thermische respons van de constructie.

4.2.1 Brandvermogensscenario



Figuur 9 Brandvermogensscenario

Figuur 9 geeft een voorbeeld weer van een brandvermogensscenario van een natuurlijke brand. Het tijdstip t=0 waarop de grafiek begint is het moment waarop de vlammende fase begint waarbij vlammen duidelijk zichtbaar zijn. Voor de vlammende fase vindt de smeulfase plaats, maar dit leidt tot een verwaarloosbare temperatuurverhoging in de brandruimte waardoor deze fase niet relevant is.

Flash-over is de gelijktijdige ontsteking van de totale vuurlast in een (brand)compartiment. Dit betekent dat de brand zich niet meer beperkt tot het voorwerp, maar dat de gehele ruimte brandt. Er is sprake van een aantal fasen in een natuurlijke brand, deze zijn:

Pre-flash-over fase: In deze fase is sprake van een lokale brand, de brand start als een tweezonemodel.

Post-flash-over fase: Staat gelijk aan een volledig ontwikkelde compartimentsbrand, het tijdstip van flash-over heeft al plaatsgevonden. De brand is op dit moment meestal ventilatie-beheerst. Dit betekent dat zuurstof de beperkende factor is en er geen volledige verbranding plaatsvindt. Gassen kunnen vlam vatten. In deze fase is de brand een eenzonemodel (gemengde zone model).

Dooffase: In deze fase is brandstof de beperkende factor. Het brandvermogen neemt af tot nul, dit bepaalt de totale brandduur.

4.2.2 Verbrandingsmodellen

Er zijn verschillende verbrandingsmodellen die tijdens een natuurlijke brand kunnen optreden. De verbrandingsmodellen zoals beschreven in de *NEN 6055* zijn:

1. Door brandstof beheerste verbranding. In dit geval is brandstof is de beperkende factor in de branddriehoek. Het brandvermogen is beheerst door brandstof als het aanwezige zuurstofgehalte hoger is dan de limietwaarde voor verbranding.
2. Ventilatie beheerste verbranding met verlengde brandduur, zuurstof is in beperkte mate aanwezig. Zowel het brandvermogen als de pyrolysemassastroom worden in vergelijking met een door brandstof beheerste verbranding gereduceerd, er zijn geen uitslaande vlammen.
3. Door ventilatie beheerste verbranding. In dit scenario is zuurstof in beperkte mate aanwezig, met uitslaande vlammen. Het brandvermogen is ventilatie beheerst als het aanwezige zuurstofgehalte gelijk is aan de limietwaarde voor verbranding. Het brandvermogen wordt in vergelijking met een door brandstof beheerste verbranding gereduceerd. De pyrolysemassastroom[2] wordt niet gereduceerd. Daardoor komt een gedeelte van het brandvermogen in uitslaande vlammen vrij.

Volgens de *NEN 6055* is het meest realistische brandvermogensscenario na flash-over een ventilatie beheerste brand. Dit wordt gewoonlijk bereikt door toepassing van het verbrandingsmodel met uitslaande vlammen (verbrandingsmodel 2) in het zonemodel Ozone (softwareprogramma). Dit zal verder worden toegelicht in paragraaf 4.3 *Rekenmodellen*.

4.3 Rekenmodellen

In dit afstudeeronderzoek is gebruikt gemaakt van de rekenmodellen Ozone versie 2.2.6 en het thermodynamische computermodel Voltra. In deze paragraaf worden de rekenmodellen toegelicht.

De brandontwikkeling in de brandruimte is beoordeeld met het zonemodel Ozone. Hierbij is uitgegaan van een zonemodel dat begint met twee-zones, dat bij het bereiken van flash-over criteria overgaat naar een één-zone-model. Met behulp van een thermodynamisch computermodel als Voltra kan een gefundeerde voorspelling voor het temperatuurverloop van de CLT constructie worden gedaan.

4.3.1 Ozone

Met behulp van het zonemodel Ozone kan met een opgelegd brandvermogen de temperatuurontwikkeling in een ruimte worden bepaald. Met een zonemodel kan het hele brandverloop worden weergegeven. De temperatuurontwikkeling in de brandruimte is beoordeeld in paragraaf 6.1 *Temperatuurontwikkeling*.

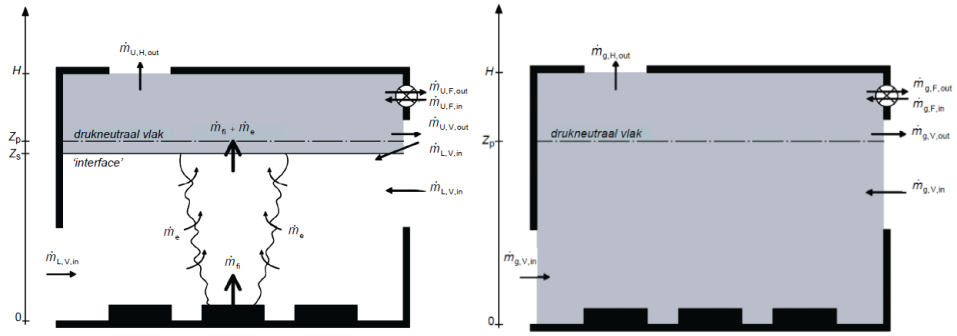
In elke zone gelden een aantal wetten;

- Wet van behoud van energie;
- Wet van behoud van massa;
- Wet van behoud van deeltjes, bijvoorbeeld O2, CO_2, H_2O en eventueel CO.

[2] De pyrolysemassastroom is de massastroom van deeltjes die correspondeert met het potentiële brandstofbeheerste brandvermogen. Wanneer bij een ventilatie beheerste brand naast het brandvermogen ook de pyrolysemassastroom gereduceerd wordt betekent dit dat er minder snel massa van de brandstof wordt omgezet in restproducten dan wanneer deze massastroom niet gereduceerd zou zijn, de totale brandduur is dan dus groter.

De energie van de brand en de toegevoerde energie vanuit de omgeving is gelijk aan de energie van de restproducten (buffer) en de afgevoerde energie naar de omgeving. Ditzelfde principe geldt voor de andere behoudswetten. In algemene vorm kan voor een dynamische behoudswet worden geschreven:
Productie + Toevoer = Afvoer + Buffering

Tweezonemodel
Het tweezonemodel is een brandmodel, waarin de verschillende zones in een brandcompartiment worden gedefinieerd: een bovenlaag, een onderlaag, de brand en de pluim beschreven in *NEN 6055*. In Figuur 10 hieronder is te zien hoe de brand zich dan ontwikkelt. Het twee-zone-model wordt gehanteerd in de pre-flash-over fase van het brandvermogensscenario. De bovenste zone is de hete zone, hierin bevinden zich verbrandingsproducten. De onderste zone is de koude zone. Naarmate de brand zich ontwikkelt zal de hete zone steeds dikker worden. Op een gegeven moment vind het tijdstip van flash-over plaats, dan wordt overgegaan naar het eenzonemodel.



Figuur 10 Het tweezonemodel (rechts) en het eenzonemodel (links)

Eénzonemodel
Het eenzonemodel is een brandmodel, waarin homogene gastemperaturen in het brandcompartiment worden verondersteld. Er is geen koude of hete zone meer aanwezig. De gehele ruimte staat in brand. De voorwaarden die van toepassing zijn wanneer een zonemodel overgaat van een tweezonemodel in een eenzonemodel geldend voor cellulosebrandstoffen zijn vastgelegd in de *NEN 6055*. Figuur 10 geeft het eenzonemodel weer.

Het eenzonemodel is voor dit afstudeeronderzoek het meest relevant. De pre-flash-over fase is niet relevant omdat de temperatuur in die fase nog niet dermate hoog is dat dit een bedreiging vormt voor de betrouwbaarheid van de constructie.

4.3.2 Voltra
Om het temperatuurverloop van de CLT constructie te beoordelen, is de standaard brandkromme opgelegd in het thermodynamisch computermodel Voltra. In dit softwareprogramma wordt de geometrie (het object) via een orthogonaal[3] raster opgedeeld in kleine volume-elementjes. Vervolgens wordt in kleine tijdstappen de temperatuurverdeling in de constructie berekend, rekening houdend met de opgelegde randcondities enerzijds en de warmte-accumulatie in het materiaal anderzijds.

De thermische respons van het hout kan met Voltra worden bepaald door de volgende figuren aan te houden, deze figuren zijn gebaseerd op de figuren B1 t/m B3 en tabellen B1 en B2 uit de bijlage B van *NEN-EN 1995-1-2*. Wanneer lamellen of lijmlagen van CLT bezwijken dan wordt dit gesimuleerd door de thermische geleiding van het materiaal oneindig groot te laten worden en de soortelijke warmte oneindig klein te laten worden.

[3] Driedimensionaal raster waarvan de assen loodrecht op elkaar staan.

Op deze manier kan geen isolerende werking aan het materiaal worden toegekend en beschouwt Voltra het materiaal als bezweken. Op deze manier kan delaminering worden gesimuleerd en worden de gevolgen van het constructieve gedrag van CLT bij brand duidelijk.

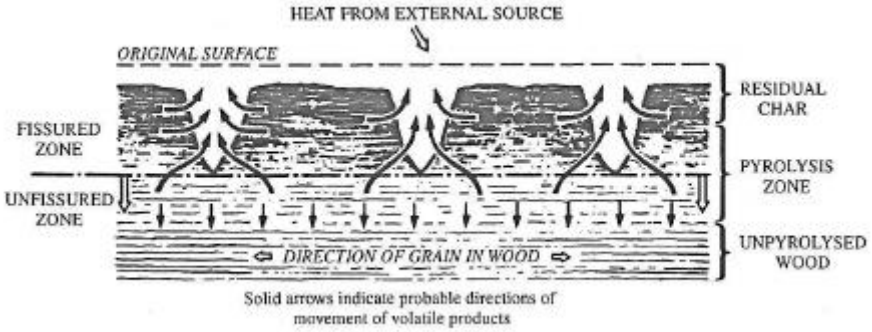
4.4 Brandgedrag hout

Hout is een brandbaar materiaal. De verbranding van hout is afhankelijk van de chemische en fysische samenstelling van het hout, de verbrandingsreactie, de thermische ontbinding van het materiaal en de mate waarin het materiaal verkoolt. Het proces van verbranding moet voldoen aan de randvoorwaarden van de branddriehoek zoals weergegeven in Figuur 7.

Hout bestaat voornamelijk uit cellulose, voor woningbouw kan worden uitgegaan van de aanwezigheid van cellulosebrandstoffen volgens de *NEN 6055*. Bij de volledige verbranding van cellulose ($C_4H_6O_3$) komen kooldioxide (CO_2), waterdamp (H_2O) en vaste rookdeeltjes vrij.

Thermische ontbinding, ook wel pyrolyse genoemd, is een belangrijk onderdeel van het verbrandingsproces. Pyrolyse is de ontleding van moleculen (brandstoffen) onder invloed van hoge temperatuur. Het brandbare materiaal verandert dan in vluchtige gassen en roetdeeltjes. De vluchtige gassen kunnen ook ontbranden wanneer de temperatuur hoog genoeg is. Thermische ontbinding is dus de chemische verandering van de structuur van de brandstof.

Bij een onvolledige verbranding is de aanwezige hoeveelheid zuurstof vaak de beperkende factor, waardoor de brandstof niet in zijn geheel verbrand. Er blijft een residu achter, dit is de koollaag. Onder de koollaag vindt verdere pyrolysering van de brandstof plaats. De gassen die daarbij vrijkomen kunnen de koollaag verlaten via de scheurtjes in het oppervlak. Het proces van het verkolen van hout is in Figuur 11 weergegeven.



Figuur 11 Schematische weergave van een doorsnede onder invloed van pyrolyse (Drysdale, 2011)

De koollaag heeft een grote invloed op de pyrolyse van hout. De koollaag vormt een barrière tussen de brandhaard en het onaangetaste gedeelte van het hout. Het verkoolde hout heeft een lage soortelijke massa en is poreus, op deze manier vormt de koollaag een isolerend laagje. Door de isolerende werking zal de pyrolyse van het onaangetaste hout worden vertraagd. Bij een CLT constructie kan de ontstane koollaag bezwijken wanneer de isolerende werking van de koollaag er niet voor zorgt dat de brand uitdooft (Crielaard, 2015). Hierdoor wordt onaangetast materiaal blootgesteld aan de brandhaard, waardoor verdere verkoling kan optreden.

Elk materiaal bezit een thermische traagheid. De thermische traagheid is het vermogen van een materiaal om warmte op te nemen en daarna weer vrij te geven aan de omgeving volgens *NEN 6055*. De thermische geleiding λ en de soortelijke warmte c van hout zijn temperatuurafhankelijk. De temperatuurvereffeningscoëfficiënt α bepaalt de snelheid waarmee een temperatuurwijziging zich uitbreidt in een materiaal. De snelheid waarmee het materiaal opwarmt en warmte buffert is afhankelijk van de temperatuurvereffeningscoëfficiënt in weergegeven de volgende formule [4] volgens *NEN 6055*.

$$\alpha = \frac{\lambda}{\rho \cdot c} \quad [4]$$

Waarbij geldt dat:

λ is de thermische geleidingscoëfficiënt (W/mK)

ρ is de soortelijke massa van hout (kg/m³)

c is de soortelijke warmte van hout (J/kgK)

4.4.1 Inbranddiepte

De koollaag dient eigenlijk als bescherming van het hout bij brand. Er wordt veel gebruik gemaakt van deze natuurlijke bescherming tegen brand bij draagconstructies. In *NEN-EN 1995-1-2* staat omschreven hoe er zodanig gedimensioneerd kan worden dat een dragend element of draagconstructie een bepaalde brandwerendheid bezit met betrekking tot bezwijken.

De inbranddiepte is de afstand tussen het buitenoppervlak van de doorsnede en de positie van de lijm waar de verkoling eindigt en behoort te worden berekend vanaf het tijdstip van blootstelling en de relevante inbrandsnelheid conform *NEN-EN 1995-1-2.*

Het draagvermogen van een verticaal dragende CLT constructie neemt af wanneer verkoling optreedt, omdat aan de koollaag geen draagvermogen kan worden toegekend. Om een afname te kunnen berekenen moet eerst de inbranddiepte worden berekend. Het draagvermogen mag worden berekend volgens de "gereduceerdedoorsnedemethode" volgens *NEN-EN 1995-1-2*, waardoor de effectieve inbranddiepte d_{eff} als volgt mag worden berekend (Wallner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014):

$$d_{eff} = d_{char,n} + k_0 d_0 \quad [5]$$ [4]

waarbij geldt dat $k_0 d_0$ = 7mm en

$$d_{char,n} = \beta_n * t \quad [6]$$

waarbij geldt:

t is de brandblootstellingstijd

β_n is de schijnbare inbrandsnelheid

De brandblootstellingstijd kan worden bepaald uit simulaties die later in dit afstudeeronderzoek aan bod zullen komen. De inbranddiepte kan ook worden vastgesteld aan de hand van de positie van de grens van koollaag op de 300°C isotherm conform *NEN-EN 1991-1-2*.

4.4.2 Inbrandsnelheid

β_n is de rekenwaarde van de schijnbare inbrandsnelheid volgens de standaard brandkromme. Hiervoor mag een waarde van 0,65 mm/min[5] worden aangehouden voor CLT (Wallner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014). Deze waarde correspondeert met de inbrandsnelheid volgens de standaard brandkromme uit *NEN-EN 1995-1-2*.

De inbrandsnelheden voor elementen met een niet-hittebestendige hechting zoals polyurethaanlijm zouden kunnen verschillen van de eerder genoemde schijnbare inbrandsnelheid vanwege het bezwijken (delamineren) van de ontstane koollaag. Op basis van deze verschillen tussen hittebestendige- en niet-hittebestendige hechtingen, zijn er verschillende inbrandsnelheden die gehanteerd worden. In Tabel 7 hieronder is

[4] $k_0 d_0$ is een laag waaraan geen sterkte of stijfheid mag worden toegekend volgens de gereduceerdedoorsnedemethode (Wallner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014).

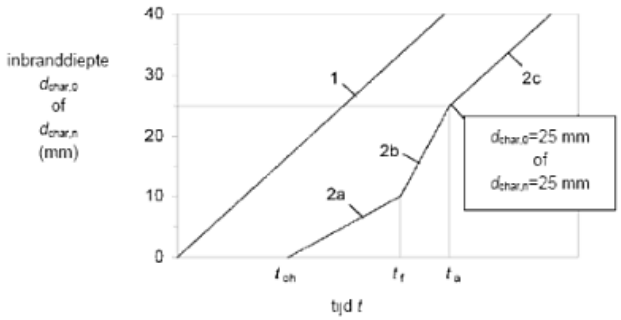
[5] Deze inbrandsnelheid mag worden aangehouden bij elementen met een hittebestendige hechting (Wallner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014).

weergegeven welke inbrandsnelheden worden gehanteerd voor elementen met een niet-hittebestendige hechting.

Tabel 7 Inbrandsnelheden met een niet-hittebestendige hechting (Wallner-Novak, Koppelhuber, & Pock, 2014)

wand	CLT guideline	HFA (Holzforschung Austria) opinie
1e lamel	β_1 = 0,65 mm/min	
2e lamel en verder	β_1 = 0,65 mm/min	β_1 = 0,86 mm/min
$k_0 d_0$	7 mm	

In *NEN-EN 1995-1-2* wordt omschreven dat wanneer een constructie beschermd wordt door bijvoorbeeld gipsplaat dat het verloop van inbrandsnelheden in Figuur 12 reëel is. In de onderstaande afbeelding is goed weergegeven dat wanneer de bescherming van een constructie bezwijkt, de inbrandsnelheid toeneemt. Dit principe komt overeen met de situatie waarbij delaminering optreedt, er wordt onaangetast brandbaar materiaal blootgesteld aan de brand waardoor de inbrandsnelheid toeneemt.



Verklaring

1 verloop voor onbeschermde elementen gedurende de blootstelling aan brand voor inbrandsnelheden β_n (of β_0)
2 verloop voor initieel beschermde elementen waar inbranden begint voor het bezwijken van de bescherming
2a inbranden begint op tijdstip t_{ch} met een gereduceerde snelheid als de bescherming nog aanwezig is
2b nadat de bescherming is bezweken begint het inbranden met een verhoogde snelheid;
2c nadat de inbranddiepte 25 mm overschrijdt, vermindert de inbrandsnelheid tot de snelheid zoals gegeven in tabel 3.1

Figuur 12 Verandering van inbrandsnelheden

Wanneer de eerste lamel van een CLT constructie bezwijkt neemt de inbrandsnelheid toe volgens het onderzoek *Experimental analysis of cross-laminated timber panels in fire* (Frangi, Fontana, Hugi, & Jöbstl, 2009). De gevonden waarden wijken af van de voorgeschreven waarde van 0,65 mm/min. De gemeten inbrandsnelheid stijgt naarmate de lamellen waaruit het element is opgebouwd dunner zijn. Dit komt doordat delaminering sneller plaatsvindt. Ook blijft de inbrandsnelheid stijgen naarmate lamellen bezwijken, dit is te verklaren doordat het hout direct blootgesteld wordt aan hoge temperaturen, terwijl er geen beschermende koollaag meer aanwezig is. Verder werd waargenomen dat hoe later de koollaag eraf valt, hoe meer de inbrandsnelheid toeneemt als gevolg van de toenemende temperatuur in de brandruimte naarmate de brand zich ontwikkelt (Frangi, Fontana, Hugi, & Jöbstl, 2009).

4.5 Belasting bij brand

In deze paragraaf wordt toelicht hoe belastingen bij brand kunnen worden bepaald volgens de *NEN-EN 1991-1-2*. De nationale bijlage bij *NEN-EN 1991-1-2* voorziet in een risicobenadering die in samenhang met het natuurlijk brandconcept kan worden overgenomen.

4.5.1 Thermische belastingen

Bij het bepalen van de thermische belasting wordt rekening gehouden met de gastemperatuur bij het blootgestelde element om de nettowarmtestroomdichtheid[6] te berekenen. Deze gastemperatuur mag met behulp van zonemodellen worden berekend volgens de *NEN-EN 1991-1-2*.

In bijlage E van de *NEN-EN 1991-1-2* is een methode weergegeven voor de bepaling van de rekenwaarde van de vuurbelasting $q_{f,d}$ volgens het natuurlijk brandconcept. Daarin is rekening gehouden met de voorgeschreven karakteristieke waarden en risicofactoren.

Variabele vuurbelasting[7]

De variabele vuurbelasting is de vuurbelasting van het bouwwerk verminderd met de permanente vuurbelasting van het bouwwerk conform *NEN 6090*. De ontwerpwaarde van de variabele vuurbelasting kan als volgt worden bepaald:

$$q_{f,d} = q_{f,k} * m * \delta_r \qquad [7]$$

waarbij geldt:

$q_{f,k}$ is de karakteristieke waarde van de vuurbelasting (bepaald uit *NEN-EN 1991-1-2*, tabel NB.7 en NB.8);

m is de verbrandingsfactor (0,8 voor cellulose-achtige materialen);

δ_r is een correctiefactor voor het veiligheidsniveau van de nationale regelgeving (zie tabel NB. 5)

De rekenwaarde van de vuurbelasting $q_{f,d}$[8] is:

$$q_{f,r} = q_{f,d} * \delta_{qf} \qquad [8]$$

δ_{qf} is de risicofactor waarmee de karakteristieke vuurbelasting moet worden vermenigvuldigd om het activeringsniveau en het effect van actieve brandveiligheidsmaatregelen in rekening te brengen. Deze factor kan worden bepaald uit tabel NB.1 wanneer de vermenigvuldigingsfactor referentiekans p_{tot} bepaald is. De vermenigvuldigingsfactor referentiekans (p_{tot}) kan als volgt worden bepaald:

$$p_{tot} = p_1 * p_2 * \prod_i^n p_{ni} \qquad [9]$$

waarbij geldt:

p_1 is de vermenigvuldigingsfactor voor de activeringskans, afhankelijk van de vloeroppervlakte van het compartiment.

p_2 is de vermenigvuldigingsfactor voor de activeringskans, afhankelijk van de gebruiksfunctie van het compartiment.

p_{ni} zijn de vermenigvuldigingsfactoren waarmee de faalkansen van de actieve brandveiligheidsvoorzieningen in rekening worden gebracht.

Met deze factoren en bovenstaande formules kan de vuurbelasting behorend bij een natuurlijk brandverloop worden bepaald. Dit is alleen de variabele vuurbelasting. Hierbij moet de permanente vuurbelasting nog bij worden opgeteld wanneer er brandbare materialen aanwezig zijn in de begrenzingen van de brandruimte. De karakteristieke en gemiddelde waarden voor de vuurbelasting zijn ook voorgeschreven door de *NEN-EN 1991-1-2*.

Permanente vuurbelasting

De permanente vuurbelasting is de bijdrage aan de vuurbelasting van de brandbare materialen in de constructie-onderdelen, die zich binnen het bouwwerk bevinden dan wel het bouwwerk begrenzen volgens

[6] Energie, per eenheid van tijd en oppervlakte, geabsorbeerd door elementen volgens *NEN-EN 1991-1-2*.
[7] Voor de variabele vuurbelasting zijn waarden aangehouden zoals voorgeschreven door de *NEN-EN 1991-1-2*.
[8] In deze rekenwaarde zijn onzekerheden verdisconteerd door te vermenigvuldigen met de risicofactor δ_{gf}.

NEN 6090. Brandbare materialen zijn materialen die niet voldoen aan brandklasse A1, onbeschermd CLT voldoet aan brandklasse D.

De permanente vuurbelasting wordt niet meegenomen in deze berekening omdat verondersteld wordt dat de permanente vuurbelasting (de CLT constructie) niet zelfstandig verder brandt wanneer de variabele vuurbelasting verbrand is.

4.5.2 Mechanische belastingen

Belastingen waarvan het waarschijnlijk is dat ze optreden tijdens brand moeten in rekening zijn gebracht zoals tijdens het ontwerp en berekening bij normale temperatuur. Hiermee wordt een temperatuur van 20 °C bedoeld. Representatieve waarden van veranderlijke belastingen moeten zijn bepaald volgens de buitengewone belastingen bepaald volgens *NEN-EN 1990* (Eurocode 0). Hieruit volgen de onderstaande belastingcombinaties.

Uit de gevolgklasse 2 volgt de volgende belastingcombinatie gedurende gebruikscondities:
$1{,}20G_k + 1{,}50Q_{k;1} + \Sigma 1{,}50Q_k\psi_0$ volgens 6.10b

Uit de gevolgklasse 2 volgt de volgende belastingcombinatie gedurende brandcondities:
$1{,}10G_k + 1{,}0A_d + Q_{k;1}\psi_2 + \Sigma Q_k\psi_2$ volgens 6.11a/b

4.5.3 Toetsing draagkracht

De rekenwaarden van de sterkte [10] en stijfheid van het materiaal moeten zijn bepaald om de draagkracht te kunnen toetsen bij brand.

$$f_{d,fi} = k_{mod,fi}\frac{f_{20}}{\gamma_{M,fi}} \text{ en } S_{d,fi} = k_{mod,fi}\frac{S_{20}}{\gamma_{M,fi}} \qquad [10]$$

Waarin:

$f_{d,fi}$	is de rekenwaarde van de sterkte bij brand;
$S_{d,fi}$	is de rekenwaarde van de stijfheid (elasticiteitsmodulus $E_{d,fi}$ of afschuivingsmodulus $G_{d,fi}$) bij brand;
f_{20}	is de 20% fractielwaarde van de sterkte bij kamertemperatuur ($k_{fi} \cdot f_k$);
S_{20}	is de 20% fractielwaarde van de stijfheid (elasticiteitsmodulus E of afschuivingsmodulus G) bij kamertemperatuur ($k_{fi} \cdot S_{20}$);
$k_{mod,fi}$	is de modificatiefactor voor brand (is gelijk aan 1,0);
$\gamma_{M,fi}$	is de partiële veiligheidsfactor voor hout bij brand (is gelijk aan 1,0).

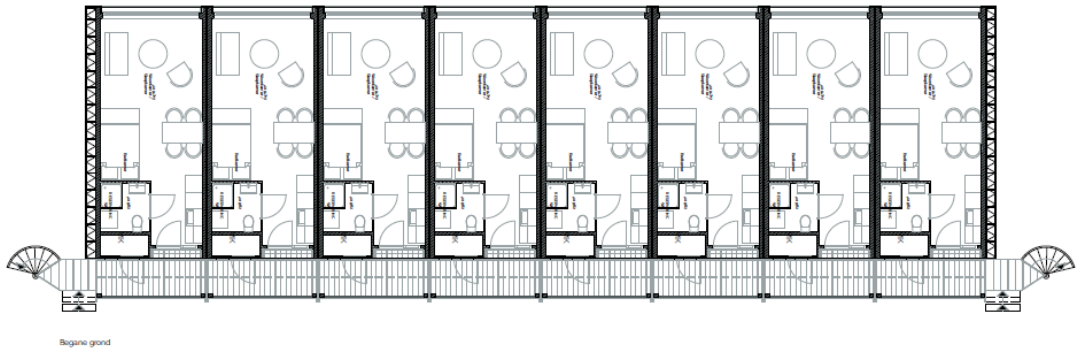
5 Simulatie-onderzoek: uitgangspunten en randvoorwaarden

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de casus met de uitgangspunten en randvoorwaarden voor het simulatie-onderzoek.

5.1 Casus

In dit afstudeeronderzoek wordt gebruik gemaakt van een casus. De casus wordt verstrekt door De Groot Vroomshoop en Finch Buildings B.V. te Amsterdam. Het ontwerp is eigendom van Finch Buildings en wordt in samenwerking met De Groot Vroomshoop gerealiseerd. Het gaat om gestapelde modulaire woningen, een plattegrond van de casus is weergegeven in Figuur 13 (zie ook Bijlage I-3). Er wordt uitgegaan van de volgende randvoorwaarden:

- alle woningen zijn gelijk;
- elke woning vormt een afzonderlijk brandcompartiment;
- de woningen zijn gestapeld over vier bouwlagen.



Figuur 13 Woningen casus

Omdat het verloop van een natuurlijke brand projectspecifiek is zullen uitkomsten van dit afstudeeronderzoek dit ook zijn. De verkregen uitkomsten zullen dan ook met enige nuance geïnterpreteerd moeten worden.

Constructieve opbouw

Wanden: CLT-C5s, d=100 mm.
Vloeren: CLT-L5s, d=120 mm.
Plafonds: CLT-L3s, d-80 mm.

5.2 Draagvermogen gebruikscondities

Om te kunnen onderzoeken wat de invloed van brandcondities op het draagvermogen van een wand is moet eerst het draagvermogen bij gebruikscondities worden vastgesteld. Daarom is een statische berekening opgesteld aan de hand van het literatuuronderzoek in hoofdstuk 3 *Verlijmd kruislaaghout en Eurocode 5*. De constructie voldoet ruimschoots, er is voldoende capaciteit aanwezig, dit is kort weergegeven in Tabel 8. De Unity Check (U.C.) is 0,35, dit betekent dat 35% van de capaciteit van de CLT constructie wordt benut. In bijlage I-4 is de statische berekening weergegeven van de CLT constructie.

Tabel 8 Resultaten statische berekening

N_{Ed} (kN)	$M_{y;Ed}$ (kNm)	U.C.
48,33	1,88	0,35

5.3 Parameters brandstof

Volgens de *NEN 6055* mag voor gebouwen met een woonfunctie worden aangenomen dat de aanwezige brandstoffen cellulosebrandstoffen zijn. Bij een woonfunctie mogen de volgende waarden, zoals weergegeven in Tabel 9 worden gehanteerd.

Tabel 9 Kenmerken cellulosebrandstoffen volgens *NEN 6055*

Gegeven	Waarde	[-]
Verbrandingswaarde (Hc)	17,5	[MJ/kg]
Variabele vuurbelasting ($q_{f,k}$) (gemiddeld)	780	[MJ/m²]
Variabele vuurbelasting ($q_{f,k}$) 80% fractiel	870	[MJ/m²]
Tijdconstante t_c (branduitbreidingssnelheid)	300	(s)
Vermogendsdichtheid (RHR)	250	[kW/m²]
Stoichiometrische coëfficiënt	1,27	[kg/kg]
Verbrandingsefficiëntie[9]	0,8	[-]

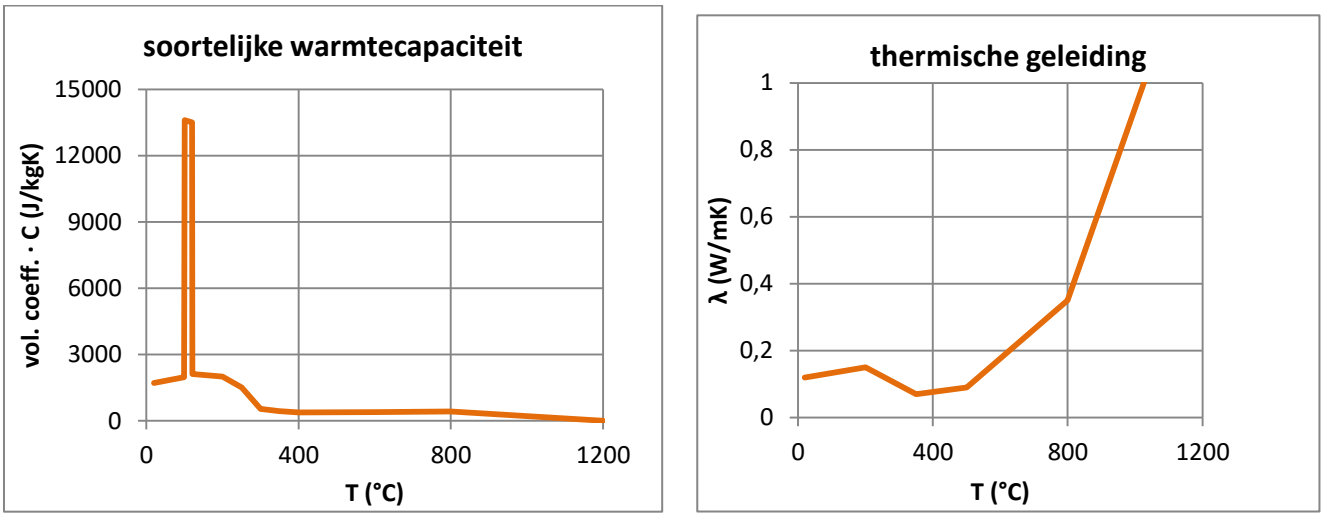
Een aandachtspunt is dat deze waarden kunnen verschillen van de werkelijke situatie. Waarden genoemd in de bovenstaande tabel zijn gebaseerd op de verbranding van de brandstof cellulose, waarbij alleen koolstofoxide (CO) en koolstofdioxide (CO_2) geproduceerd worden als restproducten. In werkelijkheid is het aannemelijk dat andere aanwezige brandstoffen ook een rol spelen in het verbrandingsproces waarbij ook andere verbrandingsproducten worden gevormd.

De soortelijke massa van naaldhout verandert bij verbranding, er ontstaat namelijk koolstof. De soortelijke massa kan in het thermodynamische computermodel Voltra niet temperatuurafhankelijk worden beschouwd. Dit is in het simulatiepakket Voltra gecorrigeerd in de volumieke massacoëfficiënt. De volumieke massacoëfficiënt is de verhouding van de soortelijke massa van naaldhout, afhankelijk van de temperatuur. De volumieke massacoëfficiënt geeft het verlies van massa weer gedurende de verbranding. Het verlies van massa bij verbranding kan worden beschouwd door de volumieke massacoëfficiënt te vermenigvuldigen met de soortelijke warmte van naaldhout, zoals weergegeven in Tabel 10 en Figuur 14. De thermische geleiding van naaldhout is temperatuurafhankelijk, het verloop hiervan is weergegeven in Figuur 14. De waarden van de volumieke massacoëfficiënt en de soortelijke warmte zijn voorgeschreven in bijlage B Geavanceerde berekeningsmethoden in *NEN-EN 1995-1-2*.

[9] Verbrandingsefficiëntie wordt voorgeschreven door *Fysisch brandmodel* (Herpen R. v., 2007).

Tabel 10 Gegevens soortelijke warmtecapaciteit naaldhout behorend bij Figuur 14

T (°C)	c	Volumieke massacoëffciënt	Volumieke massacoëffciënt · c
20	1530	1,12[10]	1714
99	1770	1,12	1982
101	13600	1	13600
120	13500	1	13500
121	2120	1	2120
200	2000	1	2000
250	1620	0,93	1507
300	710	0,76	540
350	850	0,52	442
400	1000	0,38	380
600	1400	0,28	392
800	1650	0,26	429
1200	1650	0	0



Figuur 14 Soortelijke warmte en thermische geleiding naaldhout

5.4 Simulatie

Om de temperatuurontwikkeling in een ruimte te bepalen, wordt in dit afstudeeronderzoek gebruik gemaakt van het natuurlijk brandconcept volgens *NEN 6055*. Dit houdt in dat de temperatuurontwikkeling niet wordt voorgeschreven door de standaard brandkromme, maar projectspecifiek wordt bepaald door brandstofkenmerken en gebouwkenmerken.

Met het zonemodel Ozone kan het brandvermogensscenario in de brandruimte gesimuleerd worden. Hieruit kan de temperatuurontwikkeling in de brandruimte en de thermische belasting op de draagconstructie worden bepaald. De resultaten in Ozone zijn allemaal gebaseerd op het natuurlijk brandconcept, dit kan worden vertaald naar de standaard brandkromme door de equivalente brandduur (voor nadere toelichting hierop zie Bijlage I-2) te bepalen.

Om de temperatuurontwikkeling in een constructieonderdeel te bepalen, wordt in dit afstudeeronderzoek gebruik gemaakt van bijlage B Geavanceerde berekeningsmethoden uit *NEN-EN 1995-1-2*, dit wordt toegepast in het thermodynamische computermodel Voltra. Deze berekeningsmodellen mogen worden toegepast voor

[10] Naaldhout heeft gemiddeld een vochtgehalte van 12% volgens *NEN-EN 1995-1-2*.

het bepalen van de inbranddiepte, de ontwikkeling en de verdeling van de temperatuur in constructieonderdelen en het beoordelen van het constructieve gedrag van constructieonderdelen. Het constructieonderdeel wordt blootgesteld aan de standaard brandkromme om te bepalen wat het temperatuurverloop is in de CLT constructie. Doordat de verkregen resultaten uit de simulaties met Ozone zijn vertaald naar een equivalente brandduur is het mogelijk om resultaten te vergelijken.

5.4.1 Stochastische randcondities Ozone

De volgende onzekerheden (stochasten) kunnen worden meegenomen in dit onderzoek. De waarden uit deze tabel zijn afkomstig uit het rapport *Risicogebaseerde brandveiligheid van draagconstructies* (van Herpen, Hamerlinck, van de Leur, Scholten, & Vrouwenvelder, 2014) en *Thermische belasting door brand op scheidingsconstructies* (Quaas, 2017). In Tabel 11 hieronder zijn de onzekerheden weergegeven. Er wordt uitgegaan van gemiddelde waarden, behorend bij het natuurlijk brandconcept. Deze gemiddelde waarden kunnen wel eens afwijken, waardoor er een variatie ontstaat. Binnen dit bereik kan de waarde dus fluctueren. In dit afstudeeronderzoek wordt uitgegaan van een standaard afwijking (SD = VAR · AVG), dit levert een minimum en een maximum op. De invloed van deze onzekerheden kan inzichtelijk worden gemaakt door een natuurlijke brand te simuleren met Ozone.

Tabel 11 Stochastische randcondities Ozone

X	Omschrijving	Eenheid	Gemiddelde (AVG)	Variatie (VAR)	Standaardafwijking (SD)
$q_{(f,k)}$	Vuurbelasting	[MJ/m²]	780	0,25	195
RHR	Vermogensdichtheid	[kW/m²]	250	0,25	62,5
t_c	Tijdconstante	[s]	300	0,25	75
$A_{open}/A_{daglicht}$	Openingsfactor daglichtoppervlakte	[-]	0,75	0,15	0,113
r	Stoichiometrische coëfficiënt	[kg/kg]	1,27	0,30	1,65
Hc	Verbrandingswaarde	[MJ/kg]	17,5	0,30	22,75
eff	Verbrandings-efficiëntie	%	0,8	0,25	1,00

De waarden uit Tabel 11 leiden tot een aantal analyses in Ozone. In Tabel 12 hieronder is weergegeven welke invoergegevens per analyse zijn ingevoerd. In de eerste analyse zijn gemiddelde randcondities ingevoerd. Daarna wijkt per analyse één parameter af van het gemiddelde om te kunnen bekijken wat de invloed van elke afzonderlijke parameter is op de temperatuurontwikkeling van de brand. Er is alleen gevarieerd in de richting die een negatieve invloed heeft op de temperatuurontwikkeling in de brandruimte.

Tabel 12 Invoergegevens analyses Ozone

Analyse	Omschrijving	$q_{f,k}$ (MJ/m²)	RHR (kW/m²)	t_c (s)	A_{open}/ $A_{daglicht}$	r (kg/kg)	Hc (MJ/kg)	eff (%)
1	Gemiddelde randcondities	780	250	300	0,75	1,27	17,5	0,8
2	Variatie vuurbelasting	***975***[11]	250	300	0,75	1,27	17,5	0,8
3	Variatie vermogensdichtheid	780	***312,5***	300	0,75	1,27	17,5	0,8
4	Variatie tijdconstante	780	250	***375***	0,75	1,27	17,5	0,8
5	Variatie openingsfactor	780	250	300	***0,113***	1,27	17,5	0,8
6	Variatie stoichiometrische coëfficiënt	780	250	300	0,75	***1,65***	17,5	0,8
7	Variatie verbrandingswaarde	780	250	300	0,75	1,27	***22,75***	0,8
8	Variatie verbrandingsefficiëntie	780	250	300	0,75	1,27	17,5	***1,00***

Projectspecifieke kenmerken zoals de gebruiksoppervlakte van het brandcompartiment, de thermische accumulatie, de thermische isolatie van de begrenzingen van het brandcompartiment en de daglichtoppervlakte zijn niet meegenomen als onzekerheden, omdat deze per project verschillen. Deze waarden variëren binnen dit afstudeeronderzoek dus niet.

5.4.2 Stochastische randcondities Voltra

De eigenschappen van hout veranderen naarmate de temperatuur zal stijgen, de *NEN-EN 1995-1-2* voorziet daarin in bijlage B Geavanceerde berekeningsmethoden. Dit zijn schijnbare waarden, geen gemeten waarden. Het werkelijke verloop van de volumieke massacoëfficiënt, de soortelijke warmte en de thermische geleiding zou dus kunnen afwijken van de voorgeschreven waarden. Hieruit zijn de volgende stochastische randcondities bepaald. De variatie in

Tabel 13 is een schatting van de bandbreedte op basis van gevonden afwijkende waarden, deze zullen verderop in deze paragraaf worden toegelicht. Er is gevarieerd in de richting die een negatieve invloed heeft op de temperatuurontwikkeling in het materiaal.

[11] Deze waarde is conservatief, de karakteristieke waarde van de vuurbelasting conform NEN-EN 1995-1-2 bedraagt namelijk 870 MJ/m² (80% fractiel waarde)

Tabel 13 Stochastische randcondities Voltra naaldhout, gegevens afkomstig uit *Technisches Datenblatt* (zie Bijlage I-1) (Bouwfysica, 2016)

X	Omschrijving	Eenheid	Gemiddelde (AVG)	Variatie (VAR)	Standaardafwijking (SD)
T_{lijm}[12]	Temperatuur-bestendigheid	[°C]	150-500	-	-
$\rho_{naaldhout}$[13]	Soortelijke massa naaldhout	[kg/m³]	580	0,21	120
Volumieke massa coëfficiënt[14]	Volumieke massa coëfficiënt op T = 20 °C	[-]	1,12	0,017[15]	0,02
$c_{naaldhout}$[16]	Soortelijke warmte hout op T=20 °C	[J/kgK]	1530	0,25	382,5
$\lambda_{naaldhout}$[2]	Thermische geleiding hout op T=20 °C	[W/mK]	0,12	0,5	0,06

De temperatuurbestendigheid van de polyurethaanlijm is aangenomen op 150 °C, het document *Technisches Datenblatt* (zie Bijlage I-1) geeft aan dat vanaf deze temperatuur de lijm mogelijk kan bezwijken. Dit is conservatief, de lijm is niet bestand tegen hogere temperaturen, maar dat wil niet zeggen dat de lijm daadwerkelijk bezwijkt. Een bezwijktemperatuur van 150 °C levert een onwaarschijnlijk hoge inbrandsnelheid en inbranddiepte op vergeleken met resultaten van brandtesten uit het onderzoek *Experimental analysis of cross-laminated timber* (Frangi, Fontana, Hugi, & Jöbstl, 2009). Vanaf 300 °C kan hout ontbranden, het is waarschijnlijk dat de lijm niet eerder dan dat moment bezwijkt. In het onderzoek *Self-extinguishment off cross-laminated timber* (Crielaard, 2015) wordt geconstateerd dat delaminering plaatsvindt op het moment dat de 300 °C isotherm de lijmlaag overschrijdt. De eigenschappen van de polyurethaanlijm zullen veranderen vanaf 150 °C, maar de lijm zal pas bij een hogere temperatuur bezwijken. Het moment van bezwijken van polyurethaanlijm is afhankelijk van de mate van verkoling en de verbindingsefficiëntiefactor γ (beschreven in paragraaf 3.4.2 *Mechanisch verbonden liggers)*. Als hout verkoold en de sterkte eigenschappen afnemen hoeven namelijk minder krachten te worden overgedragen door de lijm, het verkoolde hout heeft geen constructieve waarde meer.

Bij een (gas)temperatuur van 500 °C is er voldoende straling aanwezig om celluloseachtig matieraal (hout) spontaan te laten ontbranden volgens de *NEN 6055*. Het is aannemelijk dat op dat moment de lijm zal ontbranden en in elk geval als bezweken kan worden beschouwd.

Op basis van het bovenstaande zal de bezwijktemperatuur van de lijm liggen tussen 300 °C en 500 °C. Een hogere bezwijktemperatuur is gunstig omdat het moment van delamineren daarmee uitgesteld wordt. De eerste lamel behoudt op die manier zo lang mogelijk een isolerende werking. Dit zal een gunstig effect hebben op de uiteindelijke inbranddiepte bij brand.

[12] Het betreft hier geen gemiddelde of standaard deviatie, maar een aanname. Een standaard deviatie kan niet worden gevonden bij gebrek aan kennis over het thermisch gedrag van polyurethaanlijm.
[13] Voor de soortelijke massa is een gemiddelde van 580 kg/m^3 met een standaard deviatie van 120 kg/m³ voor naaldhout aangenomen, waarden zijn afkomstig uit Tabel 3. Verschillende soorten naaldhout zouden kunnen worden toegepast voor CLT houtconstructies. De soortelijke warmte en thermische geleiding zijn gebaseerd op waarden voor naaldhout, niet specifiek voor vuren. In Ozone is wel een soortelijke massa specifiek voor vuren aangehouden, een verandering in soortelijke massa heeft geen invloed op de equivalente brandduur en heeft minimale invloed op de temperatuurontwikkeling in de brandruimte.
[14] De verhouding van de volumieke massa van naaldhout.
[15] Bepaald aan de hand van een maximaal vochtgehalte van 14%, deze variatie is over het gehele verloop met de temperatuur van de volumieke massacoëfficiënt van naaldhout gerekend.
[16] De standaardafwijking is weergegeven bij een temperatuur van 20 °C, de variatie is toegepast over het gehele verloop van de soortelijke warmte en thermische geleiding.

Voor de lijm is de bezwijktemperatuur daardoor een belangrijke stochastische randconditie. Verder zijn er geen stochastische randcondities aangehouden voor de lijm, omdat de lijmlaag vrijwel massaloos is. Het effect van een verandering van de thermische eigenschappen is daarom verwaarloosbaar.

De eigenschappen van het hout hebben daarentegen wel een grote invloed op het temperatuurverloop in de constructie, daarom wordt gevarieerd met de thermische eigenschappen en de soortelijke massa van het hout. De gemiddelde waarde voor de soortelijke massa van hout is gebaseerd op de waarden in Tabel 3, met een standaard deviatie van 120 kg/m³. Het verloop van de thermische geleiding en de soortelijke warmte, uitgezet tegen de temperatuur, is aangehouden zoals voorgeschreven door bijlage B Geavanceerde berekeningsmethoden van *NEN-EN 1995-1-2*.

De soortelijke warmte, de soortelijke massa, en de thermische geleiding hebben allemaal invloed op de temperatuurvereffeningscoëfficiënt van het materiaal [4]. De waarden voor de variaties op soortelijke warmte en thermische geleiding in Tabel 13 zijn afkomstig uit tabellenbijlage (Bouwfysica, 2016). De soortelijke massa van naaldhout is niet temperatuurafhankelijk meegenomen in de simulaties, omdat dit niet mogelijk is in Voltra. Het verlies van massa wordt meegenomen in de volumieke massacoëfficiënt, toegelicht in paragraaf 5.3 *Parameters brandstof.*

De volumieke massacoëfficiënt zou kunnen variëren, dit wordt ook meegenomen als onzekerheid. Hout kan namelijk meer vocht kunnen bevatten dan het gemiddelde eindvochtgehalte. Hout kan maximaal 18% vocht bevatten bij een relatieve luchtvochtigheid van 95% (Bouwfysica, 2016). Dit is een maximale waarde die in een woning nooit bereikt zal worden, bij een relatieve luchtvochtigheid van 70% kan een evenwichts-vochtgehalte van 14% worden bereikt. Een relatieve luchtvochtigheid van 70% kan op warme zomerdagen voorkomen (joostdevree.nl). Wanneer het vochtgehalte wordt verhoogd zullen temperaturen minder snel stijgen omdat het langer duurt voordat de kooktemperatuur van water bereikt wordt en het hout opwarmt (zie het temperatuurverloop in Figuur 14).

Tabel 14 Invoergegevens analyses Voltra

Analyse	Omschrijving	T_{lijm} (°C)	ρ_{hout} (kg/m³)	Volumieke massa coëfficiënt	C_{hout} (T=20°C) (J/kgK)	λ_{hout} (T=20°C) (W/mK)
1	Gemiddelde randcondities	500	580	1,12	1530	0,12
2	Variatie soortelijke massa naaldhout	500	***460***	1,12	1530	0,12
3	Variatie volumieke massacoëfficiënt	500	580	***1,14***	1530	0,12
4	Variatie soortelijke warmte	500	580	1,12	***1147,5***	0,12
5	Variatie thermische geleiding	500	580	1,12	1530	***0,18***
6	Variatie temperatuur-bestendigheid lijmlaag	***300***	580	1,12	1530	0,12

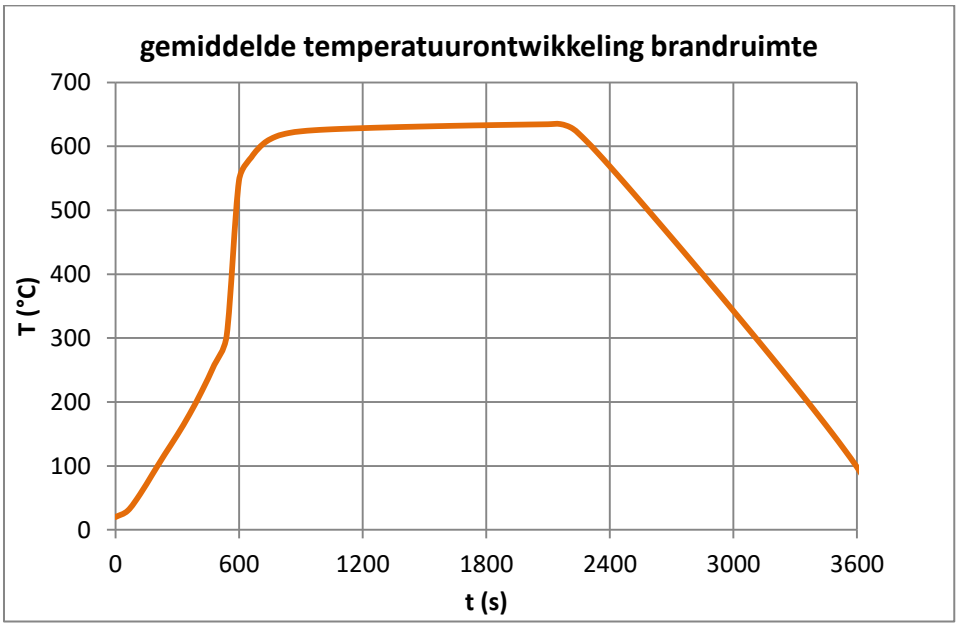
6 Simulatie-onderzoek: rekenresultaten

In dit hoofdstuk wordt ingegaan op de resultaten van het simulatie-onderzoek en worden deze samengevat. Uit deze resultaten is de equivalente brandduur bepaald. Vervolgens is een probabilistische benadering gemaakt om de toelaatbare faalkans en betrouwbaarheid van CLT 100 C5s bepalen. De resultaten zijn weergegeven in Bijlage I-5 tot en met Bijlage I-8.

De rekenresultaten uit Voltra worden in dit hoofdstuk ook besproken. In Voltra is het mogelijk om de temperatuurontwikkeling in de doorsnede van CLT 100 C5s te bepalen bij blootstelling aan brand. De resultaten hiervan worden in deze paragraaf besproken. In Bijlage I-8 zijn de resultaten te vinden.

6.1 Temperatuurontwikkeling brandruimte

Waar in paragraaf 4.2.2 *Verbrandingsmodellen* vastgesteld is dat een ventilatie-beheerste brand vaak het meest realistische scenario is bij een woonfunctie, laat de casus zien dat in dit geval de brand brandstof-beheerst is. De brand is brandstof-beheerst omdat het gebruiksoppervlak erg klein is vergeleken met de aanwezige openingen. In Ozone kan niet worden gekozen voor een brandstof-beheerst verbrandingsmodel, vandaar dat het verbrandingsmodel extended fire duration is aangehouden.



Figuur 15 Temperatuurontwikkeling ten gevolge van een natuurlijke brand onder gemiddelde randcondities

In Figuur 15 is de temperatuurontwikkeling weergegeven voor de temperatuurontwikkeling bij gemiddelde randcondities. De temperatuur stijgt in dit scenario tot 635 °C. De andere variaties zijn weergegeven in Bijlage I-5. De variatie op de vermogensdichtheid heeft de grootste invloed. De temperatuur stijgt tot 772 °C en neemt vervolgens vrij snel af. De energie die vrijkomt in de brandruimte is groter, dit resulteert in hogere temperaturen. De snelle afname kan worden verklaard doordat de pyrolysemassastroom vermoedelijk hoger is bij een grotere vermogensdichtheid, de verbranding zal sneller verlopen waardoor de brand eerder uitdooft.

De variatie op de openingsfactor resulteert eveneens in een hoge temperatuur, maar deze ligt lager dan de variatie op de vermogensdichtheid. De openingsfactor wordt hierbij verkleind, waardoor de openingen ook kleiner worden. In dit geval kan er minder warmte wegstromen via de openingen, waardoor hogere temperaturen bereikt kunnen worden. De maximale temperatuur bedraagt in dit geval 732 °C.

De variatie op de variabele vuurbelasting resulteert in nagenoeg dezelfde maximale temperatuur als het gemiddelde, namelijk 637 °C. Het verschil is dat de temperatuur later afneemt, de brandduur is dus groter.

6.2 Equivalente brandduur

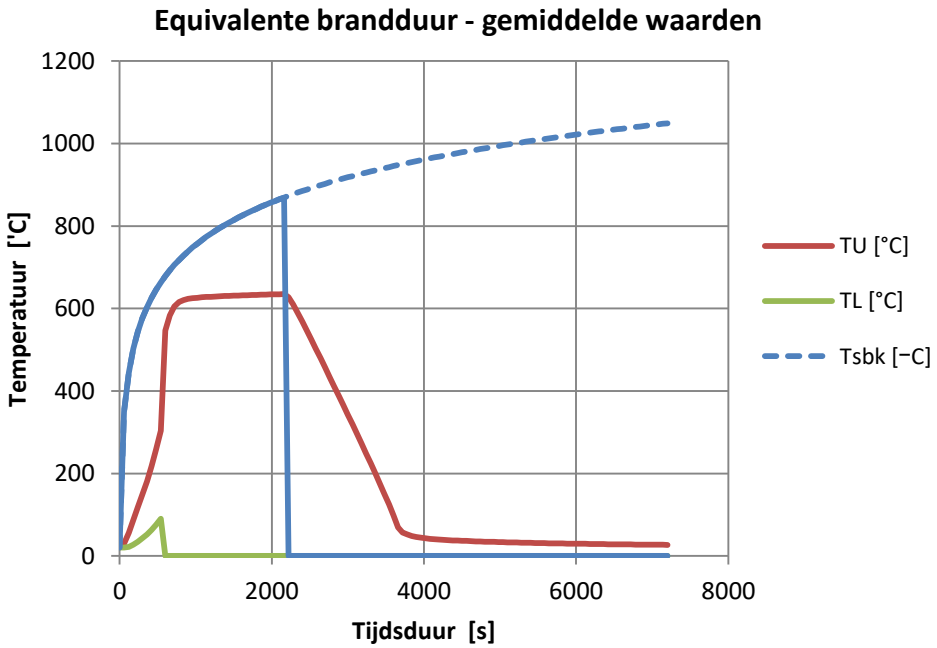
De equivalente brandduur is de hoeveelheid energie die volgens de standaard brandkromme wordt opgelegd aan een constructie. De equivalente brandduur wordt bepaald om een vertaalslag te kunnen maken naar de eisen zoals ze gesteld worden in het *Bouwbesluit 2012*. Dat kan door de gecumuleerde energie van de natuurlijke brand in het compartiment gelijk te stellen aan de gecumuleerde energie volgens de standaard brandkromme. Op deze manier is een brand volgens de standaard brandkromme goed te vergelijken met een natuurlijke brand.

Voor alle analyses uit paragraaf 6.1 *Temperatuurontwikkeling brandruimte* is de equivalente brandduur bepaald. Deze waarden zijn in Tabel 15 weergegeven. Uit de tabel en de grafiek blijkt dat het maximale temperatuurverloop niet leidt tot een langere (equivalente) brandduur. De variaties waarbij de temperatuur lager bleef, maar waarbij de temperatuur later afnam resulteren in een hogere equivalente brandduur. De constructie zal dus gedurende een langere tijd blootgesteld worden aan de standaard brandkromme.

Tabel 15 Resultaten equivalente brandduur

	Gemiddelde randcondities	$q_{f,k}$ (MJ/m²)	RHR (kW/m²)	t_c (s)	$A_{open}/A_{daglicht}$	r (kg/kg)	Hc (MJ/kg)	eff (%)
Equivalente brandduur [min]	36	44	36	36	41	36	37	44
T_{max} [°C]	635	637	772	636	732	636	641	642

In Figuur 16 is de equivalente brandduur weergegeven bij gemiddelde randcondities. De variaties op de vuurbelasting en de vermogensdichtheid resulteren in de grootste equivalente brandduur (zie Tabel 15). De variatie op de openingsfactor leidt tot zowel een hoge temperatuur als een langere brandduur. Dit komt doordat de openingen kleiner zijn, de warmte kan minder snel worden afgevoerd en blijft dus langer in de brandruimte aanwezig.



Figuur 16 Equivalente brandduur van de natuurlijk brand onder gemiddelde randcondities

De variatie op de variabele vuurbelasting zorgt ervoor dat de brand langer duurt doordat er meer brandstof aanwezig is per vierkante meter. Het zal dan dus langer duren voordat alle brandstof is verbrand. De variatie op de verbrandingsefficiëntie resulteert in nagenoeg hetzelfde verloop en bijna dezelfde brandduur. Hoe

efficiënter de verbranding is, hoe minder brandbare restproducten (brandbare gassen) ontstaan bij de pyrolyse van de brandstof. In theorie ontstaan bij een volledige verbranding alleen water en koolstofdioxide, in praktijk zullen er altijd ook andere restproducten ontstaan. Hierdoor zal bij een hogere verbrandingsefficiëntie de equivalente verbranding langer duren.

De variatie op de stoichiometrische coëfficiënt resulteert in een iets langere brandduur vergeleken met de gemiddelde brandduur. De stoichiometrische coëfficiënt zegt iets over de massaverhouding van de aanwezige hoeveelheid zuurstof en de aanwezige hoeveelheid brandstof. Hoe hoger deze coëfficiënt, des te minder zuurstof er aanwezig is tijdens de verbranding. De invloed van de variatie op deze coëfficiënt op de equivalente brandduur is erg klein. Dit is te verklaren doordat de brand brandstof beheerst is, er is voldoende zuurstof aanwezig.

De equivalente brandduur bij gemiddelde randcondities is dus 36 minuten standaard brandkromme (SBK). Bij afwijkende randcondities wordt een extreme waarde van 44 minuten SBK gevonden. Dit is een groot verschil met de eisen gesteld in het *Bouwbesluit 2012* waarin een weerstand van 90 minuten SBK vereist is. De equivalente brandduur voor alle uitgevoerde variaties is weergegeven in Bijlage I-6.

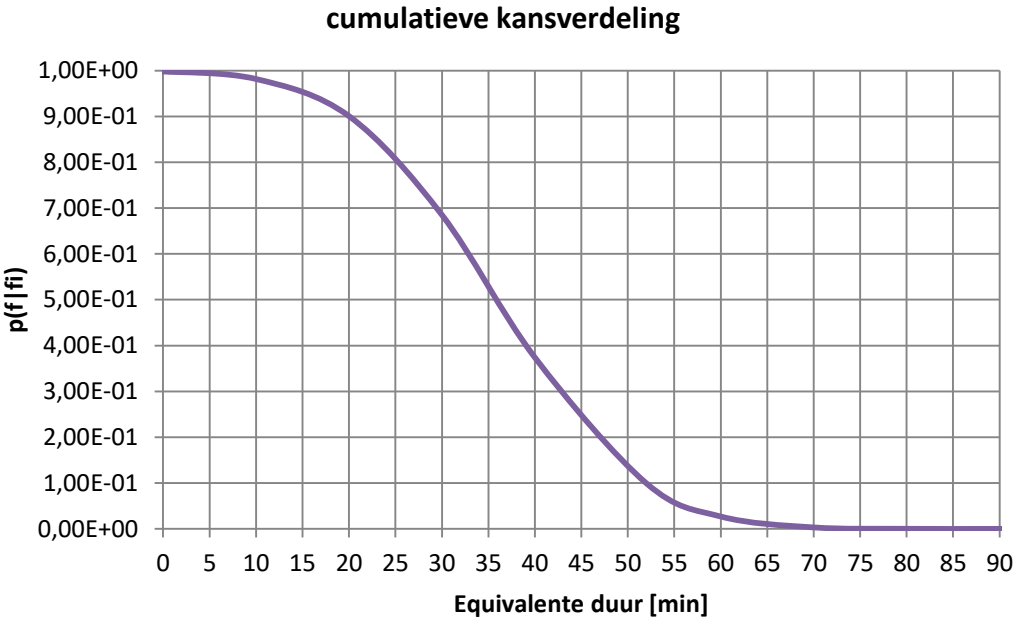
6.3 Probabilistische benadering thermische belasting

Met een gevoeligheidsanalyse kan de betrouwbaarheid van de thermische belasting op de verticaal dragende CLT constructie (CLT 100 C5s) worden bepaald (zie Bijlage I-7). Daarbij worden de onzekere randcondities (stochasten) die in de bepaling van de thermische belasting een rol spelen gevarieerd met hun (ingeschatte) standaardafwijking. Hoewel de kansverdelingen van de stochasten niet bekend zijn, kan worden gesteld dat op basis van de centrale limietstelling de kans van de thermische belasting normaal verdeeld is. De thermische belasting wordt daarbij uitgedrukt in een equivalente brandduur volgens de standaard brandkromme, zoals besproken in paragraaf 6.2 *Equivalente brandduur*.

In de gevoeligheidsanalyse wordt voor elke stochast afzonderlijk de invloed van variatie met de standaardafwijking op de equivalente brandduur vastgesteld. Daaruit wordt de specifieke variantie (ten gevolge van de specifieke stochast) in de equivalente brandduur bepaald. De som van alle specifieke varianties is de variantie ten gevolge van alle onzekerheden samen in de equivalente brandduur. De standaard afwijking in de equivalente brandduur is de wortel van de variantie. In dit geval bedraagt de standaardafwijking 12,41 minuten. Met deze standaardafwijking kan de betrouwbaarheid van een thermische belasting in minuten standaard brandkromme worden bepaald, zie Tabel 16. De betrouwbaarheid is het omgekeerde van een toelaatbare faalkans. De faalkans p(f|fi) van de thermische belasting in minuten standaard brandkromme (dit is de kans dat de thermische belasting groter is dan de gehanteerde equivalente brandduur) is weergegeven in Figuur 17.

Tabel 16 Normale cumulatieve kansverdeling: AVG = 36 minuten en SD = 12,4 minuten

t [min] (SBK)	β(f|fi)	p(f|fi)
0	2.901	9.98E-01
10	2.095	9.82E-01
20	1.289	9.01E-01
30	0.483	6.85E-01
40	-0.322	3.74E-01
50	-1.128	1.30E-01
60	-1.934	2.69E-02
70	-2.740	3.16E-03
80	-3.546	2.05E+04
90	-4.351	7.21E+07



Figuur 17 Cumulatieve kansverdeling[17]

De x-as in Figuur 17 laat de equivalente brandduur zien, op de y-as is de faalkans van de thermische belasting uitgezet. Na 36 minuten zou de faalkans 50% moeten zijn, in de figuur is te zien dat dit klopt. In het algemeen kan worden gesteld dat als de betrouwbaarheid van de constructie groot is, dan is de kans dat de thermische belasting groter is dan gehanteerde equivalente brandduur groot. De spreiding in de grafiek is erg groot, dit betekent dat de randcondities niet controleerbaar zijn bij een calamiteit als brand. Dit laat zien dat een deterministische benadering, die de Eurocode en het *Bouwbesluit 2012* hanteren, niet afdoende is. De onzekerheden in de randcondities zijn hiervoor te groot.

Het *Bouwbesluit 2012* stelt een brandwerendheidseis van 90 minuten waarbinnen de CLT constructie uit de casus niet mag bezwijken. Bij een equivalente brandduur van 90 minuten SBK is te zien dat de kans dat de thermische belasting overschreden wordt toelaatbare 0% is. Dit betekent dat de bijbehorende betrouwbaarheid erg klein is, af te lezen in Tabel 16. Hieruit kan worden geconcludeerd dat een groot risico aanwezig is met betrekking tot bezwijken van deze constructie bij brandcondities.

Deze faalkansen worden berekend volgens een normale verdeling indien alle stochasten even zwaar wegen. In de resultaten in Bijlage I-7 komt naar voren dat niet alle stochasten even zwaar wegen, dit beïnvloedt de normale verdeling. In deze vereenvoudigde benadering wordt hier geen rekening mee gehouden. Uit de probabilistische benadering blijkt dat vuurbelasting en de verbrandingsefficiëntie de grootste invloed hebben op de optredende thermische belasting in minuten standaard brandkromme, zie hiervoor Bijlage I-7.

Om de werkelijke kans op bezwijken van de constructie vast te stellen dient een statische berekening te worden gemaakt van de gereduceerde doorsnede na brand bij bepaalde toelaatbare faalkansen. De gereduceerde doorsnede wordt bepaald op de volgende tijdstippen, weergegeven in Tabel 17.

Tabel 17 Overzicht faalkansen van de thermische belasting bij t(min)

t [min]	36	44,5	90
$p_{(f/fi)}$	50%	25%	0%

[17] vastlegging van de verdeling van stochastische variabelen.

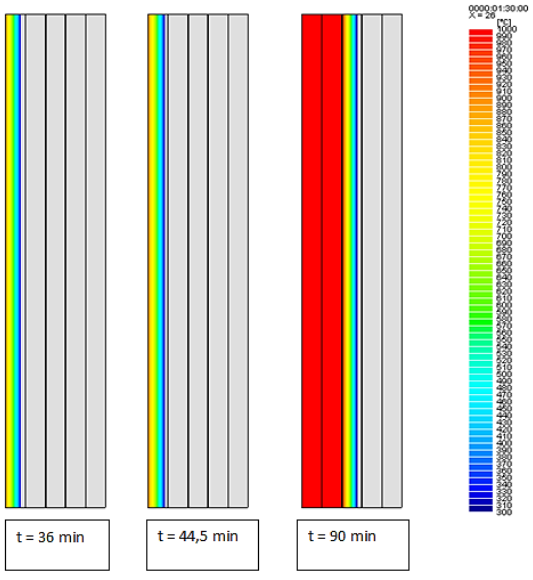
6.4 Probabilistische benadering thermische respons

In bijlage I-8 zijn de resultaten weergegeven van de gemaakte simulaties. In Tabel 18 zijn de resultaten weergegeven van het bezwijkpunt van de lijm en het hout van de eerste lamel uit de CLT constructie voor het vastgestelde gemiddelde uit paragraaf 5.4.2 *Stochastische randcondities* en de variaties. Uit Tabel 18 kan worden geconcludeerd dat de temperatuurbestendigheid van de polyurethaanlijm en de variatie op de soortelijke massa van hout een grote invloed heeft op het tijdstip van bezwijken van de 1e lamel.

Tabel 18 Tijdstip van bezwijken van de 1e lamel van de CLT constructie

X	$T_{bezwijken\ lijm}$ (°C)	$t_{bezwijken\ lijm}$ (min)	$T_{gem\ bezwijken\ hout}$ (°C)	(min)
Analyse 1 - gemiddelde	500	59	709	59
Analyse 2 – variatie soortelijke massa	500	51	699	51
Analyse 3 – variatie volumieke massacoëfficiënt	500	59	709	59
Analyse 4 – variatie soortelijke warmte	500	66	718	66
Analyse 5 – variatie thermische geleiding	500	53	700	53
Analyse 6 – variatie temperatuurbestendigheid lijmlaag	300	54	603	54

In Tabel 20 zijn de gemeten inbrandsnelheden weergegeven per lamel van CLT 100 C5s aan de linkerkant van de tabel. Rechts is de gemeten inbrandsnelheid en inbranddiepte weergegeven op bepaalde tijdstippen. De tijdstippen 36 en 46,5 minuten zijn afkomstig van de bepaalde equivalente brandduur en probabilistische benadering uit paragraaf 6.2 *Equivalente brandduur* en paragraaf 6.3 *Probabilistische benadering thermische belasting*. Het tijdstip 90 minuten is de brandwerendheidseis met betrekking tot bezwijken volgens *Bouwbesluit 2012*. De positie van de grens van koollaag is vastgesteld op de 300°C isotherm conform *NEN-EN 1991-1-2*. In Figuur 18 is het temperatuurverloop op de aangegeven tijdstippen weergegeven voor analyse 1. Op de afbeeldingen is de positie van de 300°C isotherm (de grens van de koollaag) weergegeven, de temperaturen in het grijze gedeelte zijn lager dan 300°C.



Figuur 18 Temperatuurverloop CLT 100 C5s behorend bij analyse 1

De variaties op de soortelijke massa van het hout (analyse 2) en de thermische geleiding (analyse 5) hebben de grootste invloed op de inbranddiepte d_{char} van de CLT constructie. Dit komt doordat deze factoren allebei invloed hebben op de temperatuurvereffeningscoëfficiënt [4]. De variatie op de soortelijke warmte (analyse 4)

heeft ook invloed op de temperatuurvereffeningscoëfficiënt, maar deze invloed is minimaal. Het effect op de inbrandsnelheid en de inbranddiepte is daarom minimaal. Het tijdstip van bezwijken van de polyurethaanlijm vindt wel later plaats. De variatie op de volumieke massacoëfficiënt (analyse 3) heeft nauwelijks invloed.

Bij analyse 6 is getracht om de inbrandsnelheden te bepalen tot op het moment dat de resultaten nog betrouwbaar zijn. Het is namelijk gebleken dat het simulatiepakket Voltra moeite heeft om het temperatuurverloop te bepalen bij lagere bezwijktemperaturen van de lijmlaag, omdat het simulatieproces dan niet stabiel convergeert. Het is niet vast te stellen wat de uiteindelijke inbranddiepte na 90 minuten is.

Daarom is analyse 6a opgesteld, waarbij de inbrandsnelheden handmatig bepaald zijn. De bezwijktemperatuur van de lijmlaag ligt nog steeds op 300 °C. Dit resulteert in een hogere inbrandsnelheid, dat klopt met de verwachting dat de inbrandsnelheid bij een lagere bezwijktemperatuur toeneemt. Wat opvalt is dat de uiteindelijke inbrandsnelheid niet zo sterk toeneemt als verwacht. Deze resultaten zouden gecontroleerd moeten worden door brandproeven te doen.

Verder valt op dat de gemeten inbrandsnelheid β_0 voor de eerste lamel lager ligt dan de opgegeven schijnbare inbrandsnelheid β_n bij alle analyses. Ook nadat de eerste lamel is bezweken blijft de gemeten inbrandsnelheid β_0 lager dan de opgegeven schijnbare inbrandsnelheid β_n uit Tabel 7. In het algemeen kan worden geconstateerd dat de inbrandsnelheid $\beta_{0element}$ en β_{0lamel} gedurende de brandduur blijft toenemen als gevolg van delaminering. Hoe meer lamellen bezwijken, des te hoger de gemeten inbrandsnelheid. De inbrandsnelheid per lamel β_{0lamel} neemt sneller toe dan de inbrandsnelheid per element $\beta_{0element}$. Dit is in overeenstemming met de conclusies uit *Experimental analysis of cross-laminated timber panels in fire* (Frangi, Fontana, Hugi, & Jöbstl, 2009).

De verwachting, zoals beschreven in paragraaf 4.4.2 *Inbrandsnelheid*, dat hoe later delaminering optreedt, hoe groter de versnelling van de inbrandsnelheid β_{0lamel} is helaas niet terug te zien in de verkregen resultaten. Dit zal moeten worden gecontroleerd middels een brandproef.

De gemeten inbrandsnelheid zorgt voor een lagere inbranddiepte dan de berekende inbranddiepten bij een thermische belasting van 36 en 46,5 minuten SBK volgens *NEN-EN 1995-1-2* en Tabel 7. Op het tijdstip 90 minuten ligt de inbranddiepte in de meeste gevallen lager dan de berekende inbranddiepte uit Tabel 19, behalve voor de variatie op de soortelijke massa van naaldhout (analyse 2) en de variatie op de thermische geleiding van naaldhout. De verwachting is dat een lagere bezwijktemperatuur van de polyurethaanlijm hogere inbranddiepten tot gevolg heeft. Het is in dit specifieke geval dus conservatief om met de berekende inbranddiepte te rekenen uit Tabel 19.

Tabel 19 Berekende inbranddiepte volgens Tabel 7

	36 min	44,5 min	90 min
d_{char} (mm)	24,5 mm	31,8 mm	70,9 mm

Tabel 20 Berekende inbrandsnelheden en inbranddiepten, links per lamel van CLT 100 C5s (20-20-20-20-20), rechts bij verschillende thermische belastingen in minuten SBK[18]

Analyse 1 – gemiddelde randcondities									
Element opbouw (mm)	*20 mm*	*40 mm*	*60 mm*	*80 mm*	*100 mm*	t (min)	*36*[19]	*44,5*	*90*
d_{char} (mm)	20	40	60	80	100		15,5	16,5	55,6
$t_{300°C}$ (min)	53	83	-	-	-		36	44,5	90
β_{0lamel} (mm/min)	0,38	0,68	-	-	-		-	-	-
$\beta_{0element}$ (mm/min)	0,38	0,48	-	-	-		0,43	0,39	0,62
Analyse 2 - variatie soortelijke massa									
Element opbouw (mm)	*20 mm*	*40 mm*	*60 mm*	*80 mm*	*100 mm*	t (min)	*36*	*44,5*	*90*
d_{char} (mm)	20	40	60	80	100		16,3	19,0	57,6
$t_{300°C}$ (min)	46	72	-	-	-		36	44,5	90
β_{0lamel} (mm/min)	0,44	0,77	-	-	-		-	-	-
$\beta_{0element}$ (mm/min)	0,44	0,56	-	-	-		0,45	0,43	0,64
Variatie 3 - variatie volumieke massacoëfficiënt									
Element opbouw (mm)	*20 mm*	*40 mm*	*60 mm*	*80 mm*	*100 mm*	t (min)	*36*	*44,5*	*90*
d_{char} (mm)	20	40	60	80	100		15,5	17,0	55,6
$t_{300°C}$ (min)	53	83	-	-	-		36	44,5	90
β_{0lamel} (mm/min)	0,38	0,67	-	-	-		-	-	-
$\beta_{0element}$ (mm/min)	0,38	0,48	-	-	-		0,43	0,38	0,62
Analyse 4 - variatie soortelijke warmte									
Element opbouw (mm)	*20 mm*	*40 mm*	*60 mm*	*80 mm*	*100 mm*	t (min)	*36*	*44,5*	*90*
d_{char} (mm)	20	40	60	80	100		15,5	17,1	55,6
$t_{300°C}$ (min)	52	81	-	-	-		36	44,5	90
β_{0lamel} (mm/min)	0,39	0,68	-	-	-		-	-	-
$\beta_{0element}$ (mm/min)	0,39	0,49	-	-	-		0,43	0,39	0,62
Analyse 5 - variatie thermische geleiding									
Element opbouw (mm)	*20 mm*	*40 mm*	*60 mm*	*80 mm*	*100 mm*	t (min)	*36*	*44,5*	*90*
d_{char} (mm)	20	40	60	80	100		16,1	18,4	56,3
$t_{300°C}$ (min)	47	74	-	-	-		36	44,5	90
β_{0lamel} (mm/min)	0,42	0,75	-	-	-		-	-	-
$\beta_{0element}$ (mm/min)	0,42	0,54	-	-	-		0,45	0,41	0,63

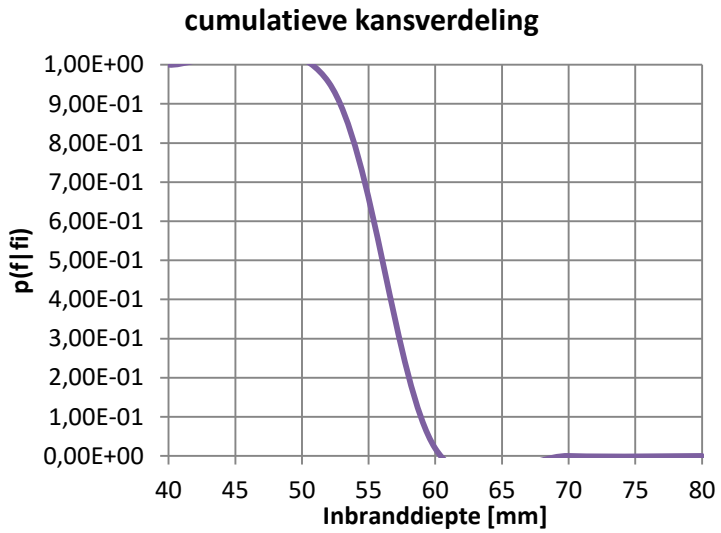
[18] De inbrandsnelheden $\beta_{0element}$ en β_{0lamel} zijn als volgt berekend: $\beta_{0element} = d_{char}/t_{300°C}$; $\beta_{0lamel} = \Delta d_{char,lamel}/\Delta t_{300°C,lamel}$; $t_{300°C}$ is het tijdstip waarop de 300°C isotherm is gemeten aan de achterzijde van elke lamel.

[19] De tijdstippen zijn gekozen naar aanleiding van de bepaalde equivalente brandduur in paragraaf 6.2 *Equivalente branduur* en de probabilistische benadering in paragraaf 6.3 *Probabilistische benadering thermische belasting* en de brandwerendheidseis met betrekking tot bezwijken uit *Bouwbesluit 2012* van 90 minuten.

Analyse 6a – variatie temperatuurbestendigheid lijmlaag (handmatige schatting)[20]									
Element opbouw (mm)	*20 mm*	*40 mm*	*60 mm*	*80 mm*	*100 mm*	t (min)	*36*	*44,5*	*90*
d_{char} (mm)	20	40	60	80	100		15,5	16,9	55,7
$t_{300°C}$ (min)	53	80	-	-	-		36	44,5	90
β_{0lamel} (mm/min)	0,38	0,74	-	-	-		-	-	-
$\beta_{0element}$ (mm/min)	0,38	0,50	-	-	-		0,43	0,38	0,62

Met een gevoeligheidsanalyse kan de betrouwbaarheid van de inbranddiepte van de verticaal dragende CLT constructie (CLT 100 C5s) probabilistisch worden bepaald (zie Bijlage I-7). Daarbij worden de onzekere randcondities (stochasten) die in de bepaling van het temperatuurverloop een rol spelen gevarieerd met hun (ingeschatte) standaardafwijking. Hoewel de kansverdelingen van de stochasten niet bekend zijn, kan worden gesteld dat op basis van de centrale limietstelling de kansfunctie van de inbranddiepte normaal verdeeld is.

In de gevoeligheidsanalyse wordt voor elke stochast afzonderlijk de invloed van variatie met de standaardafwijking op de inbranddiepte vastgesteld. Daaruit wordt de specifieke variantie (ten gevolge van de specifieke stochast) in de inbranddiepte bepaald. De som van alle specifieke varianties is de variantie ten gevolge van alle onzekerheden samen in inbranddiepte. De standaard afwijking (wortel uit de totale variantie) blijkt 2 mm te bedragen. Deze standaardafwijking bepaalt de betrouwbaarheid van de berekende inbranddiepte, zie Bijlage I-7. De betrouwbaarheid is het omgekeerde van een toelaatbare faalkans. De faalkans p(f|fi) van de inbranddiepte (dit is de kans dat de inbranddiepte groter is dan de gehanteerde inbranddiepte) is weergegeven in Figuur 19.



Figuur 19 Cumulatieve kansverdeling inbranddiepte

Te zien in Bijlage I-7 is dat de soortelijke massa van hout de grootste invloed heeft op de inbranddiepte. De lijm heeft echter een geringe invloed[21]. Dit komt deels omdat het thermische gedrag van hout aangehouden conform *NEN-EN 1995-1-2*. Het verloop van de volumieke massacoëfficiënt, thermische geleiding en soortelijke massa zouden hiervan kunnen afwijken en kunnen leiden tot een andere standaardafwijking. Dit is niet nader beschouwd in dit afstudeeronderzoek.

[20] Bij deze analyse zijn de resultaten niet betrouwbaar omdat het simulatiepakket Voltra bij een bezwijktemperatuur van de lijm van 300 °C moeite krijgt met itereren om het temperatuurverloop in de doorsnede te bepalen. De waarden zijn een handmatige schatting op basis van de simulatie.

[21] De werkelijke invloed van de lijm zou moeten worden aangetoond met een brandproef.

7 Toetsing gereduceerde doorsnede

Op basis van de gereduceerde doorsnede, bepaald in paragraaf 6.4 *Rekenresultaten Voltra*, op de bepaalde tijdstippen kan een toetsing op druk en buiging worden uitgevoerd. Alleen de gereduceerde doorsnede wordt geacht om spanningen op te nemen, de koollaag kan geen spanningen overbrengen. De resultaten van deze toetsing zijn in het kort in Tabel 21 weergegeven, de berekeningen van alle analyses zijn weergegeven in bijlage I-4. In Tabel 21 zijn alleen de resultaten voor analyse 1, analyse 2, analyse 5 en de resultaten volgens de berekende inbranddiepte uit Tabel 19 weergegeven.

Tabel 21 Resultaten toetsing op druk en buiging van de gereduceerde doorsnede

Berekende inbranddiepte[22]	**Brandcondities (toetsing buitengewone belastingcombinatie)**			
	36 min	*44,5 min*	*90 min*	
$p_{(f\|fi)}$	50%	25%	0%	
$N_{Ed,fi}$ (kN)	37,84	37,84	37,84	
$M_{Ed,fi}$ (kNm)[23]	0,76	0,76	1,51	
U.C.	0,26 ✓	0,26 ✓	1,24 ✗	
Inbranddiepte d_{eff} (mm)	31,50	38,8	77,94	
Analyse 1 – gemiddelde randcondities	**Brandcondities (toetsing buitengewone belastingcombinatie)**			**Gebruikscondities (toetsing UGT)**
	36 min	*44,5 min*	*90 min*	*36 min*	*44,5 min*	*90 min*
$p_{(f\|fi)}$	50%	25%	0%	50%	25%	0%
$N_{Ed,fi}$ (kN)	37,84	37,84	37,84	48,33	48,33	48,33
$M_{Ed,fi}$ (kNm)	0,76	0,76	1,51	2,84	2,84	3,81
U.C.	0,26 ✓	0,26 ✓	1,24 ✗	1,06 ✗	1,06 ✗	6,24 ✗
Inbranddiepte d_{eff} (mm)	22,5	23,5	62,6	22,50	23,5	62,6
Analyse 2 – variatie soortelijke massa	**Brandcondities (toetsing buitengewone belastingcombinatie)**			**Gebruikscondities (toetsing UGT)**
	36 min	*44,5 min*	*90 min*	*36 min*	*44,5 min*	*90 min*
$p_{(f\|fi)}$	50%	25%	0%	50%	25%	0%
$N_{Ed,fi}$ (kN)	37,84	37,84	37,84	48,33	48,33	48,33
$M_{Ed,fi}$ (kNm)	0,76	0,76	1,51	2,84	2,84	3,81
U.C.	0,26 ✓	0,26 ✓	1,24 ✗	1,06 ✗	1,06 ✗	6,24 ✗
Inbranddiepte d_{eff} (mm)	23,3	26	64,6	23,30	26	64,6
Analyse 5 – variatie thermische geleiding	**Brandcondities (toetsing buitengewone belastingcombinatie)**			**Gebruikscondities (toetsing UGT)**
	36 min	*44,5 min*	*90 min*	*36 min*	*44,5 min*	*90 min*
$p_{(f\|fi)}$	50%	25%	0%	50%	25%	0%
$N_{Ed,fi}$ (kN)	37,84	37,84	37,84	48,33	48,33	48,33
$M_{Ed,fi}$ (kNm)	0,76	0,76	1,51	2,84	2,84	3,81
U.C.	0,26 ✓	0,26 ✓	1,24 ✗	1,06 ✗	1,06 ✗	6,24 ✗
Inbranddiepte d_{eff} (mm)	23,1	25,4	63,3	23,10	25,4	63,3

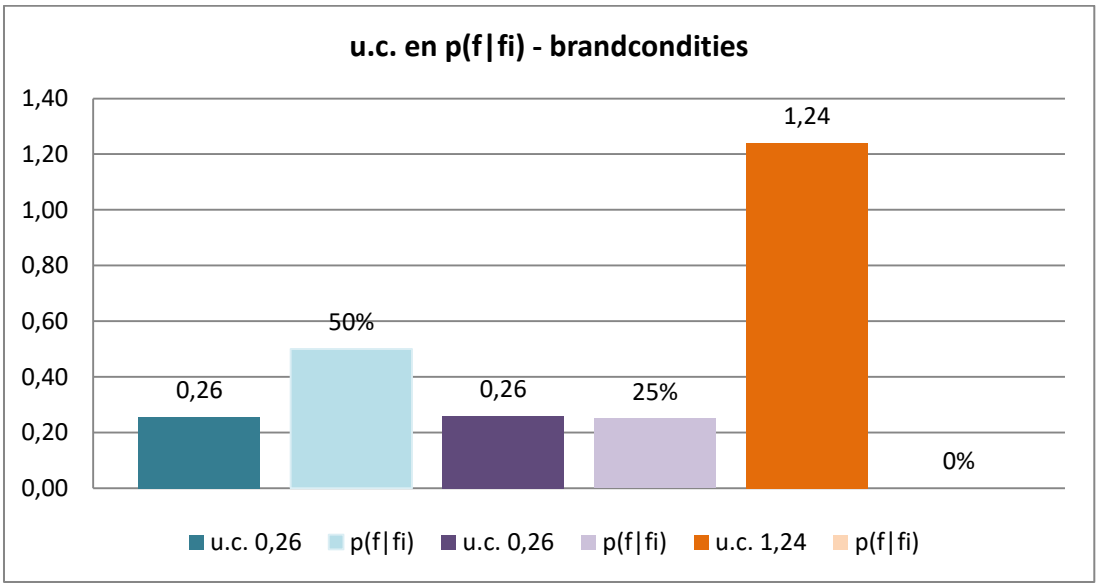
[22] De waarden van de berekende inbranddiepten zijn afkomstige uit Tabel 7 en Tabel 19.
[23] Dit is het moment ten gevolge van de excentriciteit van de belasting, door de verplaatsing van het zwaartepunt, op de gereduceerde doorsnede.

In het algemeen valt op dat de waarden voor de Unity Checks voor alle analyses gelijk zijn. Dit komt doordat de verschillen tussen inbranddiepten van verschillende analyses gering zijn. De verwachting is dat bij een lagere aangenomen bezwijktemperatuur van de polyurethaanlijm de inbranddiepten meer van elkaar verschillen omdat de toename van de inbrandsnelheid hoger is naarmate het aantal lamellen dat bezwijkt toeneemt, zoals ook geconcludeerd in paragraaf 6.4 *Rekenresultaten Voltra*. Wanneer hierop gevarieerd wordt, leidt dit tot hogere uiteindelijke inbranddiepten. Het is denkbaar dat dit leidt tot andere resultaten bij de toetsing op druk en buiging.

7.1 Brandcondities

Wat opvalt is dat de faalkans van de thermische belasting in minuten SBK p(f|fi) niet direct overeen komt met de Unity Check (U.C.). Bij een toelaatbare faalkans van 50% en 25% hoort een U.C. van 0,26 (zie Figuur 20). De U.C. hoeft dus niet te stijgen wanneer de toelaatbare faalkans stijgt. Dit heeft te maken met het feit dat als de faalkans 50% en 25% is, beperkt de inbranddiepte zich nog tot de eerste lamel. Door het bezwijken van de eerste lamel ($h_{0;1}$) treedt een verschuiving op van het zwaartepunt, deze verschuiving is voor beide situaties gelijk (faalkans van 50% en 25%). Deze verschuiving van het zwaartepunt levert een excentriciteit op, wat een extra moment op de constructie veroorzaakt. De excentriciteit is echter relatief klein bij een faalkans van 50% en 25%, dit heeft een kleine invloed op de toetsing op druk en buiging van de gereduceerde doorsnede.

Pas bij een brandduur van 90 minuten (en een faalkans van 0%) neemt het moment toe bij een gelijkblijvende verticale belasting. De toename van het moment wordt veroorzaakt door een toename in excentriciteit doordat de inbranddiepte wordt vergroot. Bij een faalkans van de thermische belasting van 0% is de U.C. 1,24. De gereduceerde doorsnede heeft dus onvoldoende capaciteit, de constructie zal binnen de vereiste brandweerstand van 90 minuten volgens *Bouwbesluit 2012* bezwijken[24].



Figuur 20 Unity Check (U.C.) en toelaatbare faalkans p(f|fi) bij brandcondities geldend voor alle analyses

7.2 Gebruikscondities

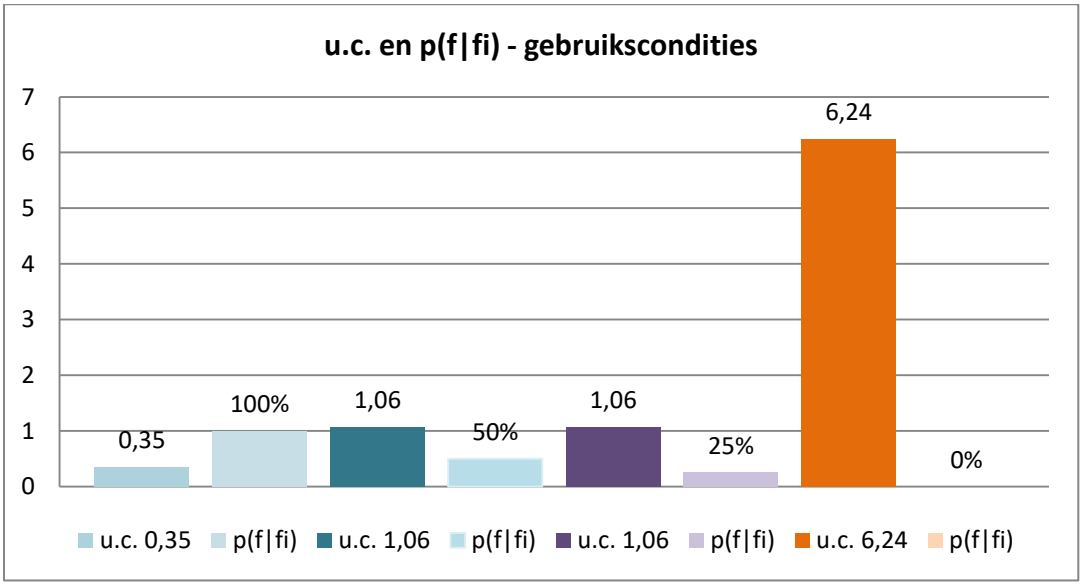
Wanneer bij gebruikscondities de gereduceerde doorsnede wordt getoetst zijn de Unity Checks, behorende bij de toelaatbare faalkansen, een stuk hoger. Dit is te verklaren doordat de toegepaste belastingcombinatie

[24] Doordat in de constructieberekeningen veiligheidsmarges zijn meegenomen (zoals de partiële veiligheidsfactor) en getoetst wordt in de uiterste grenstoestand hoeft een overschrijding van de toegestane Unity Check niet te betekenen dat een constructie daadwerkelijk bezwijkt. Het risico op bezwijken is op dat moment echt onacceptabel groot, waardoor de constructie niet meer bruikbaar is. In dit afstudeeronderzoek wordt verondersteld dat bij overschrijding van de toegestane Unity Check de constructie bezwijkt.

ongunstiger is, er wordt namelijk getoetst in de uiterste grenstoestand (UGT). De rekenwaarden van de belastingen zijn hierdoor hoger. Wel zijn de waarden, net zoals bij brandcondities, bij faalkansen van de thermische belasting in minuten SBK van 50% en 25% even groot, pas bij een faalkans van 0% verandert dit. Dit is in Figuur 21 weergegeven, ook is hierin de U.C. weergegeven van de toetsing van de gehele doorsnede uit paragraaf 5.2 *Draagvermogen gebruikscondities*. De faalkans van de thermische belasting bij brand is hierbij vastgesteld op 100% (zie hiervoor Bijlage I-7). Uit de toetsing blijkt dat de gereduceerde doorsnede bij toetsing op druk en buiging in de UGT niet meer voldoet bij gebruikscondities. De constructie is na brand niet meer bruikbaar.

De constructie is niet 90 minuten brandwerend, uit Figuur 20 blijkt dat. bij 90 minuten de toegestane waarde overschreden van de U.C. is. De constructie is na 90 minuten brandduur niet meer bruikbaar, de constructie is dus niet 90 minuten fire resilient. Dit is logisch, dit is ook niet conform eisen zoals gesteld in het *Bouwbesluit 2012* of Eurocodes.

Bij een natuurlijke brand en bijbehorende equivalente brandduur zal alleen de eerste lamel bezwijken van CLT 100 C5s. Binnen de gegeven equivalente brandduur uit Tabel 15 blijft onvoldoende capaciteit over wat betreft de toetsing op druk en buiging. De constructie is brandwerend, maar dus niet fire resilient gedurende de equivalente brandduur van zowel 36 als 44 minuten SBK.



Figuur 21 Unity Check (U.C.) en toelaatbare faalkans p(f|fi) bij gebruikscondities geldend voor alle analyses

8 Conclusies en aanbevelingen

In dit hoofdstuk zullen, op basis van de rekenresultaten en de hierbij geldende uitgangspunten en randvoorwaarden voor de betreffende casus, conclusies worden getrokken. Vervolgens zullen de hieruit voortvloeiende aanbevelingen worden gedaan. Daarnaast zullen aanbevelingen gedaan worden voor mogelijke vervolgonderzoeken. De aanbevelingen moeten genuanceerd worden geïnterpreteerd om ze als algemeen geldend te kunnen beschouwen.

8.1 Conclusies

Het beoogde resultaat van dit onderzoek is om de constructieve veiligheid van verticale massief houten panelen van verlijmd kruislaaghout bij blootstelling aan een natuurlijke brand te kwantificeren. In dit afstudeeronderzoek wordt antwoord gegeven op de volgende vraagstelling:

Is er voldoende constructieve veiligheid aanwezig in verticale massief houten panelen opgebouwd uit verlijmd kruislaaghout (CLT) bij blootstelling aan een natuurlijke brand?

Onderzoeksvraag 1

Welke constructieve eigenschappen heeft verlijmd kruislaaghout (CLT)?

Conclusie 1

Uit het literatuuronderzoek is gebleken dat CLT onder de sterkteklasse C24 valt. Aan deze sterkteklasse zijn karakteristieke sterkte-eigenschappen verbonden, deze zijn weergegeven in Tabel 2. Verder blijkt dat CLT constructies opgebouwd zijn uit de (naald)houtsoort vuren. Daarnaast is gebleken dat verticaal dragende CLT constructies met de methode van “Mechanisch verbonden liggers” uit bijlage B van *NEN-EN 1995-1-1* kunnen worden gedimensioneerd op basis van de effectieve buigstijfheid EI_{eff} en de slankheid $\lambda_{eff.}$ Vervolgens kunnen deze waarden worden ingevuld in de vergelijking 6.21 uit de *NEN-EN 1995-1-1*. De druksterkte kan berekend worden volgens artikel 6.3 van de *NEN-EN 1995-1-1*. Hiermee kan worden aangetoond dat een verticaal dragende CLT constructie voldoende draagvermogen heeft om de axiale belasting op te kunnen nemen. Voor het verlijmen van de lamellen van CLT constructies worden polycondensatielijmen en polyurethaanlijmen toegepast. Deze lijmen hebben mogelijk invloed op de constructieve veiligheid bij brand.

Uit de gehouden enquête is gebleken dat constructeurs CLT constructies berekenen op basis van de standaard brandkromme en dat dit vaak resulteert in maatregelen als overdimensionering en het afwerken van de wand met gipsplaten als bescherming tegen de gevolgen van brand. Verder is gebleken dat men weinig kennis heeft van de verschillen in prestaties van constructieve houtlijmen bij brand. Tot slot geeft men aan dat er behoefte is aan een universele richtlijn, opgenomen in de *NEN-EN 1995* om CLT constructies te dimensioneren en om de brandveiligheid van CLT constructies te dimensioneren.

Onderzoeksvraag 2

Wat is het brandgedrag van CLT?

Conclusie 2

Bij de verbranding van hout ontstaat koolstof aan de oppervlakte van het materiaal. Deze koollaag isoleert het onaangetaste hout en beschermt het hout tegen verdere inbranding. Bij CLT constructies kan delaminering optreden, het bezwijken van de gevormde koollaag. In dit afstudeeronderzoek is uitgegaan van dat de lijm geen spanningen meer overbrengt, omdat de verkoolde laag geen constructieve waarde meer heeft. Daardoor is de verkolingstemperatuur het meest realistische bezwijkcriterium. Hierdoor kan verdere verkoling optreden van het onaangetaste materiaal. De thermische traagheid van hout bepaalt de mate waarin het hout in staat is om warmte te bufferen vanuit de brandruimte. De thermische traagheid heeft invloed op het temperatuurverloop in de CLT constructie.

De inbrandsnelheid en inbranddiepte kunnen worden bepaald aan de hand van formules [5] en [6] of aan de hand van berekende waarden afkomstig uit simulaties. Er mag een inbrandsnelheid β_0 van 0,65 mm/min worden aangehouden, op basis hiervan kan de inbranddiepte worden bepaald bij een bepaalde brandblootstellingstijd. Ook kunnen deze waarden worden gemeten door de positie van de 300 °C isotherm te bepalen uit gemaakte simulaties.

Onderzoeksvraag 3

Wat zijn stochastische randcondities bij een natuurlijke brand?

Conclusie 3

Er zijn stochastische randcondities aangehouden voor de simulaties gemaakt met de softwareprogramma's Ozone en Voltra. Het overzicht met alle stochastische randcondities die zijn aangehouden voor de simulaties die gemaakt zijn in het zonemodel Ozone zijn weergegeven in Tabel 11. Het overzicht met alle invoergegevens is weergegeven in Tabel 12. De stochastische randcondities bestaan uit parameters die invloed hebben op de temperatuurontwikkeling in de brandruimte. De stochastische randcondities aangehouden in het simulatiepakket Voltra zijn bepaald uit voorgeschreven schijnbare waarden van de temperatuurafhankelijke parameters van het materiaal hout. Tabel 13 geeft de aangehouden stochastische randcondities weer. Het overzicht met alle invoergegevens is weergegeven in Tabel 14.

De stochasten met de grootste invloed op de thermische belasting in minuten standaard brandkromme zijn de vuurbelasting en de verbrandingsefficiëntie, deze stochasten hebben een even grote invloed. De stochast met de grootste invloed op de thermische respons van de CLT constructie is de soortelijke massa van hout.

Onderzoeksvraag 4

Wat is het draagvermogen van een verticaal dragende CLT constructie onder gebruikscondities?

Conclusie 4

De toetsing van het draagvermogen van de verticaal dragende CLT constructie onder gebruiksconditie is middels de Unity Check is vastgesteld op 0,35. Dit betekent dat 35% van de capaciteit van de CLT constructie wordt benut. Dit is een relatief lage waarde, dat komt doordat er op dit moment nog geen rekening is gehouden met de gevolgen van brandcondities.

Onderzoeksvraag 5

Wat is de thermische belasting op een CLT constructie uitgaande van een natuurlijke brand rekening houdend met de invloed van stochastische randcondities?

Conclusie 5

De belastingen bij brand bestaan uit een thermische belasting en een mechanische belasting. De thermische belasting kan worden bepaald met formules zoals beschreven in paragraaf 4.5.1 *Thermische belastingen*. De permanente vuurbelasting wordt niet meegenomen in deze berekening omdat verondersteld wordt dat de permanente vuurbelasting (de CLT constructie) niet zelfstandig verder brandt wanneer de variabele vuurbelasting verbrand is.

Bij brand moet worden gerekend met de buitengewone belastingcombinatie 6.11a/b. De rekenwaarden van de sterkte-eigenschappen worden bepaald aan de hand van 20% fractielwaarden van de karakteristieke sterkte-eigenschappen en de modificatiefactor $k_{mod,fi}$ bij brand en de partiële veiligheidsfactor $\gamma_{M,fi}$ voor hout bij brand.

Onderzoeksvraag 6

In welke mate neemt het draagvermogen van een verticaal dragende CLT constructie af onder brandcondities en gebruikscondities uitgaande van een natuurlijke brand?

Conclusie 6
Het draagvermogen van een verticaal dragende CLT constructie neemt af onder gebruikscondities en neemt af onder brandcondities uitgaande van een natuurlijke brand. Het draagvermogen neemt niet dusdanig af dat de constructie zal bezwijken gedurende de blootstelling aan een natuurlijke brand, maar de constructie is na brand niet meer betrouwbaar. Wanneer wordt uitgegaan van blootstelling aan de standaard brandkromme met de bijbehorende brandwerendheidseis vanuit het *Bouwbesluit 2012* van 90 minuten zal de constructie binnen deze tijd bezwijken. Dit is een aanzienlijke afname in het draagvermogen. De constructie is niet betrouwbaar gedurende de blootstelling van 90 minuten aan de standaard brandkromme.

Uit het simulatie-onderzoek blijkt dat de soortelijke massa van het hout grote invloed heeft op de inbranddiepte van CLT en daarmee ook op het draagvermogen van de verticaal dragende CLT constructie. De invloed van de lijm heeft in dit onderzoek minimale invloed op de inbranddiepte van CLT. De werkelijke invloed van de lijm zou moeten worden aangetoond met brandproeven.

Beantwoording vraagstelling
In paragraf 1.1.2 *Scenario's constructieve veiligheid bij brand* zijn vier scenario's gekoppeld aan het begrip constructieve veiligheid:

1. De constructie bezwijkt binnen de thermische belasting volgens de standaard brandkromme (in minuten) waarin de constructie niet mag bezwijken;
2. De constructie bezwijkt bij overschrijding van de thermische belasting volgens de standaard brandkromme (in minuten);
3. De constructie is bestand tegen bezwijken, constructieve elementen moeten na de brand worden vervangen of versterkt (brandwerend maar niet fire resilient);
4. De constructie is bestand tegen bezwijken en kan na brand weer in gebruik worden genomen, alleen cosmetische ingrepen zijn na de brand nodig (fire resistant en fire resilient).

De verticaal dragende constructie CLT 100 C5s behoudt zijn draagkracht en brand scheidende functie gedurende de blootstelling aan de natuurlijke brand (ofwel gedurende de bepaalde equivalente brandduur). Dit beschrijft scenario 2, de constructie is betrouwbaar. Na brand blijft er onvoldoende draagvermogen over bij toetsing van de gereduceerde doorsnede in de uiterste grenstoestand (UGT). CLT 100 C5s is na blootstelling aan de equivalente brandduur dus niet meer betrouwbaar en ook niet duurzaam omdat deze moet worden vervangen of versterkt. Dit beschrijft scenario 3.

Op basis van de gevonden resultaten in dit afstudeeronderzoek kan verondersteld worden dat er voldoende constructieve veiligheid aanwezig is in verticaal dragende massief houten panelen opgebouwd uit verlijmd kruislaaghout (CLT) bij blootstelling aan een natuurlijke brand. Na de blootstelling aan brand is er echter onvoldoende constructieve veiligheid om het gebouw weer in gebruik te kunnen nemen. De constructie is gedurende de blootstelling aan brand betrouwbaar, maar na de brand is de constructie niet betrouwbaar en niet duurzaam wegens het moeten vervangen of versterken van de draagconstructie voordat het gebouw zijn functie weer kan vervullen.Wanneer de CLT constructie dient te voldoen aan de brandwerendheidseis met betrekking tot bezwijken van 90 minuten volgens *Bouwbesluit 2012* valt onder het eerste scenario. Er is onvoldoende constructieve veiligheid aanwezig, de constructie zal binnen de gestelde tijd bezwijken. De constructie is dus niet duurzaam en niet betrouwbaar gedurende de blootstelling aan de standaard brandkromme.

8.2 Discussie & aanbevelingen
Naar aanleiding van de conclusies van dit onderzoek worden de volgende aanbevelingen gedaan:

- In dit afstudeeronderzoek is niet ingegaan op de vervorming van verticaal dragende CLT constructies bij blootstelling aan een natuurlijke brand. Volgens de *NEN-EN 1995-1-2* moeten vervormingscriteria

worden getoetst wanneer vereist wordt dat de vervorming van de draagconstructie in beschouwing is genomen.

- Het afstudeeronderzoek heeft zich beperkt tot onbeschermde CLT constructies. Wanneer gekozen wordt voor een afwerking met gipsplaten kan dit de resultaten voor de constructieve veiligheid positief beïnvloeden wat betreft duurzaamheid en betrouwbaarheid. De gipsplaten beschermen de CLT constructie tegen aantasting door verkoling.
- Naar aanleiding van de gehouden enquête wordt aanbevolen om een universele richtlijn op te nemen in de NEN-EN 1995 om CLT constructies te dimensioneren en om de brandveiligheid/constructieve veiligheid van CLT constructies te beoordelen.
- Afgaande op de resultaten van dit afstudeeronderzoek verdient het een aanbeveling om de constructieve veiligheid van CLT constructies bij brand te toetsen aan een natuurlijke brand in plaats van de standaard brandkromme.
- De bepaalde variaties in Voltra zouden wellicht gunstig kunnen zijn. Het verdient daarom een aanbeveling dat uitgegaan zou kunnen worden van een ruimere bandbreedte waarbij resultaten conservatiever zullen zijn.
- Het verdient een aanbeveling om de statische berekening en de toetsing op druk en buiging zowel in UGT als bij de buitengewone belastingcombinatie conform Eurocodes probabilistisch te benaderen zodat onzekerheden in constructieve en mechanische materiaaleigenschappen en in veiligheidsfactoren kunnen worden beschouwd.

8.3 Aanbevelingen voor vervolgonderzoek

Uit de resultaten van dit onderzoek volgen aanbevelingen voor mogelijke vervolgonderzoeken:

- De resultaten van dit afstudeeronderzoek zijn specifiek voor de gekozen constructieve opbouw van CLT 100 C5s (20-20-20-20-20). Een andere opbouw kan leiden tot andere resultaten (Frangi, Fontana, Hugi, & Jöbstl, 2009). Het verdient daarom een aanbeveling om nader onderzoek te doen naar het gedrag van CLT constructies met een andere constructieve opbouw.
- Het verdient ook een aanbeveling om de constructieve veiligheid van verticaal dragende CLT constructies te onderzoeken van meerdere en verschillende woningen. In dit geval is de constructieve veiligheid van een verticaal dragende CLT constructie van een appartement onderzocht. Om gevalideerde uitspraken te kunnen doen over de constructieve veiligheid van verticaal dragende CLT constructies in het algemeen, is nader onderzoek naar meerdere en verschillende soorten woningen nodig om gevalideerde resultaten te verkrijgen.
- In dit afstudeeronderzoek is een aanname gedaan bij welke polyurethaanlijm bezwijkt. Het verdient daarom een aanbeveling om het (bezwijk)gedrag van polyurethaanlijm nader te onderzoeken.
- Omdat uit de resultaten is gebleken dat het simulatiepakket Voltra bij lage bezwijktemperaturen van polyurethaanlijm geen betrouwbare benadering kan maken, wordt aanbevolen om de resultaten middels brandproeven te controleren zodat valide resultaten kunnen worden verkregen.
- Het verdient een aanbeveling om de invloed van de permanente vuurbelasting van de CLT constructie op de inbranding te onderzoeken. In dit afstudeeronderzoek is de invloed van de permanente vuurbelasting buiten beschouwing gelaten.
- In dit afstudeeronderzoek is uitgegaan van de toepassing van polyurethaanlijm als hechting van de lamellen waaruit CLT is opgebouwd. In *Experimental analysis of cross-laminated timber* (Frangi, Fontana, Hugi, & Jöbstl, 2009) is bewezen dat polycondensatielijmen een gunstig effect hebben op de inbranding en delaminering van CLT constructies (Frangi, Fontana, Hugi, & Jöbstl, 2009). Het verdient daarom een aanbeveling om onderzoek te doen naar de invloed van polycondensatielijmen en verschillende polyurethaanlijmen op de constructieve veiligheid van CLT constructies bij blootstelling aan brand.

Literatuurlijst

Bouwfysica. (2016). Opgeroepen op Mei 8, 2018, van www.thiememeulenhoff.nl: https://website.thiememeulenhoff.nl/binaries/content/assets/standaardsites/hbo-bouwkunde/bouwfysica/bouwfysica_8edruk_tabellenbijlage.pdf

Bouwregelgeving Rijksoverheid. (sd). Opgeroepen op Mei 7, 2018, van rijksoverheid.nl: https://www.rijksoverheid.nl/onderwerpen/bouwregelgeving/bouwbesluit-2012

Cagnon, S., & Pirvu, C. (2011). *CLT Handbook.* Québec: FPInnovations.

Crielaard, R. (2015). *Self-extinguishment of cross laminated timber.* Delft.

(2015). *Declaration of Performance CLT.* Helsinki: Stora Enso Timber DIY Products B.V.

Drysdale, D. (2011). *An Introduction to Fire Dynamics.* Chichester: John Wiley & Sons.

Frangi, A., Fontana, M., Hugi, E., & Jöbstl, R. (2009). Experimental analysis of cross-laminated timber panels in fire. *Fire Safety Journal, 44*, 1078-1087.

Herpen, R. v. (2007). *Achtergronden: Normalisatie fysische brandmodel Submodellen.* Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V.

Herpen, R. v., Hamerlinck, R., van de Leur, P., Scholten, N., & Vrouwenvelder, T. (2014). *Risicogebaseerde brandveiligheid van draagconstructies.* Nieman Raadgevende Ingenieurs.

joostdevree.nl. (sd). *evenwichtsvochtgehalte*. Opgeroepen op april 24, 2018, van joostdevree.nl: http://www.joostdevree.nl/shtmls/evenwichtsvochtgehalte.shtml

Klippel, M., Leyder, C., Frangi, A., & Fontana, M. (sd). Fire Tests on Loaded Cross-laminated Timber Wall and Floor Elements. Zürich: International Association for Fire Safety Science.

Koets, R. (2012). *Hoogbouw met Cross Laminated Timber.* Eindhoven.

Mestek, P., Kreuzinger, H., & Winter, S. (2008). *Design of cross laminated timber (CLT).*

(2011). *NEN 6055 Thermische belasting op basis van het natuurlijk brandconcept - bepalingsmethode.* Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.

(2011). *NEN 6090:2017 Bepaling van de vuurbelasting.* Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.

(2017). *NEN-EN 15425 Lijmen - Eencomponent polyurethaan, voor dragende houtconstructies - Classificatie en prestatie-eisen.* Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.

(2012). *NEN-EN 1912 Hout voor constructieve toepassingen - Sterkteklassen - toewijzing van visuele sorteringsklassen en houtsoorten.* Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.

(2002). *NEN-EN 1990:2002+C2:2010+NB:2011 Grondslagen van het constructief ontwerp.* Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.

(2002). *NEN-EN 1991-1-2:2002+C1:2009+NB:2011 Belasting bij brand.* Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.

(2005). *NEN-EN 1995-1-1:2005 + A2:2014 + NB:2013 Hout - Algemeen.* Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.

(2005). *NEN-EN 1995-1-2:2005+C2:2009+NB:2011 Hout - Brand.* Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.

(2017). *NEN-EN 301 Lijmen voor dragende houtconstructies, polycondensatielijmen op basis van phenolen en aminoplasten - Classificatie en prestatie-eisen.* Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.

(2017). *NEN-EN 302-2 Lijmen voor dragende houtconstructies - Beproevingsmethoden - Deel 2: Bepaling van de weerstand tegen delamineren.* Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.

(2016). *NEN-EN 338 Hout voor constructieve toepassingen - Sterkteklassen.* Delft: Nederlands Normalisatie Instituut.

Quaas, L. (2017). *Thermische belasting door brand op scheidingsconstructies.* Eindhoven.

Reijn, G. (2017, november 2). Amsterdams grootste boomhut. *Volkskrant*.

van Herpen, R., Hamerlinck, R., van de Leur, P., Scholten, N., & Vrouwenkelder, T. (2014). *Risicogebaseerde brandveiligheid van draagconstructies.* Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V.

Wallner-Novak, D. M., Koppelhuber, J., & Pock, K. (2014). *Cross-Laminated Timber Structural Design.* proHolz Austria.

Bijlagen

Bijlage I De volgende bijlagen zijn toegevoegd aan het bijlage rapport, bijlage I:

- Bijlage I-1 Technisches Datenblatt Henkel B.V.
- Bijlage I-2 Toelichting Equivalente brandduur
- Bijlage I-3 Tekeningen casus
- Bijlage I-4 Statische berekening casus
- Bijlage I-5 Resultaten simulatie-onderzoek Ozone
- Bijlage I-6 Equivalente brandduur
- Bijlage I-7 Probabilistische benadering thermische belasting & thermische respons
- Bijlage I-8 Resultaten simulatie-onderzoek Voltra
- Bijlage I-9 Enquêteonderzoek

Bijlage II De volgende bijlagen zijn toegevoegd aan het bijlage rapport, bijlage II:

- Bijlage II-1 Projectplan
- Bijlage II-2 Reflectieverslag
- Bijlage II-3 Logboek
- Bijlage II-4 Aangepaste planning

BIJLAGE I



Hanzehogeschool Groningen
University of Applied Sciences

Nieman RAADGEVENDE INGENIEURS In 't Hart van de Bouw

AUTEUR: PAULA ZEE
IN OPDRACHT VAN: NIEMAN RAADGEVENDE INGENIEURS B.V.

Bijlage I

Auteur	Paula Zee Studentnummer 329604 Bouwkunde, specialisatie Structural Engineering e-mail: p.c.zee@st.hanze.nl
Groepsnummer	32
Onderwijsinstelling	Hanzehogeschool Groningen Academie voor Architectuur, Bouwkunde en Civiele Techniek Zernikeplein 7 9747 AS Groningen Tel: 050 – 595 55 55 Studiejaar 2017-2018 *Afstudeerbegeleider:* *ing. Jan de Haan* *Afstudeerlezer:* *ir. R. Ovbiagbonhia*
Opdrachtgever	Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V. Dr. van Lookeren Campagneweg 16 8025 BX Zwolle Postbus 40147 8004 DC Zwolle Tel: 038 – 467 00 30 *Bedrijfsbegeleider:* *ir. Ruud van Herpen*
Plaats, datum	Zwolle, 28 mei 2018

Hanzehogeschool Groningen
University of Applied Sciences

Nieman RAADGEVENDE INGENIEURS In't Hart van de Bouw

Bijlage I

Bijlage I-1	Technisches Datenblatt Henkel B.V.
Bijlage I-2	Toelichting Equivalente brandduur
Bijlage I-3	Tekeningen casus
Bijlage I-4	Statische berekening casus
Bijlage I-5	Resultaten simulatie-onderzoek Ozone
Bijlage I-6	Equivalente brandduur
Bijlage I-7	Probabilistische benadering
Bijlage I-8	Resultaten simulatie-onderzoek Voltra
Bijlage I-9	Enquêteonderzoek

GYSO
Kompetenz | Qualität | Partnerschaft

Geistlich
Ligamenta

LOCTITE® HB S309 PURBOND

1K-PUR Klebstoff zur Herstellung von tragenden Holzbauteilen
Offene Zeit 30 Minuten





Anwendungsbereich

Der 1K-Polyurethanklebstoff härtet unter Einfluss von Material- und Luftfeuchte zu einem harten, unsprö-den Film aus. Die LOCTITE HB S-Klebstoffe wurden für die Herstellung von Brettschichtholz und Keilzinken-verklebung entwickelt und geprüft. Weitere Anwen-dungen sind Verbindungen von Holz und Holzwerk-stoffen im nichttragenden Bereich. Für tragende passgenaue Holzverbindungen im Elementbau - Rip-penplatten oder Hohlkastenträger - beinhaltet dieses Merkblatt spezielle Verarbeitungsbedingungen, wel-che einzuhalten sind.

Spezielle Eigenschaften:
LOCTITE HB S Klebstoffe sind als Typ I Klebstoff klassi-fiziert und gemäss Seite 2 dieses Merkblattes (siehe Zulassungen) zugelassen und registriert.
LOCTITE HB S Klebstoffe sind ohne Zusatz von Lö-sungsmittel und Formaldehyd hergestellt und erfül-len die Anforderungen gesunder und ökologischer Bauweise von MINERGIE-ECO®

Produktdaten

Basis:
Isocyanatprepolymer
Viskosität:
Ca. 24'000 mPa.s (Brookfield 20 °C / 20 rpm)
Spezifisches Gewicht:
Ca. 1,16 g/cm^3
Farbe:
Beige
Festkörpergehalt:
100 % und frei von Fasern und abrasiven Füllstoffen
Feuergefährlichkeit:
Schwer entflammbar
Beständigkeit:
Gegen schwache Alkalien, Säuren und Lösungsmittel

Produktdaten (Fortsetzung)

Gebinde / Art-Nr.:
20 x 600 ml Schlauchbeutel / 1519.9533.04
50 kg Fass / 1519.9533.09
200 kg Fass / 1519.9533.11
Zubehör Schlauchbeutel / Art-Nr.:
Handauftragspistole / 8110.9905.01
Druckluftauftragspistole / 8110.9907.01
Mehrlochdüse mit Adapter / 8110.9906.09
Adapter zu Düsen / 8110.9906.01
Dreiecksdüse / 8110.9906.02
Spitzdüse / 8110.9906.03
Trennspray Acmos 100-2450, 400 ml / 2776.9810.27
Reiniger 9797, 500 ml Flasche / 2423.9797.01
Reiniger 9797, 3,79 kg Kanister (5 l) / 2423.9797.02
Zubehör Fass / Art-Nr.:
LOCTITE Trennpaste, 1kg Metalldose / 2770.9817.01
LOCTITE Trennmittel, 800 g Flasche / 2778.9816.01
LOCTITE Trennmittel, 10 kg Kanne / 2778.9816.03
LOCTITE Löser, 3kg Kanne / 2419.9815.02
LOCTITE Sperrmittel, 1 kg Dose / 2055.9814.01
LOCTITE Sperrmittel, 10 kg Kanister / 2055.9814.03

Beachten Sie bitte die Technischen Merkblätter des Zubehörs.

Verarbeitungsdaten

Verarbeitungstemperatur:
(für Umgebung, Material und Klebstoff)
Tragende Anwendung: +15 °C bis +30 °C
Nicht tragende Anwendung: +10 °C bis +35 °C
Bei einer Verarbeitung bei 10 °C verlängert sich die Presszeit um mindestens +50 %. Bei einer Verarbei-tung bei 30 °C verkürzt sich die offene Zeit um ca. mi-nus 30 %
Vorbehandlung Klebeflächen:
Die zu verklebenden Flächen müssen passgenau, sau-ber, staubfrei und fettfrei sein. Lärche ist im Voraus mit Primer PR152 zu behandeln.
Holzfeuchtigkeit:
Tragende Anwendung: 8 % bis 15 %. Die Feuchtedif-ferenz der zu verklebenden Teile darf höchstens 4 % betragen.
Nicht tragende Anwendung: 8 % bis 18 %

LOCTITE® HB S309 PURBOND

Verarbeitungsdaten (Fortsetzung)

Auftragssystem:
Schlauchpresspistole mit Düse, Spachtel, Düsenauftragsgeräte oder andere geeignete Applikatoren. 1K-PUR-Klebstoffe reagieren mit Feuchtigkeit. Bei Fässern ist die Zuluft mit einem feuchtigkeitsabsorbierenden Filter zu trocknen. Maschinenteile, die mit Klebstoff in Berührung kommen, sollten vorgängig mit Trennmittel behandelt werden.

Klebstoffauftrag:
Der Klebstoff wird einseitig aufgetragen. Die aufgetragene Klebstoffmenge muss eine gleichmässige und vollständige Benetzung der Fügeteiloberfläche gewährleisten. Am Rand der Klebefuge muss durchgehend Klebstoff austreten.

Auftragsmenge:
150 g/m² bis 200 g/m²

Offene Zeit (OZ):
30 Minuten (bei 20 °C / 65 % r.F.).
Sofort, aber spätestens 30 Minuten nach Beginn des Klebstoffauftrages (maximale Wartezeit) müssen die zu verklebenden Teile zusammengefügt und der Pressdruck aufgebracht sein. Die maximale Wartezeit der feuchtigkeitsreaktiven LOCTITE HB S Klebstoffe werden von der Luft- und Materialfeuchte sowie von den Umgebungstemperaturen beeinflusst. Höhere Temperaturen und höhere Luftfeuchte verkürzen die Wartezeit. Das Aufbringen des Pressdruckes muss zwingend vor einer allfälligen Hautbildung auf der Klebstoffoberfläche erfolgen.

Pressdruck:
Tragende Anwendung: 0.6 bis 1 N/mm² (6 bis 10 kg/cm²). Der aufgebrachte Pressdruck muss eine passgenaue Fuge gewährleisten.
Nicht tragende Anwendung: mindestens 0.3 N/mm²

Presszeit:
75 Minuten (20 °C / 65 % r.F.).
Die Presszeit ist abhängig von Temperatur und Feuchtegehalt der Fügeteile und der Umgebung. Tiefere Temperaturen und Luftfeuchte verzögern den Abbindeprozess, höhere Temperaturen und Luftfeuchte beschleunigen den Abbindeprozess. Die Mindestpresszeit für gerade Träger bei 20 °C, 65 % relativer Luftfeuchte und einer Holzfeuchte von 12% beträgt 75 Minuten, sofern eine optimale Passung der Fügeteile (Fugendicke ≤0,1 mm) gewährleistet ist. Ist eine passgenaue Fuge nicht gewährleistet (maximal 0.3 mm), muss die Presszeit mindestens 90 Minuten betragen. Während der Aushärtezeit (Presszeit) des Klebstoffes dürfen die Klebefugen nicht belastet werden.

Verarbeitungsdaten (Fortsetzung)

Nachlagerzeit:
Nach Ablauf der Presszeit sind die verklebten Bauteile während mindestens 4 Stunden bei 20° C zu lagern. Die Teile können während der Nachlagerzeit bearbeitet werden, wobei die Klebstofffugen jedoch nicht belastet werden dürfen.

Reinigung:
Auftragsgeräte vor der Aushärtung des Klebstoffes mit Reiniger 9797.

Sicherheitshinweis:
Bei harten Laubhölzern und harten Exoten ist eine Probeklebung unerlässlich.

Eigenschaften der Klebstoff-Fuge

Wärmebeständigkeit:
EN 14292: >+150 °C

Wasserbeständigkeit:
EN 204-D4

Bindefestigkeit:
EN 204-D1

Zulassungen

Allgemeine bauaufsichtliche Zulassung vom DIBt (Deutsches Institut für Bautechnik) für die Herstellung von tragenden Holzbauteilen.
Zulassungsnummern: **Z-9.1-765**
Bestätigung von der MPA Universität Stuttgart zur Übereinstimmung mit EN 14080. Der Klebstoff kann für die Herstellung von Brettschichtholz nach EN 14080 verwendet werden.
Geprüft nach EN 15425 und klassifiziert als Typ I Klebstoff zur Verwendung in allen Nutzungsklassen.

Bei tragenden Anwendungen sind die jeweilig gültigen länderspezifischen Produktenormen zu beachten. Zur Gewährleistung einer hohen Verklebungsgüte wird eine geeignete Eigenüberwachung empfohlen.

LOCTITE® HB S309 PURBOND

Sicherheit und Umwelt

Schutzmassnahmen:
Alle Informationen entnehmen Sie der Etikette auf dem Gebinde oder dem Sicherheitsdatenblatt.
Entsorgung Gebinde:
Kontaminierte Verpackungen sind optimal zu entleeren. Gebinde mit ausgehärteten Klebstoffrückständen können auf dem üblichen Weg entsorgt werden (Hausmüll, Altmetall).
Entsorgung Klebstoff:
Nicht ausgehärtete Klebstoffreste können unter Beachtung der örtlichen Amtsvorschriften als Sondermüll entsorgt werden. Nicht in die Kanalisation gelangen lassen.
Abfallcode:
08 04 09 - Klebstoffe- und Dichtmassenabfälle, die organischen Lösemittel oder andere gefährliche Stoffe enthalten.

Lagerung

In dicht verschlossenen Originalgebinden bei +15 bis +25 °C trocken lagern. Vor Frost schützen. Vor Gebrauch umrühren. Beachten Sie das auf dem Gebinde aufgedruckte Verbrauchsdatum.

Auskunftgebende Stelle

Für anwendungstechnische Fragen steht Ihnen unser Beratungsdienst gerne zur Verfügung.

Erstelldatum

26.09.2016 - ersetzt alle früheren Ausgaben

Anmerkung
Dieses Produkt ist nur für erfahrene Anwender geeignet. Die Angaben entsprechen dem derzeitigen Stand der Technik und dienen ausschliesslich der Beratung. Ihr Inhalt ist ohne Rechtsverbindlichkeit und eine Gewährleistung für den Anwendungsfall besteht nicht. Gültig ist jeweils nur die neueste Ausgabe dieses Datenblattes.
Die Verantwortung für Verarbeitung und Einhaltung der dafür vorgesehenen Richtlinien liegen ausschliesslich beim Verarbeiter. Aufgrund unterschiedlicher Materialien und Arbeitsmethoden sind vor der Verarbeitung jeweils Eigenversuche durchzuführen. Bedingt durch technischen Fortschritt und Weiterentwicklung kann es zu Änderungen im Produkt kommen.

Thermische belasting van een natuurlijk brandconcept
Equivalente brandduur volgens de standaard brandkromme

R.A.P. van Herpen
Nieman Raadgevende Ingenieurs BV

Gasenergie en blootstellingsduur

De thermische belasting wordt bepaald door de interne energie van het gasvolume in de brandruimte en de tijdsduur van blootstelling. De interne energie in het gasvolume, gewogen in tijd, voor de totale blootstellingsduur aan het natuurlijk brandconcept kan worden vergeleken met de interne energie in het gasvolume, gewogen in tijd, voor de equivalente blootstellingsduur aan de standaard brandkromme. Uit die vergelijking kan de equivalente brandduur volgens de standaard brandkromme worden bepaald:

$$\frac{\int_0^{t_{end,nfc}} E_{g,nfc}\,dt}{t_{eq,sfc}} = \frac{\int_0^{t_{eq,sfc}} E_{g,sfc}\,dt}{t_{eq,sfc}} \qquad [\mathrm{J}] \qquad (1)$$

Met:

$E_{g,nfc}$	interne energie in het gasvolume, volgens het natuurlijk brandconcept [J]
$E_{g,sfc}$	interne energie in het gasvolume, volgens de standard brandkromme [J]
$t_{end,nfc}$	brandduur van het natuurlijk brandconcept [s]
$t_{eq,sfc}$	equivalent brandduur volgens de standaard brandkromme [s]

Vergelijking (1) komt neer op het vergelijken van de ‘energiedosis’ bij blootstelling aan het natuurlijk brandconcept met de ‘energiedosis’ bij blootstelling aan de standaard brandkromme:

$$\int_0^{t_{end,nfc}} E_{g,nfc}\,dt = \int_0^{t_{eq,sfc}} E_{g,sfc}\,dt \qquad [\mathrm{Js}] \qquad (2)$$

De interne gasenergie wordt hierin gedefinieerd door:

$$E_g(T_g) = m_g \cdot c_v(T_g) \cdot T_g \qquad [\mathrm{J}] \qquad (3)$$

Met:

E_g	interne energie in het gasvolume [J]
m_g	massa van het gasvolume [J]
T_g	temperatuur van het gasvolume [K]
$c_v(T_g)$	soortelijke warmte van het gasvolume [J/kgK]

De interne gasenergie onder brandcondities wordt vergeleken met een referentie gasenergie (geen brand). Het verschil van de interne gasenergie met de referentie gasenergie is de bijdrage ten gevolge van de brand:

$$\Delta E_g = E_g(T_g) - E_g(T_{ref}) \qquad [\text{J}] \qquad (4)$$

Het is gebruikelijk om het referentieniveau te definiëren bij een temperatuur van 293 K (20 ^{o}C). Echter, de gasenergie in de pre flashover fase levert voor de constructies in de brandruimte geen thermische belasting (behalve lokale invloeden). Om die reden lijkt een referentietemperatuur van 573 K (300 ^{o}C) realistischer. De pre flashover fase blijft dan buiten beschouwing.

Consequenties van de interne gasenergie voor warmtetransport

De interne gasenergie is de potentiële energie voor het warmtetransport dat door straling en convectie aan de constructie wordt toegevoerd. Dit warmtetransport is niet alleen afhankelijk van de gastemperatuur, maar ook van de materiaaltemperatuur van de constructie, en vormt zodoende de verbinding tussen thermische belasting en thermische respons van een constructie. Bij gelijke gastemperatuur zal het thermisch vermogen dat aan een constructie-element wordt toegevoerd voor elk constructiemateriaal verschillend zijn.

Warmtetransport door straling:

$$q_{rad} = \varepsilon_{res}\sigma(T_g^4 - T_m^4) \qquad [\text{W/m}^2] \qquad (5)$$

Warmtetransport door convectie:

$$q_{conv} = h_c(T_g - T_m) \qquad [\text{W/m}^2] \qquad (6)$$

Met:

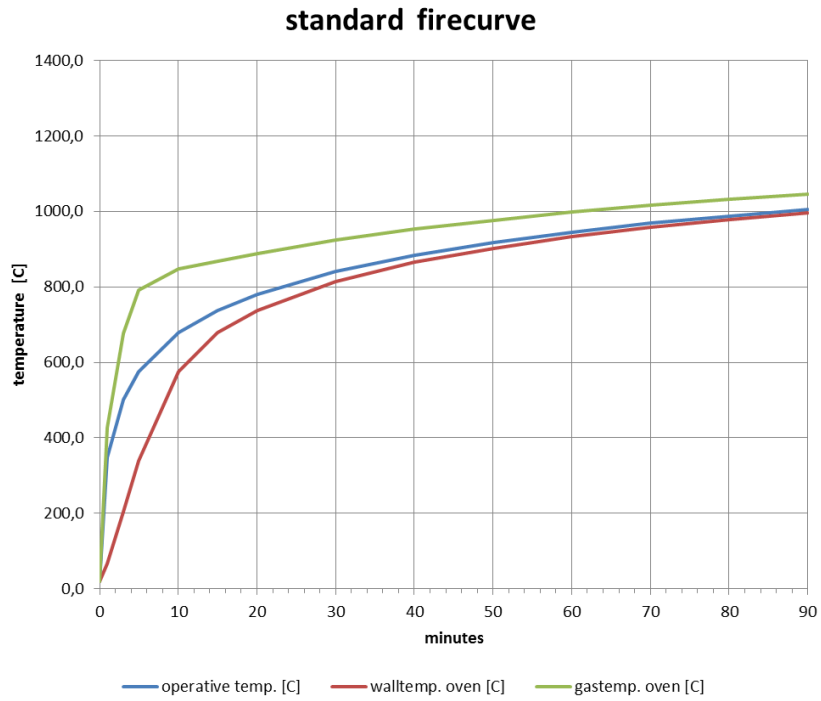
q	warmtestroomdichtheid door straling (rad) of convectie (conv) [W/m^2]
T	temperatuur van het gas (g) of het constructiemateriaal (m) [K]
h_c	convectieve overgangscoefficient [W/(m^{2}K)]
ε_{res}	resultante emissie/absorptie coefficient voor straling [-]
σ	constante van Stefan-Boltzmann ($5{,}67\cdot10^{-8}$) [W/(m.K^2)^2]

Het bovenstaande geeft aan dat het niet wenselijk is de thermische belasting en thermische respons (en daarmee ook de mechanische respons) los van elkaar te beschouwen. Echter, soms is dat onvermijdelijk, bij voorbeeld wanneer de thermische belasting volgens een natuurlijk brandconcept wordt beschouwd en de respons van de constructie getest is op basis van de standaard brandkromme.

In een test volgens de standaard brandkromme spelen dezelfde warmtestransportmechanismen een rol als gegeven in (5) en (6), alleen met dat verschil dat de warmtestraling vrijwel geheel bepaald wordt door de wanden van de testoven in plaats van door de gastemperatuur. Dat wordt veroorzaakt doordat het gas in de oven, in vergelijking met het gas in een brandruimte, vrijwel geen roetdeeltjes bevat.

De ovenwanden bezitten een thermische traagheid, de materiaaltemperatuur van de wanden is lager dan de gastemperatuur in de oven. Omdat in de testoven met plaatthermokoppels een

operatieve temperatuur wordt gemeten, die vervolgens overeen moet komen met de temperatuur volgens de standaard brandkromme, moet het achterblijven van het stralingstransport worden gecompenseerd door het convectieve warntetransport. De gastemperatuur in de oven moet daardoor hoger zijn dan de temperatuur volgens de standaard brandkromme.



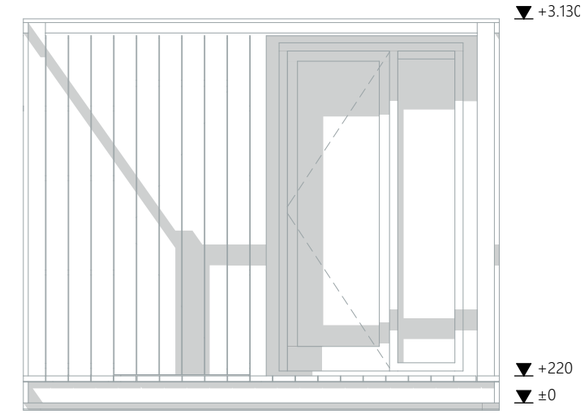
Figuur: De operatieve temperatuur in een testoven volgt de standaard brandkromme. Het stralingstransport blijft hierbij achter (in dit voorbeeld met een vertraging van 5 minuten). Dat moet worden gecompenseerd in de convectieve gastemperatuur. Ter vergelijking: in een brandruimte (natuurlijk brandconcept) vallen de drie temperatuurlijnen nagenoeg samen.

De bovenstaande figuur maakt duidelijk dat het warmtetransport ten gevolge van de standaard brandkromme in een testoven een andere verdeling in straling en convectie kent dan het warmtetransport ten gevolge van een natuurlijk brandconcept in de brandruimte. Door de operatieve temperatuur te beschouwen, waarin straling en convectie zijn gecombineerd, is deze verdeling in de thermische belasting van ondergeschikt belang.

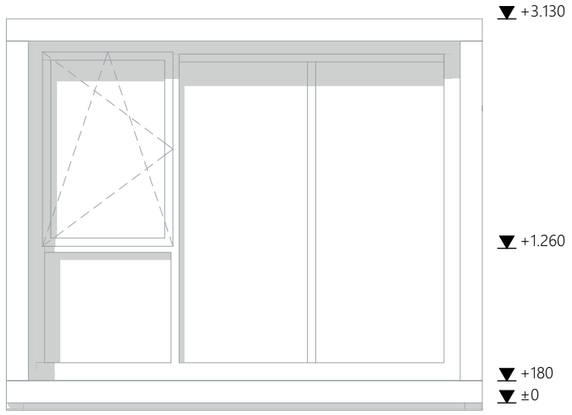
Conclusie

Wanneer het natuurlijk brandconcept wordt gehanteerd als thermische belasting, maar de thermische en mechanische respons niet rechtstreeks aan die thermische belasting gekoppeld kunnen worden, levert het uitdrukken van de belasting in equivalente minuten standaard brandkromme via vergelijking (1) of (2) een energetisch zinvolle vertaalslag.

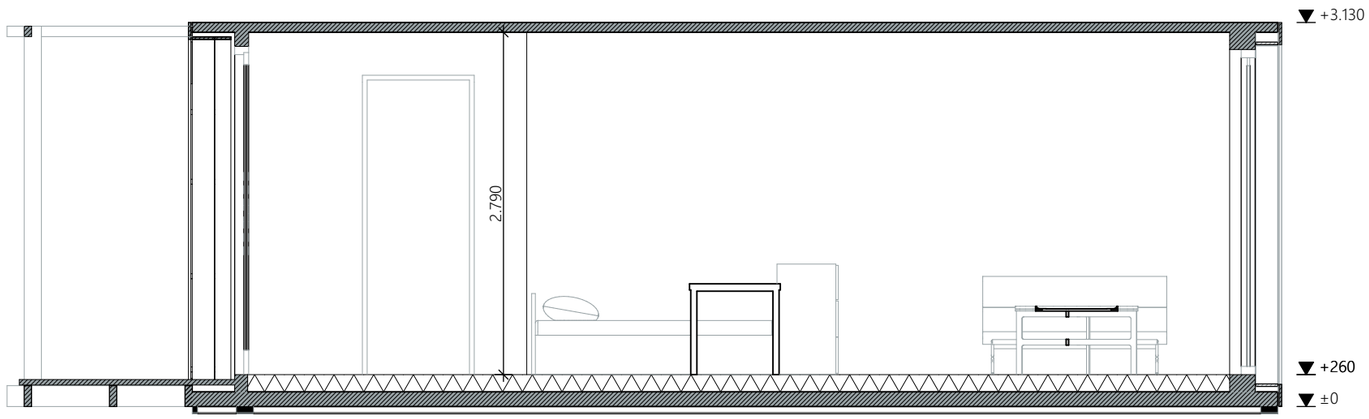
Bijlage I-3 Tekeningen Casus



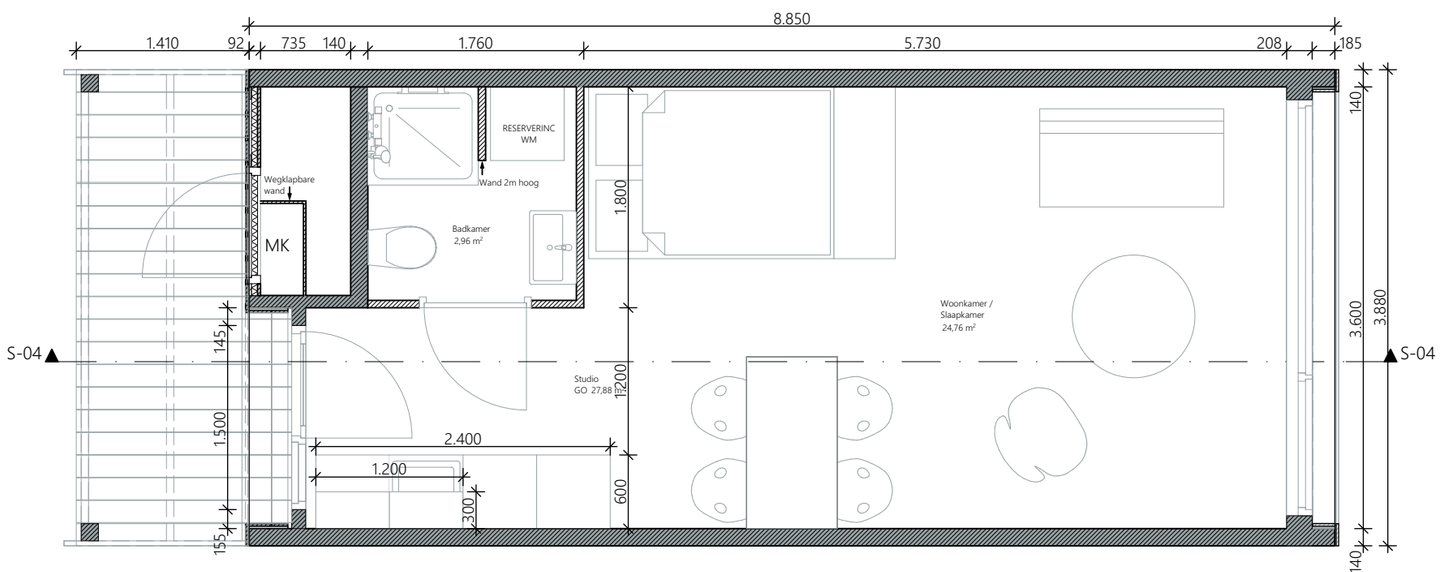
Gevel voordeur



Gevel balkon



Doorsnede



Plattegrond

Oppervlaktes:

GO: 27,88m²
VG: Woonkamer 24,76m²
Badkamer 2,96m²

Materialisatie:

Onderdeel	materiaal	kleur	afwerking
- Casco	CLT	hout	blanke lak
- Schuifpui	Vurenhout	Zwart	Verf
- Voordeur	Vurenhout	Zwart	Verf
- Buitengevel	WRC	hout	
- Constructie strip	staal	zwart	
- Vloer	linolium	grijs	

FINCH

Finch Buildings BV

Pop-up kantoor

Voor de huidige locatie raadpleeg onze website.

www.finchbuildings.com

Tekening

Leiden Sumatrastraat

Finch Studio

1 Module Woning met 1 kamer, Badkamer type1A, Pui 1130C, Balkon 185mm en Galerij

Getekend door	Datum:
Despo Panayidou	14-7-2016
Schaal voor A3:	Fase:
1:50	DO
tekeningnummer:	Status:
F-STA-8850-1MOD-WN-1K-BAD1A-KEU1-P1130C-B185-GA	Definitief

RAADGEVENDE INGENIEURS
Nieman
Groep

BIJLAGE I-4

Statische Berekening

Sumatrastraat te Leiden

Deze casus is beschikbaar gesteld door Finch Buildings B.V. te Amsterdam en
De Groot Vroomshoop Groep B.V. te Vroomshoop

datum: 25 mei 2018
constructeur: P.C. Zee



Inhoudsopgave

1. Uitgangspunten
1.1 Algemeen 1.1
1.2 Belastingfactoren 1.1
1.3 Normen 1.1
1.4 Constructieve opbouw 1.2
1.6 Brandveiligheid 1.2

2. Belastingaannamen
2.1 Permanente belasting 2.1
2.2 Veranderlijke belasting 2.1

3. Bovenbouw
3.1 Dakvloer 3.1
3.2 Verdiepingsvloer 3.1
3.3 Wand CLT 100 mm (bgg) 3.1
3.4 Windbelasting gevel 3.1

Totaal: **5** pagina

A. Bijlagen
A1 CLT 100 C5s
A2 Gereduceerde doorsnede: berekende inbranddiepte
A3 Gereduceerde doorsnede: gemiddeld
A4 Gereduceerde doorsnede: variatie soortelijke massa
A5 Gereduceerde doorsnede: variatie volumieke massacoëfficiënt
A6 Gereduceerde doorsnede: variatie soortelijke warmte
A7 Gereduceerde doorsnede: variatie thermische geleiding
A8 Gereduceerde doorsnede: variatie temperatuurbestendigheid lijmlaag

1 Uitgangspunten

1.1 Projectomschrijving

In deze rapportage wordt de constructieve beschouwing aangaande het werk Finch wonen te Leiden. Deze bestaat uit standaard "Finch Units" die aan elkaar worden geschakeld en op elkaar worden gestapeld.

1.1 Algemeen

Gebouwfunctie	= Woongebouw
Ontwerplevensduur	= Klasse 3 - 50 jaar
Gevolgklasse	= CC2
Betrouwbaarheidsklasse	= RC2
Factor K_{fi}	= 1,15

1.2 Belastingcombinaties

Uiterste grenstoestand (UGT)

Groep A - Statisch evenwicht (EQU)

6.10-1 $$\sum_{j\geq 1} 1{,}1 \cdot Gk_{;j;sup} + 1{,}5 \cdot Qk_{;1} + \sum_{j>i} 1{,}5 \cdot \Psi_{0;i} \cdot Q_{k;i}$$

6.10-2 $$\sum_{j\geq 1} 0{,}9 \cdot Gk_{;j;inf} + 1{,}5 \cdot Qk_{;1} + \sum_{j>i} 1{,}5 \cdot \Psi_{0;i} \cdot Q_{k;i}$$

Groep B - Ontwerp en berekening van constructieve elementen (STR/GEO)

6.10-a1 $$\sum_{j\geq 1} 1{,}35 \cdot Gk_{;j;inf} + \sum_{j>i} 1{,}5 \cdot \Psi_{0;i} \cdot Q_{k;i}$$

6.10-a2 $$\sum_{j\geq 1} 0{,}9 \cdot Gk_{;j;inf} + \sum_{j>i} 1{,}5 \cdot \Psi_{0;i} \cdot Q_{k;i}$$

6.10-b1 $$\sum_{j\geq 1} 1{,}2 \cdot Gk_{;j;inf} + 1{,}5 \cdot Qk_{;1} + \sum_{j>i} 1{,}5 \cdot \Psi_{0;i} \cdot Q_{k;i}$$

6.10-b2 $$\sum_{j\geq 1} 0{,}9 \cdot Gk_{;j;inf} + 1{,}5 \cdot Qk_{;1} + \sum_{j>i} 1{,}5 \cdot \Psi_{0;i} \cdot Q_{k;i}$$

Bruikbaarheidsgrenstoestand (BGT)

Karakteristiek $$G_{k;j} + Qk_{;1} + \sum_{j>i} \Psi_{0;i} \cdot Qk_{;i}$$

Frequent $$G_{k;j} + \Psi_{1;1} \cdot Q_{k;1} + \sum_{j>i} \Psi_{2;i} \cdot Qk_{;i}$$

Quasi-Blijvend $$G_{k;j} + \Psi_{2;1} \cdot Q_{k;1} + \sum_{j>i} \Psi_{2;i} \cdot Qk_{;i}$$

Buitengewone ontwerpsituatie (brandcondities)

6.11-a/b $$\sum_{j\geq 1} 1{,}10 \cdot Gk + 1{,}0 \cdot Ad + Q_{k;1} \cdot \Psi_2 \sum_{j>i} Q_k \Psi_2$$

1.3 Voorschriften

NEN-EN 1990 - Grondslagen	*(Eurocode 0)*
NEN-EN 1991 - Belastingen	*(Eurocode 1)*
NEN-EN 1992 - Betonconstructies	*(Eurocode 2)*
NEN-EN 1993 - Staalconstructies	*(Eurocode 3)*
NEN-EN 1994 - Staal-Betonconstructies	*(Eurocode 4)*
NEN-EN 1995 - Houtconstructies	*(Eurocode 5)*
NEN-EN 1996 - Metselwerkconstructies	*(Eurocode 6)*
NEN-EN 1997 - Geotechnisch ontwerp	*(Eurocode 7)*

1.4 Constructieve opbouw

Plat dak	= CLT 80 L3s	*(C24)*
Begane grondvloer	= CLT 120 L5s	*(C24)*

1.5 Brandveiligheid (conform Bouwbesluit 2012)

Algemeen

Gebouwtype:
Woonfunctie in een woongebouw

Hoogste vloerniveau met verblijfsfunctie	=	9,0	m
Aantal bouwlagen vanaf meetniveau	=	4	Bouwlagen

Brandveiligheid m.b.t. bezwijken van de hoofddraagconstructie

Brandwerendheidseis = 90 min. *(conform art. 2.9.2.)*

Brandveiligheid mbt vluchten

Brandwerendheidseis = 30 min. *(conform art. 2.9.1.)*

2 Belastingaannamen

2.1 Permanente belasting

Dak

pv panelen	=	0,15 kN/m^2
isolatie en dakbedekking	=	0,20 kN/m^2
installatie en afwerking	=	0,10 kN/m^2
plafond CLT 80 L3s	=	0,40 kN/m^2
	=	**0,85 kN/m^2**

Vloeren

afwerking	=	0,10 kN/m^2
Afwerklaag 50mm	=	1,00 kN/m^2
CLT 120 L5s	=	0,60 kN/m^2
Plafond CLT 80 L3s	=	0,40 kN/m^2
	=	**2,10 kN/m^2**

Eigen Gewichten

CLT wand 140 mm + afwerking	=	0,80 kN/m^2

2.2 Veranderlijke belasting

Sneeuwbelasting

		Hellingsgraad	$s_{k;rep}$	μ_1	$S_{e:rep}$	ψ_0
Dak	=	0°	0,70 kN/m^2	0,80	0,56 kN/m^2	0,00

S_k = **0,56 kN/m²**

Windbelasting



Windgebied:	II - onbebouwd
Gebouwhoogte h:	13 m
Gebouwbreedte b:	9 m
Gebouwlengte l:	16 m

Extreme stuwdruk

$q_{p(z);rep}$	ψ_0
0,92 kN/m²	0,00

$q_{p(z);rep}$ = **0,92 kN/m²**

Vloeren

Functie/ belastingklasse	q_k	Q_k	ψ_0	ψ_1	ψ_2
A: Woon- en verblijfsruimtes	1,75 kN/m²	3,0 kN	0,40	0,50	0,30
H: Daken (niet toegankelijk)	1,00 kN/m²	2,0 kN	0,00	0,00	0,00

Lichte scheidingswanden

Scheidingswanden met een eigen gewicht ≤ 2,0 kN/m wandlengte. **0,80 kN/m²**

Volgens NEN-1991-1-1 (art. 6.3.1.2-8) dient de belasting ten gevolge van verplaatsbare scheidingswanden opgeteld te worden bij de opgelegde vloerbelasting.

3 Bovenbouw

3.1 Dakvloer

Uitgaande van een toelaatbare nuttige belasting van 1,00 kN/m² met ψ_0 = 0,0.

P (excl. eigen gewicht)	Lengte [m]	P_g [kN/m^2]	P_q [kN/m^2]	ψ_0	P_g [kN/m^2]	P_q [kN/m^2]	
Dakvloer	1,00	0,45	1,00	0,00	0,45	1,00	
				0,00	0,45	1,00	kN/m^2

3.2 Verdiepingsvloer

P (excl. eigen gewicht)	Lengte [m]	P_g [kN/m^2]	P_q [kN/m^2]	ψ_0	P_g [kN/m^2]	P_q [kN/m^2]	
Vloer	1,00	1,50	3,30	0,00	1,50	3,30	
					1,50	3,30	kN/m^2

3.2 Wand CLT 100 mm (bgg)

Belasting van 4 bouwlagen, h = 3,0 m
Voor berekening van de wand zie bijlage A1. Kies CLT 100 C5s.

Q *(lijnlast)*	Lengte [m]	P_g [kN/m^2]	P_q [kN/m^2]	ψ_0	Q_g [kN/m^1]	Q_q [kN/m^1]	
Dak	3,60	0,85	1,00	0,00	3,06	3,60	*extreem*
3e verdiepingsvloer	1,80	2,10	3,30	0,40	3,78	5,94	*extreem*
2e verdiepingsvloer	1,80	2,10	3,30	0,40	3,78	5,94	
1e verdiepingsvloer	1,80	2,10	3,30	0,40	3,78	5,94	
CLT wand 140 mm + afw	9,90	0,80	0,00	0,00	7,92		
					22,40	14,30	kN/m^1

Q_k = **36,7 kN/m^1**
Q_d = **48,3 kN/m^1**

3.3 Windbelasting gevel

<u>Windbelasting loodrecht op het gevelvlak</u>

Stuwdruk $q_{p(z)}$ = 0,92 kN/m²
Verhouding h/b = 0,80
Winddruk $C_{pe;1}$ = 1,00
Windzuiging $C_{pe;1}$ = -0,5

Winddruk Q_{druk} = 0,92 kN/m^2
Windbelasting $Q_{wind;k}$ = 0,92 kN/m^1

M_{rep} = **1,25 kNm**
M_{ed} = **1,88 kNm**

3.3 Brand

Belastingen van 4 bouwlagen, h = 3,0 m
Voor berekening van de wand zie bijlage A2 t/m A8.

Q *(lijnlast)*	Lengte [m]	P_g [kN/m^2]	P_q [kN/m^2]	ψ_2	Q_g [kN/m^1]	Q_q [kN/m^1]	
Dak	3,60	0,85	1,00	0,00	3,06	3,60	*extreem*
3e verdiepingsvloer	1,80	2,10	3,30	0,30	3,78	5,94	*extreem*
2e verdiepingsvloer	1,80	2,10	3,30	0,30	3,78	5,94	
1e verdiepingsvloer	1,80	2,10	3,30	0,30	3,78	5,94	
CLT wand 140 mm + afw	9,90	0,80	0,00	0,00	7,92		
					22,40	13,20	kN/m^1

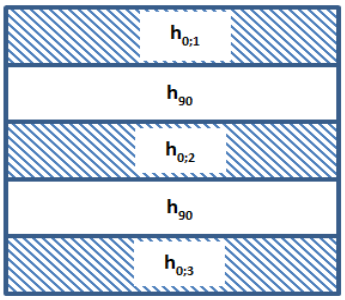
Q_k = **35,6 kN/m^1**
Q_d = **37,8 kN/m^1**

BIJLAGE A1 - CLT 100 C5s

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	Functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	8450 mm	Ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	Tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	Gevolgklasse	=	CC2
$h_{0;1} = h_{0;3}$	=	20 mm	Betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
$h_{0;2}$	=	20 mm	Materiaalfactor γ_M	=	1,25
h_{90}	=	20 mm			



Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	Buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	Buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	11,52 N/mm²
k_{mod}	=	0,60	Druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
k_{def}	=	0,60	Druksterkte $f_{c;0;d}$	=	10,08 N/mm²
A_{tot}	=	100000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$A_{0;net}$	=	60000 mm²	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;1} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	Afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
$I_{0;2}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴			
$EI_{0;eff}$	=	$0{,}66 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}60 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}66 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net}$	=	$1{,}32 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Lang
Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht N_{Ed}	=	48,33 kN
Veranderlijk Q_k	=	14,30 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed}$	=	1,88 kNm

Knikberekening

Effectieve slankheid λ_{eff}	=	94,579	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	0,81 N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	1,60	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	1,42 N/mm²
β_c	=	0,1			
Instabiliteitsfactor k_y	=	1,85			
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,36			
k_m	=	0,7			

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}22 + 0{,}124 + 0 = 0{,}35$$ ✔

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}22 + 0{,}087 + 0 = 0{,}31$$ ✔

BIJLAGE A2 - Gereduceerde doorsnede: berekende inbranddiepte

Analyse: t = 36 min (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	36 min	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00
			k_{fi}	=	1,15

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,65 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbrandsnelheid β_0	=	0,86 mm/min[1]	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	24,5 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{90;2}$	=	8,5 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	31,5 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm			
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	68500 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}45 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	0,76 kNm

[1] inbrandsnelheid vanaf 2e lamel

Knikberekening						
Effectieve slankheid $l_{eff,fi}$	=	189,74 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	0,95	N/mm²
Relatieve slankheid $l_{rel,y}$	=	3,22 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	1,31	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}21 + 0{,}047 + 0 = 0{,}26$$ ✓

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}21 + 0{,}033 + 0 = 0{,}24$$ ✓

BIJLAGE A2 - Gereduceerde doorsnede: berekende inbranddiepte

Analyse: t = 44,5 min (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	45 min	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00
			k_{fi}	=	1,15

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,65 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbrandsnelheid β_0	=	0,86 mm/min[1]	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	31,8 mm	$h_{0;2}$	=	19,5 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{90;2}$	=	0,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	38,8 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm			
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	59500 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15 N/mm²
$A_{0;net}$	=	39500 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}62 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}57 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}53 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	0,77 kNm

[1] inbrandsnelheid vanaf 2e lamel

Knikberekening

Effectieve slankheid $l_{eff,fi}$	=	187,64	mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	0,96	N/mm²
Relatieve slankheid $l_{rel,y}$	=	3,18	mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	1,35	N/mm²
β_c	=	0,1	mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,71	mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19					
k_m	=	0,7					

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,21 + 0,049 + 0 = 0,26$$ ✓

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,21 + 0,034 + 0 = 0,25$$ ✓

BIJLAGE A2 - Gereduceerde doorsnede: berekende inbranddiepte

Analyse: t = 90 min (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Bouwbesluit 2012	=	R90	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00
			k_{fi}	=	1,15

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,65 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbrandsnelheid β_0	=	0,86 mm/min[1]	$h_{90;1}$	=	2,1 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	70,9 mm	$h_{0;2}$	=	0,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{90;2}$	=	0,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	77,9 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	10 mm			
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	40 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	22100 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15 N/mm²
$A_{0;net}$	=	20000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	0,6667 · 10^6 mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	0,00 · 10^6 mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	0,02 · 10^{12} N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	0,02 · 10^8 mm⁴			
$I_{0;net}$	=	0,01 · 10^8 mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	0,07 · 10^6 mm³			
$W_{0;net,u}$	=	0,06 · 10^6 mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	1,51 kNm

[1] inbrandsnelheid vanaf 2e lamel

Knikberekening						
Effectieve slankheid $l_{eff,fi}$	=	300 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	1,89	N/mm²
Relatieve slankheid $l_{rel,y}$	=	5,09 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	22,70	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	13,68 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}42 + 0{,}823 + 0 = 1{,}24$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}42 + 0{,}576 + 0 = 0{,}99$$ ✓

Analyse 1: t = 36 min (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	36 min	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00
			k_{fi}	=	1,15

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,43 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	15,5 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	22,5 mm	$h_{90;2}$	=	17,5 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	77500 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}36 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	0,76 kNm

Analyse 1: t = 36 min (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	0,95	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	1,31	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}21 + 0{,}047 + 0 = 0{,}26$$ ✓

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}21 + 0{,}033 + 0 = 0{,}24$$ ✓

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	36 min	materiaalfactor γ_M	=	1,25

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,43 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	15,5 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	22,5 mm	$h_{90;2}$	=	17,5 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	11,52 N/mm²
k_{mod}	=	0,60	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	77500 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	10,08 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}36 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Lang

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	48,33 kN
Veranderlijk Q_k	=	14,30 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	2,84 kNm

Analyse 1: t = 36 min (gebruikscondities: toetsing UGT)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74	mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	1,21 N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22	mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	4,92 N/mm²
β_c	=	0,1	mm			
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82	mm			
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}427 + 0 = 1{,}06$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}299 + 0 = 0{,}94$$ ✓

Analyse 1: t = 44,5 min (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	45 min	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00
			k_{fi}	=	1,15

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,37 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	16,5 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	23,5 mm	$h_{90;2}$	=	16,5 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	76500 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}37 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	0,76 kNm

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74	mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	0,95	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22	mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	1,31	N/mm²
β_c	=	0,1	mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82	mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19					
k_m	=	0,7					

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,21 + 0,047 + 0 = 0,26$$ ✓

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,21 + 0,033 + 0 = 0,24$$ ✓

BIJLAGE A3 - Gereduceerde doorsnede: gemiddelde randcondities

Analyse 1: t = 44,5 min (gebruikscondities: toetsing UGT)

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	45 min	materiaalfactor γ_M	=	1,25

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,37 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	16,5 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	23,5 mm	$h_{90;2}$	=	16,5 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	11,52 N/mm²
k_{mod}	=	0,60	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	76500 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	10,08 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}37 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Lang

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	48,33 kN
Veranderlijk Q_k	=	14,30 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	2,84 kNm

Analyse 1: t = 44,5 min (gebruikscondities: toetsing UGT)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	1,21	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	4,92	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}427 + 0 = 1{,}06$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}299 + 0 = 0{,}94$$ ✓

Analyse 1: t = 90 min (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Bouwbesluit 2012	=	R90	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00
			k_{fi}	=	1,15

Inbranding

			gereduceerde doorsnede			
Inbrandsnelheid β_0	=	0,62 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0	mm
Inbranddiepte d_{char}	=	55,6 mm	$h_{90;1}$	=	17,4	mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	0,0	mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	62,6 mm	$h_{90;2}$	=	0,0	mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	10 mm	$h_{0;3}$	=	0,0	mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	40 mm				

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	37400 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15 N/mm²
$A_{0;net}$	=	20000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}00 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}02 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}02 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}01 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}07 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}02 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	1,51 kNm

Analyse 1: t = 90 min (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Knikberekening						
Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	300 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	1,89	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	5,09 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	22,70	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	13,68 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}42 + 0{,}823 + 0 = 1{,}24$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}42 + 0{,}576 + 0 = 0{,}99$$ ✓

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Bouwbesluit 2012	=	R90	materiaalfactor γ_M	=	1,25

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,62 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	55,6 mm	$h_{90;1}$	=	17,4 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	0,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	62,6 mm	$h_{90;2}$	=	0,0 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	10 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	40 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	11,52 N/mm²
k_{mod}	=	0,60	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	37400 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	10,08 N/mm²
$A_{0;net}$	=	20000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}00 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}02 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}02 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}01 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}07 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}02 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Lang

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	48,33 kN
Veranderlijk Q_k	=	14,30 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	3,81 kNm

Analyse 1: t = 90 min (gebruikscondities: toetsing UGT)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	300	mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	2,42	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	5,09	mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	57,16	N/mm²
β_c	=	0,1	mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	13,68	mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19					
k_m	=	0,7					

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 1{,}28 + 4{,}962 + 0 = 6{,}24$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 1{,}28 + 3{,}473 + 0 = 4{,}75$$ ✗

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	36 min	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00
			k_{fi}	=	1,15

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,45 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	16,3 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	23,3 mm	$h_{90;2}$	=	16,7 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	76700 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}37 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	0,76 kNm

Knikberekening						
Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	0,95	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	1,31	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}21 + 0{,}047 + 0 = 0{,}26$$ ✓

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}21 + 0{,}033 + 0 = 0{,}24$$ ✓

BIJLAGE A4 - Gereduceerde doorsnede: variatie soortelijke massa

Analyse 2: t = 36 min (gebruikscondities: toetsing UGT)

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	36 min	materiaalfactor γ_M	=	1,25

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,45 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	16,3 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	23,3 mm	$h_{90;2}$	=	16,7 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	11,52 N/mm²
k_{mod}	=	0,60	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	76700 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	10,08 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}37 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Lang

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	48,33 kN
Veranderlijk Q_k	=	14,30 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	2,84 kNm

Knikberekening						
Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	1,21	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	4,92	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}427 + 0 = 1{,}06$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}299 + 0 = 0{,}94$$ ✓

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	45 min	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00
			k_{fi}	=	1,15

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,43 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	19,0 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	26,0 mm	$h_{90;2}$	=	14,0 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	74000 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}39 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	0,76 kNm

Analyse 2: t = 44,5 min (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	0,95	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	1,31	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}21 + 0{,}047 + 0 = 0{,}26$$ ✓

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}21 + 0{,}033 + 0 = 0{,}24$$ ✓

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	45 min	materiaalfactor γ_M	=	1,25

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,43 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	19,0 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	26,0 mm	$h_{90;2}$	=	14,0 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	11,52 N/mm²
k_{mod}	=	0,60	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	74000 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	10,08 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}39 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Lang
Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	48,33 kN
Veranderlijk Q_k	=	14,30 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	2,84 kNm

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74	mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	1,21	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22	mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	4,92	N/mm²
β_c	=	0,1	mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82	mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19					
k_m	=	0,7					

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}427 + 0 = 1{,}06$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}299 + 0 = 0{,}94$$ ✓

BIJLAGE A4 - Gereduceerde doorsnede: variatie soortelijke massa

Analyse 2: t = 90 min (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Bouwbesluit 2012	=	R90	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00
			k_{fi}	=	1,15

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,64 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	57,6 mm	$h_{90;1}$	=	15,4 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	0,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	64,6 mm	$h_{90;2}$	=	0,0 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	10 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	40 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	35400 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15 N/mm²
$A_{0;net}$	=	20000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}00 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}02 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}02 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}01 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}07 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}03 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	1,51 kNm

Knikberekening						
Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	300 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	1,89	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	5,09 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	22,70	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	13,68 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}42 + 0{,}823 + 0 = 1{,}24$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}42 + 0{,}576 + 0 = 0{,}99$$ ✓

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Bouwbesluit 2012	=	R90	materiaalfactor γ_M	=	1,25

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,64 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	57,6 mm	$h_{90;1}$	=	15,4 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	0,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	64,6 mm	$h_{90;2}$	=	0,0 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	10 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	40 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	11,52 N/mm²
k_{mod}	=	0,60	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	35400 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	10,08 N/mm²
$A_{0;net}$	=	20000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}00 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}02 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}02 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}01 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}07 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}03 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Lang
Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	48,33 kN
Veranderlijk Q_k	=	14,30 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	3,81 kNm

Knikberekening						
Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	300 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	2,42	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	5,09 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	57,16	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	13,68 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}$	=	1,28	+	4,962	+	0	=	6,24 ✗
$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}$	=	1,28	+	3,473	+	0	=	4,75 ✗

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	36 min	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00
			k_{fi}	=	1,15

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,43 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	15,5 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	22,5 mm	$h_{90;2}$	=	17,5 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	77500 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}36 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	0,76 kNm

Analyse 3: t = 36 min (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74	mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	0,95 N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22	mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	1,31 N/mm²
β_c	=	0,1	mm			
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82	mm			
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}21 + 0{,}047 + 0 = 0{,}26$$ ✓

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}21 + 0{,}033 + 0 = 0{,}24$$ ✓

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	36 min	materiaalfactor γ_M	=	1,25

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,43 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	15,5 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	22,5 mm	$h_{90;2}$	=	17,5 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	11,52 N/mm²
k_{mod}	=	0,60	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	77500 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	10,08 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}36 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Lang

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	48,33 kN
Veranderlijk Q_k	=	14,30 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	2,84 kNm

Analyse 3: t = 36 min (gebruikscondities: toetsing UGT)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	1,21	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	4,92	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}427 + 0 = 1{,}06$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}299 + 0 = 0{,}94$$ ✓

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	45 min	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00
			k_{fi}	=	1,15

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,38 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	17,0 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	24,0 mm	$h_{90;2}$	=	16,0 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	76000 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}38 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	0,76 kNm

Analyse 3: t = 44,5 min (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	0,95	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	1,31	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}21 + 0{,}047 + 0 = 0{,}26$$ ✓

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}21 + 0{,}033 + 0 = 0{,}24$$ ✓

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	45 min	materiaalfactor γ_M	=	1,25

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,38 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	17,0 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	24,0 mm	$h_{90;2}$	=	16,0 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	11,52 N/mm²
k_{mod}	=	0,60	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	76000 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	10,08 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}38 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Lang

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	48,33 kN
Veranderlijk Q_k	=	14,30 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	2,84 kNm

BIJLAGE A5 - Gereduceerde doorsnede: variatie volumieke massacoëfficiënt

Analyse 3: t = 44,5 min (gebruikscondities: toetsing UGT)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	1,21	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	4,92	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}427 + 0 = 1{,}06$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}299 + 0 = 0{,}94$$ ✓

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Bouwbesluit 2012	=	R90	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00
			k_{fi}	=	1,15

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,62 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	55,6 mm	$h_{90;1}$	=	17,4 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	0,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	62,6 mm	$h_{90;2}$	=	0,0 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	10 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	40 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	37400 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15 N/mm²
$A_{0;net}$	=	20000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}00 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}02 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}02 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}01 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}07 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}02 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	1,51 kNm

Analyse 3: t = 90 min (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	300	mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	1,89	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	5,09	mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	22,70	N/mm²
β_c	=	0,1	mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	13,68	mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19					
k_m	=	0,7					

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}42 + 0{,}823 + 0 = 1{,}24$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}42 + 0{,}576 + 0 = 0{,}99$$ ✓

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Bouwbesluit 2012	=	R90	materiaalfactor γ_M	=	1,25

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,64 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	57,6 mm	$h_{90;1}$	=	17,4 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	0,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	64,6 mm	$h_{90;2}$	=	0,0 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	10 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	40 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	11,52 N/mm²
k_{mod}	=	0,60	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	37400 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	10,08 N/mm²
$A_{0;net}$	=	20000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}00 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}02 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}02 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}01 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}07 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}03 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Lang

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	48,33 kN
Veranderlijk Q_k	=	14,30 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	3,81 kNm

Analyse 3: t = 90 min (gebruikscondities: toetsing UGT)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	300	mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	2,42	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	5,09	mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	57,16	N/mm²
β_c	=	0,1	mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	13,68	mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19					
k_m	=	0,7					

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 1{,}28 + 4{,}962 + 0 = 6{,}24$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 1{,}28 + 3{,}473 + 0 = 4{,}75$$ ✗

Analyse 4: t = 36 min (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	36 min	materiaalfactor γ_M	=	1,25
			k_{fi}	=	1,00

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,43 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	15,5 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	22,5 mm	$h_{90;2}$	=	17,5 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	19,20 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	77500 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	16,80 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}36 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	0,76 kNm

Analyse 4: t = 36 min (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	0,95	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	1,31	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}30 + 0{,}068 + 0 = 0{,}37$$ ✓

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}30 + 0{,}048 + 0 = 0{,}35$$ ✓

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	36 min	materiaalfactor γ_M	=	1,25

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,43 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	15,5 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	22,5 mm	$h_{90;2}$	=	17,5 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	11,52 N/mm²
k_{mod}	=	0,60	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	77500 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	10,08 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}36 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Lang

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	48,33 kN
Veranderlijk Q_k	=	14,30 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	2,84 kNm

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	1,21	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	4,92	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}427 + 0 = 1{,}06$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}299 + 0 = 0{,}94$$ ✓

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	45 min	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00
			k_{fi}	=	1,15

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,38 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	17,1 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	24,1 mm	$h_{90;2}$	=	15,9 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	75900 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}38 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	0,76 kNm

Analyse 4: t = 44,5 min (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	0,95	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	1,31	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}21 + 0{,}047 + 0 = 0{,}26$$ ✓

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}21 + 0{,}033 + 0 = 0{,}24$$ ✓

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	45 min	materiaalfactor γ_M	=	1,25

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,38 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	17,1 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	24,1 mm	$h_{90;2}$	=	15,9 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	11,52 N/mm²
k_{mod}	=	0,60	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	75900 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	10,08 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}38 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Lang

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	48,33 kN
Veranderlijk Q_k	=	14,30 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	2,84 kNm

Analyse 4: t = 44,5 min (gebruikscondities: toetsing UGT)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	1,21	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	4,92	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}427 + 0 = 1{,}06$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}299 + 0 = 0{,}94$$ ✓

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Bouwbesluit 2012	=	R90	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00
			k_{fi}	=	1,15

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,62 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	55,6 mm	$h_{90;1}$	=	17,4 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	0,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	62,6 mm	$h_{90;2}$	=	0,0 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	10 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	40 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	37400 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15 N/mm²
$A_{0;net}$	=	20000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}00 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}02 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}02 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}01 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}07 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}02 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	1,51 kNm

Analyse 4: t = 90 min (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	300 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	1,89	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	5,09 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	22,70	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	13,68 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}42 + 0{,}823 + 0 = 1{,}24$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}42 + 0{,}576 + 0 = 0{,}99$$ ✓

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Bouwbesluit 2012	=	R90	materiaalfactor γ_M	=	1,25

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,64 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	57,6 mm	$h_{90;1}$	=	17,4 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	0,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	64,6 mm	$h_{90;2}$	=	0,0 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	10 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	40 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	11,52 N/mm²
k_{mod}	=	0,60	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	37400 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	10,08 N/mm²
$A_{0;net}$	=	20000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}00 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}02 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}02 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}01 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}07 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}03 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Lang

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	48,33 kN
Veranderlijk Q_k	=	14,30 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	3,81 kNm

Analyse 4: t = 90 min (gebruikscondities: toetsing UGT)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	300 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	2,42	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	5,09 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	57,16	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	13,68 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 1{,}28 + 4{,}962 + 0 = 6{,}24$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 1{,}28 + 3{,}473 + 0 = 4{,}75$$ ✗

Analyse 5: t = 36 minuten (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	36 min	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00
			k_{fi}	=	1,15

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,45 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	16,1 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	23,1 mm	$h_{90;2}$	=	16,9 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	76900 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}37 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	0,76 kNm

Analyse 5: t = 36 minuten (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	0,95	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	1,31	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}21 + 0{,}047 + 0 = 0{,}26$$ ✓

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}21 + 0{,}033 + 0 = 0{,}24$$ ✓

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	36 min	materiaalfactor γ_M	=	1,25

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,45 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	16,1 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	23,1 mm	$h_{90;2}$	=	16,9 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	11,52 N/mm²
k_{mod}	=	0,60	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	76900 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	10,08 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}37 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Lang

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	48,33 kN
Veranderlijk Q_k	=	14,30 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	2,84 kNm

Analyse 5: t = 36 min (gebruikscondities: toetsing UGT)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	1,21	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	4,92	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}427 + 0 = 1{,}06$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}299 + 0 = 0{,}94$$ ✓

Analyse 5: t = 44,5 minuten (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	45 min	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00
			k_{fi}	=	1,15

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,41 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	18,4 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	25,4 mm	$h_{90;2}$	=	14,6 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	74600 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}39 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	0,76 kNm

Analyse 5: t = 44,5 minuten (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	0,95	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	1,31	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}21 + 0{,}047 + 0 = 0{,}26$$ ✓

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}21 + 0{,}033 + 0 = 0{,}24$$ ✓

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	45 min	materiaalfactor γ_M	=	1,25

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,41 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	18,4 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	25,4 mm	$h_{90;2}$	=	14,6 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	11,52 N/mm²
k_{mod}	=	0,60	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	74600 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	10,08 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}39 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Lang

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	48,33 kN
Veranderlijk Q_k	=	14,30 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	2,84 kNm

Analyse 5: t = 44,5 min (gebruikscondities: toetsing UGT)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	1,21	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	4,92	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}427 + 0 = 1{,}06$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}299 + 0 = 0{,}94$$ ✓

Analyse 5: t = 90 minuten (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Bouwbesluit 2012	=	R90	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00
			k_{fi}	=	1,15

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,63 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	56,3 mm	$h_{90;1}$	=	16,7 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	0,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	63,3 mm	$h_{90;2}$	=	0,0 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	10 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	40 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	36700 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15 N/mm²
$A_{0;net}$	=	20000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}00 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}02 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}02 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}01 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}07 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}02 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	1,51 kNm

Analyse 5: t = 90 minuten (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	300 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	1,89	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	5,09 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	22,70	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	13,68 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}42 + 0{,}823 + 0 = 1{,}24$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}42 + 0{,}576 + 0 = 0{,}99$$ ✓

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Bouwbesluit 2012	=	R90	materiaalfactor γ_M	=	1,25

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,63 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	56,3 mm	$h_{90;1}$	=	16,7 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	0,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	63,3 mm	$h_{90;2}$	=	0,0 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	10 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	40 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	11,52 N/mm²
k_{mod}	=	0,60	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	36700 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	10,08 N/mm²
$A_{0;net}$	=	20000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}00 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}02 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}02 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}01 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}07 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}02 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Lang
Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	48,33 kN
Veranderlijk Q_k	=	14,30 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	3,81 kNm

Analyse 5: t = 90 min (gebruikscondities: toetsing UGT)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	300 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	2,42	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	5,09 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	57,16	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	13,68 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}$	=	1,28	+	4,962	+	0	=	6,24 ✗
$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}}$	=	1,28	+	3,473	+	0	=	4,75 ✗

BIJLAGE A8 - Gereduceerde doorsnede: variatie temperatuurbestendigheid lijmlaag

Analyse 6a: t = 36 minuten (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	36 min	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00
			k_{fi}	=	1,15

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,43 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	15,5 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	22,5 mm	$h_{90;2}$	=	17,5 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	77500 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}36 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	0,76 kNm

BIJLAGE A8 - Gereduceerde doorsnede: variatie temperatuurbestendigheid lijmlaag

Analyse 6a: t = 36 minuten (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74	mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	0,95	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22	mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	1,31	N/mm²
β_c	=	0,1	mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82	mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19					
k_m	=	0,7					

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,21 + 0,047 + 0 = 0,26$$ ✓

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,21 + 0,033 + 0 = 0,24$$ ✓

BIJLAGE A8 - Gereduceerde doorsnede: variatie temperatuurbestendigheid lijmlaag

Analyse 6a: t = 36 minuten (gebruikscondities: toetsing UGT)

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	36 min	materiaalfactor γ_M	=	1,25

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,43 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	15,5 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	22,5 mm	$h_{90;2}$	=	17,5 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	11,52 N/mm²
k_{mod}	=	0,60	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	77500 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	10,08 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}36 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Lang

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	48,33 kN
Veranderlijk Q_k	=	14,30 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	2,84 kNm

BIJLAGE A8 - Gereduceerde doorsnede: variatie temperatuurbestendigheid lijmlaag

Analyse 6a: t = 36 minuten (gebruikscondities: toetsing UGT)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	1,21	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	4,92	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}427 + 0 = 1{,}06$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}299 + 0 = 0{,}94$$ ✓

BIJLAGE A8 - Gereduceerde doorsnede: variatie temperatuurbestendigheid lijmlaag

Analyse 6a: t = 44,5 minuten (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw	
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar	
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00	
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2	
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2	
Equivalente brandduur	=	45 min	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00	
			k_{fi}	=	1,15	

Inbranding

			gereduceerde doorsnede			
Inbrandsnelheid β_0	=	0,38 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0	mm
Inbranddiepte d_{char}	=	16,9 mm	$h_{90;1}$	=	20,0	mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0	mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	23,9 mm	$h_{90;2}$	=	16,1	mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0	mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm				

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00	N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60	N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00	N/mm²
A_{tot}	=	76100 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15	N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400	N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000	N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50	N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²				
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴				
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴				
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³				
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}38 \cdot 10^6$ mm³				

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84	kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	0,76	kNm

BIJLAGE A8 - Gereduceerde doorsnede: variatie temperatuurbestendigheid lijmlaag

Analyse 6a: t = 44,5 minuten (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74	mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	0,95	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22	mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	1,31	N/mm²
β_c	=	0,1	mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82	mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19					
k_m	=	0,7					

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,21 + 0,047 + 0 = 0,26$$ ✓

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0,21 + 0,033 + 0 = 0,24$$ ✓

BIJLAGE A8 - Gereduceerde doorsnede: variatie temperatuurbestendigheid lijmlaag

Analyse 6a: t = 44,5 minuten (gebruikscondities: toetsing UGT)

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Equivalente brandduur	=	45 min	materiaalfactor γ_M	=	1,25

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,38 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	16,9 mm	$h_{90;1}$	=	20,0 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	23,9 mm	$h_{90;2}$	=	16,1 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	30 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	20 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	11,52 N/mm²
k_{mod}	=	0,60	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	76100 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	10,08 N/mm²
$A_{0;net}$	=	40000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}67 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}11 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}10 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}17 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}58 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}38 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Lang

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	48,33 kN
Veranderlijk Q_k	=	14,30 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	2,84 kNm

BIJLAGE A8 - Gereduceerde doorsnede: variatie temperatuurbestendigheid lijmlaag

Analyse 6a: t = 44,5 minuten (gebruikscondities: toetsing UGT)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	189,74	mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	1,21	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	3,22	mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	4,92	N/mm²
β_c	=	0,1	mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	5,82	mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19					
k_m	=	0,7					

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}427 + 0 = 1{,}06$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}64 + 0{,}299 + 0 = 0{,}94$$ ✓

BIJLAGE A8 - Gereduceerde doorsnede: variatie temperatuurbestendigheid lijmlaag

Analyse 6a: t = 90 minuten (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Algemene Gegevens CLT 100 C5s — conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Bouwbesluit 2012	=	R90	materiaalfactor $\gamma_{M,fi}$	=	1,00
			k_{fi}	=	1,15

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,62 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	55,7 mm	$h_{90;1}$	=	17,3 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	0,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	62,7 mm	$h_{90;2}$	=	0,0 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	10 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	40 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	27,60 N/mm²
$k_{mod,fi}$	=	1,00	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	37300 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	24,15 N/mm²
$A_{0;net}$	=	20000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}00 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}02 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}02 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}01 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}07 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}02 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Kort
Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	37,84 kN
Veranderlijk Q_k	=	13,20 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	1,51 kNm

BIJLAGE A8 - Gereduceerde doorsnede: variatie temperatuurbestendigheid lijmlaag

Analyse 6a: t = 90 minuten (brandcondities: toetsing buitengewone belastingcombinatie)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	300 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	1,89	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	5,09 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	22,70	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	13,68 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}42 + 0{,}823 + 0 = 1{,}24$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 0{,}42 + 0{,}576 + 0 = 0{,}99$$ ✓

BIJLAGE A8 - Gereduceerde doorsnede: variatie temperatuurbestendigheid lijmlaag

Analyse 6a: t = 90 minuten (gebruikscondities: toetsing UGT)

Algemene Gegevens CLT 100 C5s

conform NEN-EN 1995

b_0	=	8450 mm	functie	=	Woongebouw
b_{eff}	=	1000 min	ontwerplevensduur	=	50 jaar
f_b	=	1,00	tijdsfactor ψt	=	1,00
l	=	3000 mm	gevolgklasse	=	CC2
			betrouwbaarheidsklasse	=	RC2
Bouwbesluit 2012	=	R90	materiaalfactor γ_M	=	1,25
			k_{fi}	=	1,00

Inbranding

			gereduceerde doorsnede		
Inbrandsnelheid β_0	=	0,63 mm/min	$h_{0;1}$	=	20,0 mm
Inbranddiepte d_{char}	=	56,3 mm	$h_{90;1}$	=	17,3 mm
$k_0 d_0$	=	7 mm	$h_{0;2}$	=	0,0 mm
Inbranddiepte d_{eff}	=	63,3 mm	$h_{90;2}$	=	0,0 mm
Zwaartepunt Z_{fi}	=	10 mm	$h_{0;3}$	=	0,0 mm
Excentrictieit $e_{f,fi}$	=	40 mm			

Materiaaleigenschappen

Klimaatklasse	=	1	buigsterkte $f_{m;y;k}$	=	24,00 N/mm²
Sterkteklasse	=	C24 (gezaagd)	buigsterkte $f_{m;y;d}$	=	11,52 N/mm²
k_{mod}	=	0,60	druksterkte $f_{c;0;k}$	=	21,00 N/mm²
A_{tot}	=	37300 mm²	druksterkte $f_{c;0;d}$	=	10,08 N/mm²
$A_{0;net}$	=	20000 mm²	$E_{0,05}$	=	7400 N/mm²
$I_{0;1}$	=	$0{,}6667 \cdot 10^6$ mm⁴	E_{mean}	=	11000 N/mm²
$I_{0;2} = I_{0;3}$	=	$0{,}00 \cdot 10^6$ mm⁴	afschuivingsmodulus G_R	=	50 N/mm²
EI_{eff}	=	$0{,}02 \cdot 10^{12}$ N·mm²			
$I_{0;eff}$	=	$0{,}02 \cdot 10^8$ mm⁴			
$I_{0;net}$	=	$0{,}01 \cdot 10^8$ mm⁴			
$W_{0;net,o}$	=	$0{,}07 \cdot 10^6$ mm³			
$W_{0;net,u}$	=	$0{,}02 \cdot 10^6$ mm³			

Belastingen

Belastingduurklasse = Lang

Categorie (A) = Woon- en verblijfsruimtes

Permanent G_k	=	22,40 kN/m	Normaalkracht $N_{ed,fi}$	=	48,33 kN
Veranderlijk Q_k	=	14,30 kN/m	Moment sterke as $M_{y;Ed,fi}$	=	3,81 kNm

BIJLAGE A8 - Gereduceerde doorsnede: variatie temperatuurbestendigheid lijmlaag

Analyse 6a: t = 90 minuten (gebruikscondities: toetsing UGT)

Knikberekening

Effectieve slankheid $\lambda_{eff,fi}$	=	300 mm	drukspanning $\sigma_{c,0,d}$	=	2,42	N/mm²
Relatieve slankheid $\lambda_{rel,y}$	=	5,09 mm	buigspanning $\sigma_{m,y,d}$	=	57,16	N/mm²
β_c	=	0,1 mm				
Instabiliteitsfactor k_y	=	13,68 mm				
Instabiliteitsfactor $k_{c,y}$	=	0,19				
k_m	=	0,7				

Toetsing druk en buiging

$$\frac{\sigma_{c,0,d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + \frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 1{,}28 + 4{,}962 + 0 = 6{,}24$$ ✗

$$\frac{\sigma_{c,0d}}{k_{c,y}f_{c,0,d}} + k_m\frac{\sigma_{m,y,d}}{f_{m,y,d}} + \frac{\sigma_{m,z,d}}{f_{m,z,d}} = 1{,}28 + 3{,}473 + 0 = 4{,}75$$ ✗

Bijlage I-5

Ozone rapporten van alle gemaakte simulaties (analyse 1 tot en met analyse 8).

OZone V 2.2.6 Report

Analysis Name: **Finch woning (basis met gemiddelden)**
File Name: H:\afstuderen\casus\OZONE\Finch Woning - basis met gemiddelden.ozn
Created: 13-4-2018 at 12:17:22

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy: Combination 2Zones - 1 Zone Model
Transition criteria from 2 Zones to 1 Zone

Upper Layer Temperature	≥ 500°C
Combustible in Upper Layer + U.L. Temperature	≥ Combustible Ignition Temperature = 300 °C
Interface Height	≤ 0.1 Compartment Height
Fire Area	≥ 0.5 Floor Area

PARAMETERS

Openings

Radiation Through Closed Openings:	0.8
Bernoulli Coefficient:	0.7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature:	293 K
Initial Pressure:	100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface:	25 W/m²K
Convection Coefficient at the Cold Surface:	9 W/m²K

Calculation Parameters

End of Calculation:	7200 sec
Time Step for Printing Results:	60 sec
Maximum Time Step for Calculation:	10 sec

Air Entrained Model: Heskestad

COMPARTMENT

Form of Compartment:	Any Compartment	
Number of Walls:	1	
Floor Area:	26.96	m²
Height:	2.79	m

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES

Floor

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Glass wool & Rock wool	14	60	0.037	1030
Normal Wood	12	460	0.1	1600

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal Wood	8	460	0.1	1600

Wall 1

Wall length: 22.7 m

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal Wood	10	460	0.1	1600

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0	2.64	2.17	Constant	no
0	2.69	1.5	Constant	no

FIRE

Fire Curve:	NFSC Design Fire	
Maximum Fire Area:	26.96	m²
Fire Elevation:	0	m
Fuel Height:	1	m

Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kw/m²]	Fire Load qf,k [MJ/m²]	Danger of Fire Activation
User Defined	300	250	780	1

Active Measures

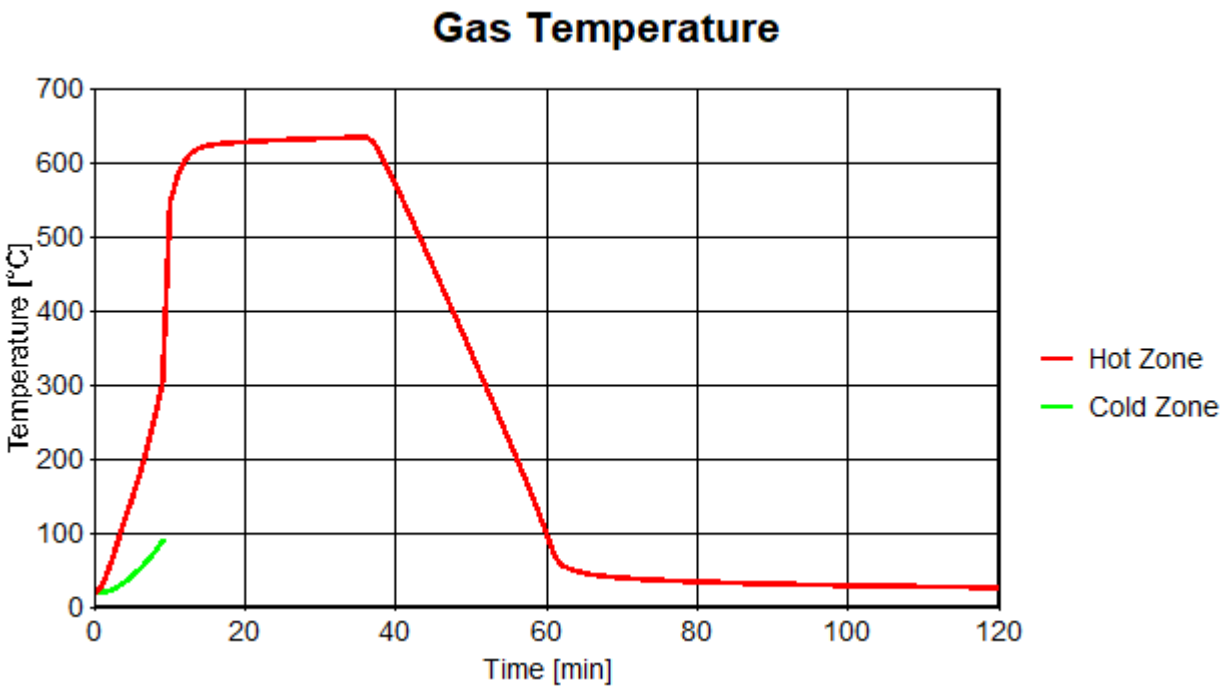
Description	Active	Value
Automatic Water Extinguishing System	No	$\delta_{n,1} = 1$
Independent Water Supplies	No	$\delta_{n,2} = 1$
Automatic Fire Detection by Heat	No	$\delta_{n,3} = 1$
Automatic Fire Detection by Smoke	No	
Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	No	$\delta_{n,5} = 1$
Work Fire Brigade	No	$\delta_{n,6} = 1$
Off Site Fire Brigade	No	
Safe Access Routes	Yes	$\delta_{n,8} = 1$
Staircases Under Overpressure in Fire Alarm	No	
Fire Fighting Devices	Yes	$\delta_{n,9} = 1$
Smoke Exhaust System	Yes	$\delta_{n,10} = 1$

Fire Risk Area:	12	m²	$\delta_{q,1} =$ 0.99
Danger of Fire Activation:			$\delta_{q,2} =$ 1
$q_{f,d} =$	617.8	MJ/m²	
Combustion Heat of Fuel:	17.5	MJ/kg	
Combustion Efficiency Factor:	0.8		
Combustion Model:	Extended fire duration		

RESULTS

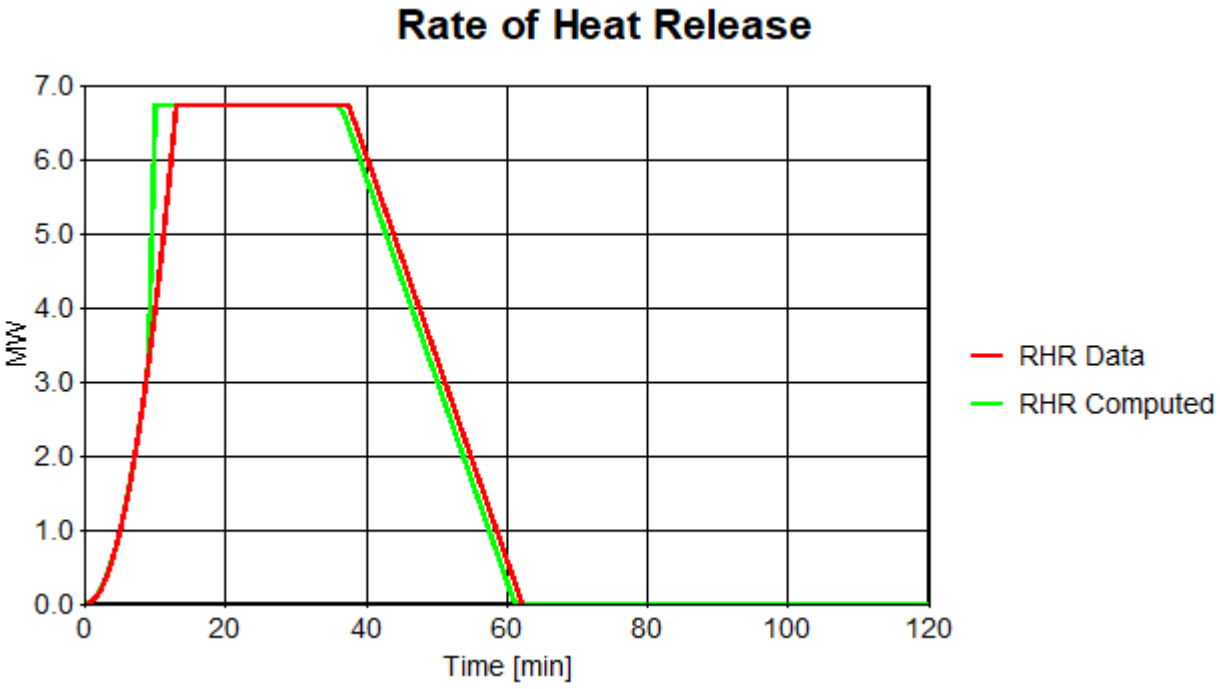
Fire Area: The maximum fire area (26.96m²) is greater than 25% of the floor area (26.96m²). The fire load is uniformly distributed.

Switch to one zone + Fully engulfed fire: Temperature of zone in contact with fuel >300.0°C at time [s] 550.00



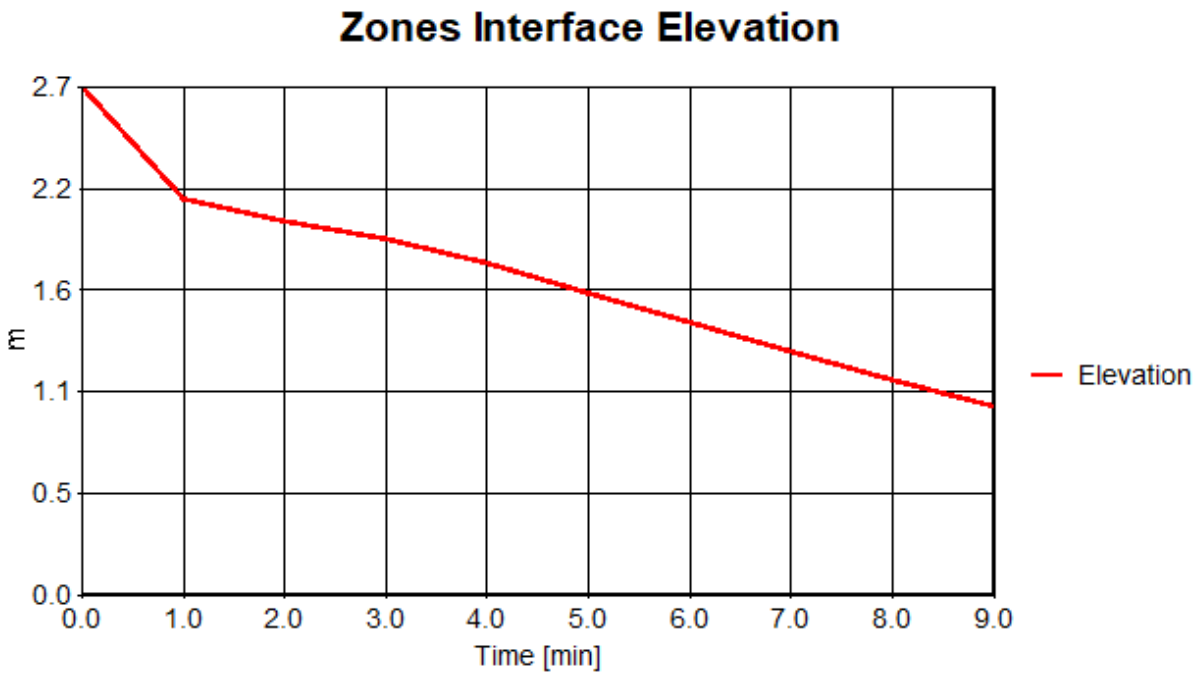
Peak: 635 °C At: 36 min

Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature



Peak: 6.74 MW At: 13.0 min

Figure 2. RHR Data and Computed



h = 1.02 m At: 9.00 min

Figure 4. Zones Interface Elevation

OZone V 2.2.6 Report

Analysis Name: **Finch woning (variatie vuurbelasting)**
File Name: H:\afstuderen\casus\OZONE\Finch woning - variatie vuurbelasting.ozn
Created: 13-4-2018 at 14:09:54

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy: Combination 2Zones - 1 Zone Model
Transition criteria from 2 Zones to 1 Zone

Upper Layer Temperature	≥ 500°C
Combustible in Upper Layer + U.L. Temperature	≥ Combustible Ignition Temperature = 300 °C
Interface Height	≤ 0.1 Compartment Height
Fire Area	≥ 0.5 Floor Area

PARAMETERS

Openings

Radiation Through Closed Openings:	0.8
Bernoulli Coefficient:	0.7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature:	293 K
Initial Pressure:	100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface:	25 W/m²K
Convection Coefficient at the Cold Surface:	9 W/m²K

Calculation Parameters

End of Calculation:	7200 sec
Time Step for Printing Results:	60 sec
Maximum Time Step for Calculation:	10 sec

Air Entrained Model: Heskestad

COMPARTMENT

Form of Compartment:	Any Compartment	
Number of Walls:	1	
Floor Area:	26.96	m²
Height:	2.79	m

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES

Floor

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Glass wool & Rock wool	14	60	0.037	1030
Normal Wood	12	460	0.1	1600

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal Wood	8	460	0.1	1600

Wall 1

Wall length: 22.7 m

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal Wood	14	460	0.1	1600

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0	2.64	2.17	Constant	no
0	2.69	1.5	Constant	no

FIRE

Fire Curve:	NFSC Design Fire	
Maximum Fire Area:	26.96	m²
Fire Elevation:	0	m
Fuel Height:	1	m

Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kw/m²]	Fire Load qf,k [MJ/m²]	Danger of Fire Activation
User Defined	300	250	975	1

Active Measures

Description	Active	Value
Automatic Water Extinguishing System	No	$\delta_{n,1} = 1$
Independent Water Supplies	No	$\delta_{n,2} = 1$
Automatic Fire Detection by Heat	No	$\delta_{n,3} = 1$
Automatic Fire Detection by Smoke	No	
Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	No	$\delta_{n,5} = 1$
Work Fire Brigade	No	$\delta_{n,6} = 1$
Off Site Fire Brigade	No	
Safe Access Routes	Yes	$\delta_{n,8} = 1$
Staircases Under Overpressure in Fire Alarm	No	
Fire Fighting Devices	Yes	$\delta_{n,9} = 1$
Smoke Exhaust System	Yes	$\delta_{n,10} = 1$

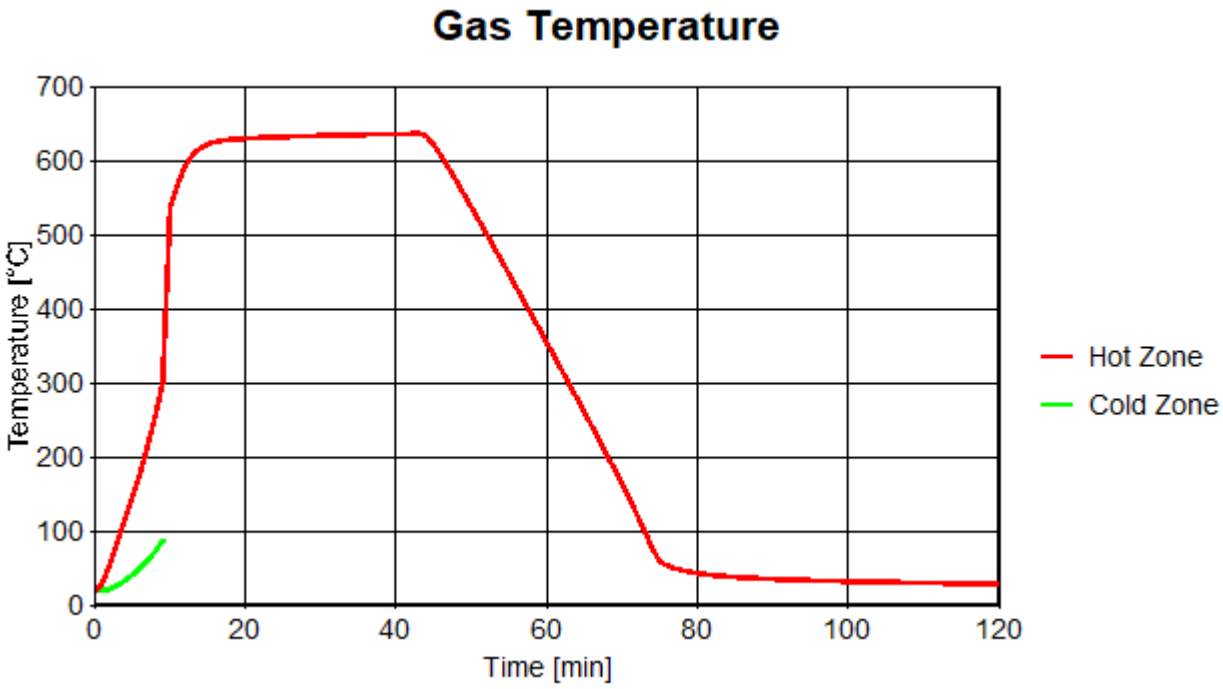
Fire Risk Area:	12	m²	$\delta_{q,1} =$ 0.99
Danger of Fire Activation:			$\delta_{q,2} =$ 1
$q_{f,d} =$	772.2	MJ/m²	

Combustion Heat of Fuel:	17.5	MJ/kg
Combustion Efficiency Factor:	0.8	
Combustion Model:	Extended fire duration	

RESULTS

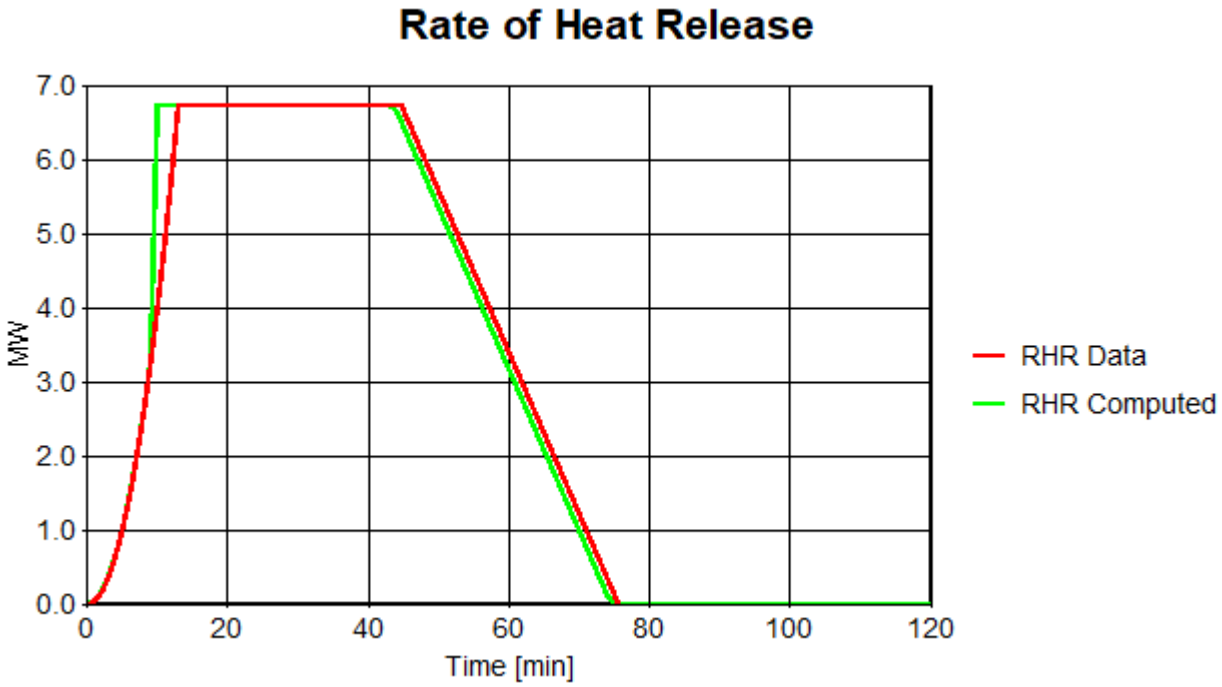
Fire Area: The maximum fire area (26.96m²) is greater than 25% of the floor area (26.96m²). The fire load is uniformly distributed.

Switch to one zone + Fully engulfed fire: Temperature of zone in contact with fuel >300.0°C at time [s] 548.13



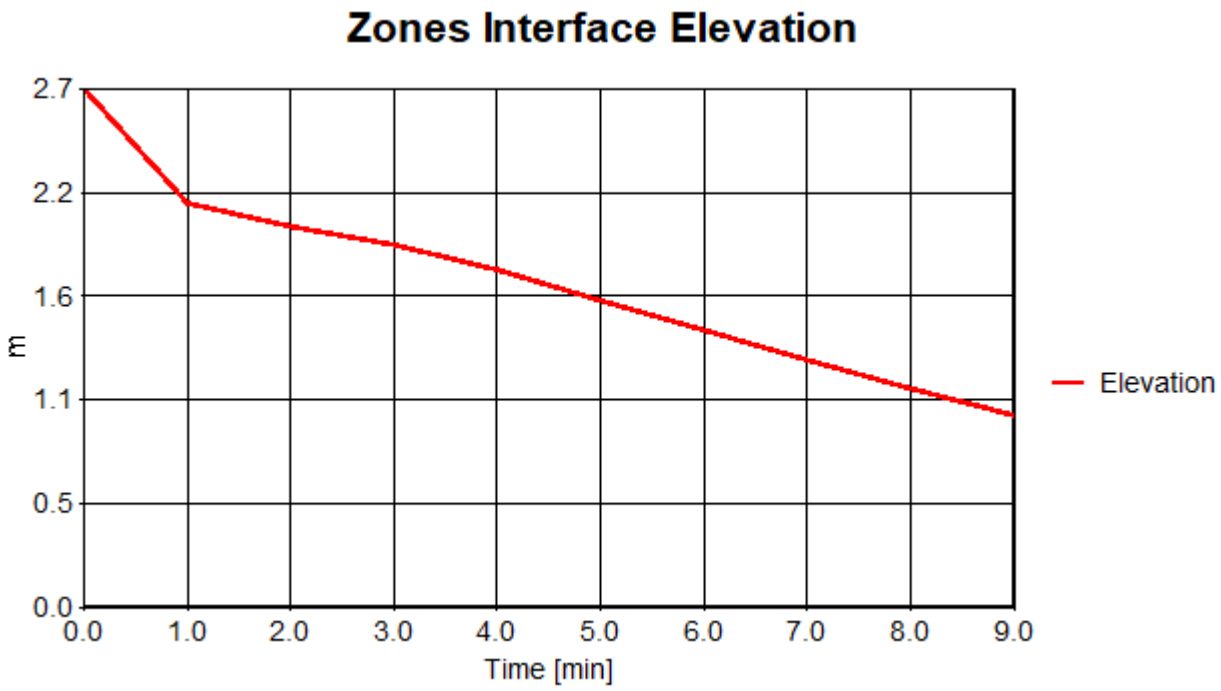
Peak: 637 °C At: 43 min

Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature



Peak: 6.74 MW At: 13.0 min

Figure 2. RHR Data and Computed



h = 1.02 m At: 9.00 min

Figure 4. Zones Interface Elevation

OZone V 2.2.6 Report

Analysis Name:	**Finch woning (variatie brandvermogensdichtheid)**
File Name:	H:\afstuderen\casus\OZONE\Finch Woning - variatie RHR.ozn
Created:	13-4-2018 at 12:24:40

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy:	Combination 2Zones - 1 Zone Model
Transition criteria from 2 Zones to 1 Zone	
Upper Layer Temperature	≥ 500°C
Combustible in Upper Layer + U.L. Temperature	≥ Combustible Ignition Temperature = 300 °C
Interface Height	≤ 0.1 Compartment Height
Fire Area	≥ 0.5 Floor Area

PARAMETERS

Openings

Radiation Through Closed Openings:	0.8
Bernoulli Coefficient:	0.7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature:	293 K
Initial Pressure:	100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface:	25 W/m²K
Convection Coefficient at the Cold Surface:	9 W/m²K

Calculation Parameters

End of Calculation:	7200 sec
Time Step for Printing Results:	60 sec
Maximum Time Step for Calculation:	10 sec

Air Entrained Model:	Heskestad

COMPARTMENT

Form of Compartment:	Any Compartment	
Number of Walls:	1	
Floor Area:	26.96	m²
Height:	2.79	m

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES

Floor

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Glass wool & Rock wool	14	60	0.037	1030
Normal Wood	12	460	0.1	1600

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal Wood	8	460	0.1	1600

Wall 1

Wall length: 22.7 m

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal Wood	14	460	0.1	1600

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0	2.64	2.17	Constant	no
0	2.69	1.5	Constant	no

FIRE

Fire Curve:	NFSC Design Fire	
Maximum Fire Area:	26.96	m²
Fire Elevation:	0	m
Fuel Height:	1	m

Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kw/m²]	Fire Load qf,k [MJ/m²]	Danger of Fire Activation
User Defined	300	312.5	780	1

Active Measures

Description	Active	Value
Automatic Water Extinguishing System	No	$\delta_{n,1} = 1$
Independent Water Supplies	No	$\delta_{n,2} = 1$
Automatic Fire Detection by Heat	No	$\delta_{n,3} = 1$
Automatic Fire Detection by Smoke	No	
Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	No	$\delta_{n,5} = 1$
Work Fire Brigade	No	$\delta_{n,6} = 1$
Off Site Fire Brigade	No	
Safe Access Routes	Yes	$\delta_{n,8} = 1$
Staircases Under Overpressure in Fire Alarm	No	
Fire Fighting Devices	Yes	$\delta_{n,9} = 1$
Smoke Exhaust System	Yes	$\delta_{n,10} = 1$

Fire Risk Area:	12	m²	$\delta_{q,1} =$ 0.99
Danger of Fire Activation:			$\delta_{q,2} =$ 1
$q_{f,d} =$	617.8	MJ/m²	

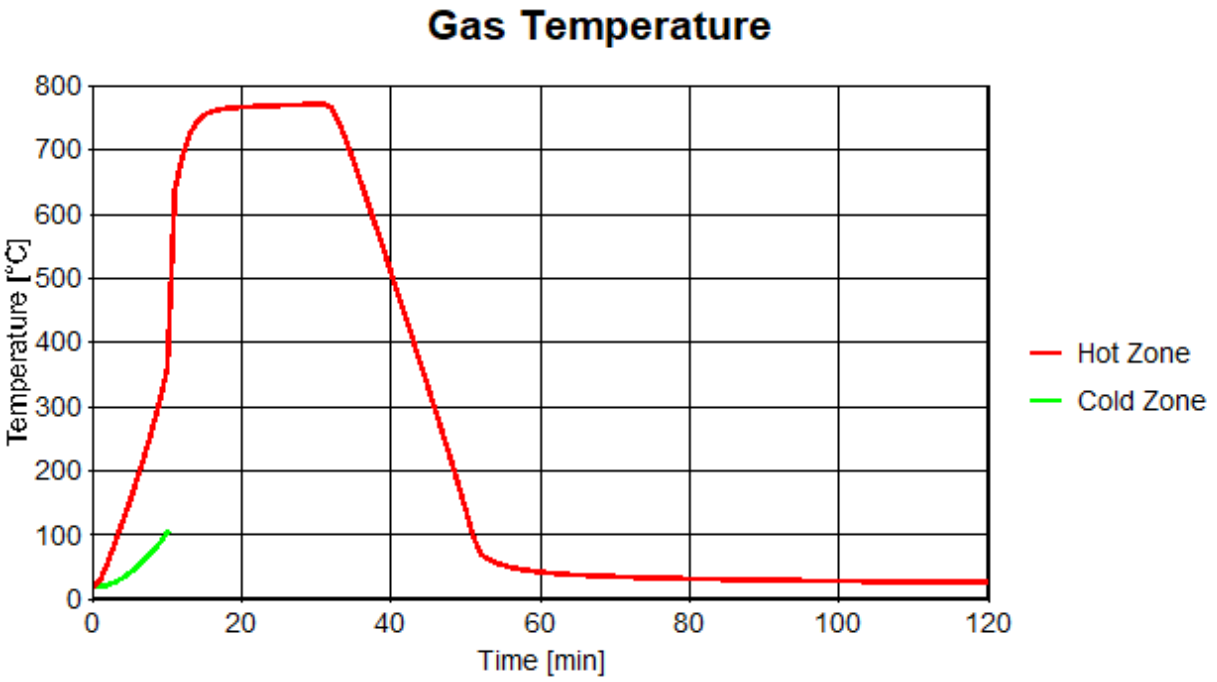
Combustion Heat of Fuel:	17.5	MJ/kg
Combustion Efficiency Factor:	0.8	
Combustion Model:	Extended fire duration	

RESULTS

Fire Area: The maximum fire area (26.96m²) is greater than 25% of the floor area (26.96m²). The fire load is uniformly distributed.

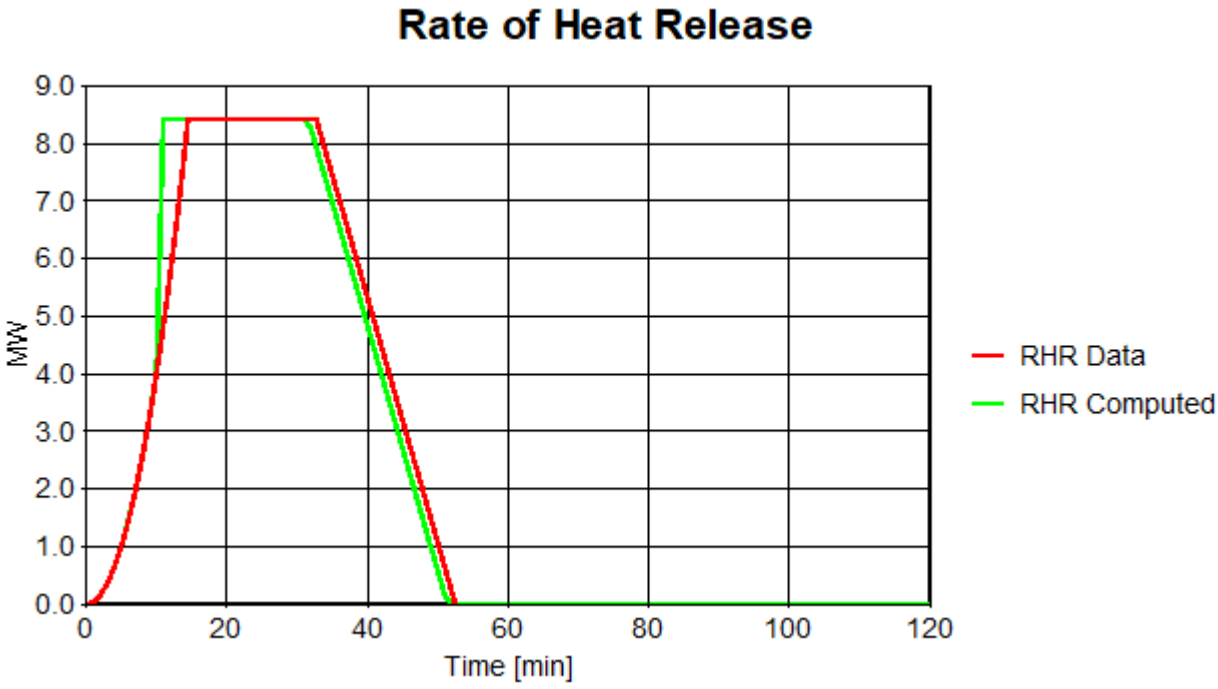
Switch to one zone: Area of fire > 50.0% of floor area at time [s] 616.06

Fully engulfed fire: Temperature of zone in contact with fuel >300.0°C at time [s] 617.04



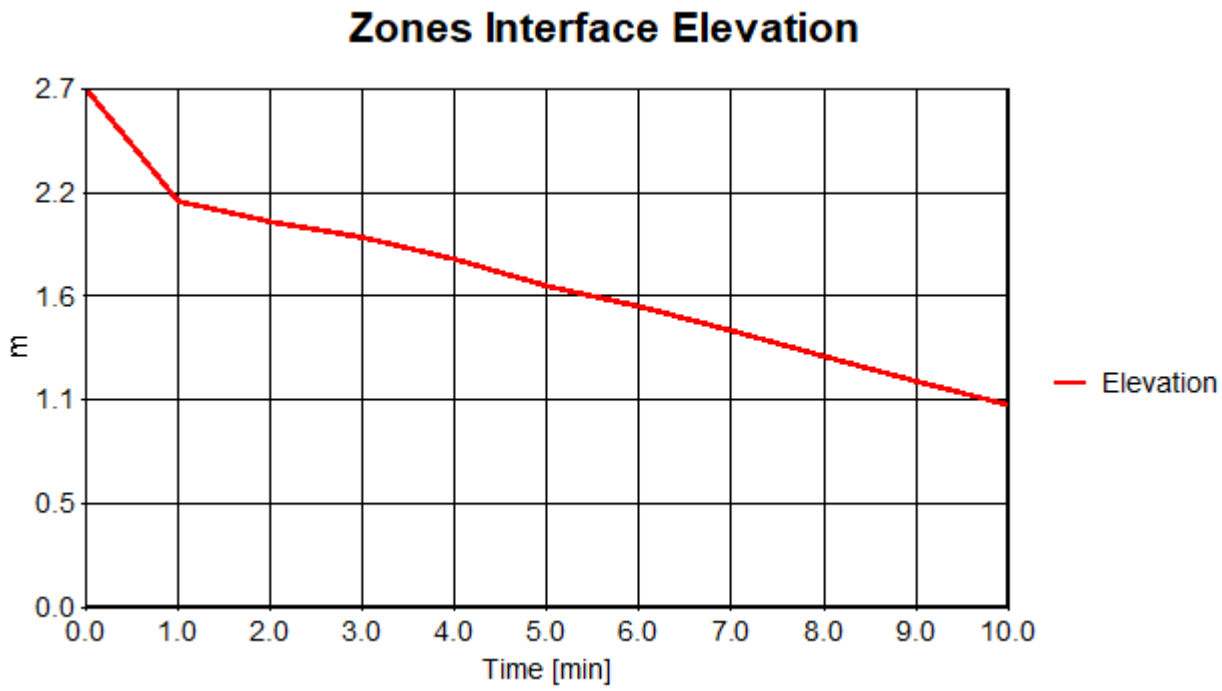
Peak: 772 °C At: 31 min

Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature



Peak: 8.43 MW At: 11.00 min

Figure 2. RHR Data and Computed



h = 1.07 m At: 10.00 min

Figure 4. Zones Interface Elevation

STEEL PROFILE

Unprotected Section

Catalog Profile:	IPE 80 A
Exposed to Fire on:	4 sides

HEATING

Profile heated by:	Maximum Between Hot Zone and Localised Fire Temperature
Convection coefficient:	35 W/m²K
Relative emissivity:	0.7
Horizontal Distance Between Fire Axis and Profile:	0 m

OZone V 2.2.6 Report

Analysis Name: **Finch woning (variatie tijdconstante)**
File Name: H:\afstuderen\casus\OZONE\Finch Woning - variatie tijdconstante.ozn
Created: 13-4-2018 at 12:29:31

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy: Combination 2Zones - 1 Zone Model
Transition criteria from 2 Zones to 1 Zone

Upper Layer Temperature	≥ 500°C
Combustible in Upper Layer + U.L. Temperature	≥ Combustible Ignition Temperature = 300 °C
Interface Height	≤ 0.1 Compartment Height
Fire Area	≥ 0.5 Floor Area

PARAMETERS

Openings

Radiation Through Closed Openings:	0.8
Bernoulli Coefficient:	0.7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature:	293 K
Initial Pressure:	100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface:	25 W/m²K
Convection Coefficient at the Cold Surface:	9 W/m²K

Calculation Parameters

End of Calculation:	7200 sec
Time Step for Printing Results:	60 sec
Maximum Time Step for Calculation:	10 sec

Air Entrained Model: Heskestad

COMPARTMENT

Form of Compartment:	Any Compartment	
Number of Walls:	1	
Floor Area:	26.96	m²
Height:	2.79	m

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES

Floor

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Glass wool & Rock wool	14	60	0.037	1030
Normal Wood	12	460	0.1	1600

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal Wood	8	460	0.1	1600

Wall 1

Wall length: 22.7 m

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal Wood	14	460	0.1	1600

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0	2.64	2.17	Constant	no
0	2.69	1.5	Constant	no

FIRE

Fire Curve:	NFSC Design Fire	
Maximum Fire Area:	26.96	m²
Fire Elevation:	0	m
Fuel Height:	1	m

Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kw/m²]	Fire Load qf,k [MJ/m²]	Danger of Fire Activation
User Defined	375	250	780	1

Active Measures

Description	Active	Value
Automatic Water Extinguishing System	No	$\delta_{n,1} = 1$
Independent Water Supplies	No	$\delta_{n,2} = 1$
Automatic Fire Detection by Heat	No	$\delta_{n,3} = 1$
Automatic Fire Detection by Smoke	No	
Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	No	$\delta_{n,5} = 1$
Work Fire Brigade	No	$\delta_{n,6} = 1$
Off Site Fire Brigade	No	
Safe Access Routes	Yes	$\delta_{n,8} = 1$
Staircases Under Overpressure in Fire Alarm	No	
Fire Fighting Devices	Yes	$\delta_{n,9} = 1$
Smoke Exhaust System	Yes	$\delta_{n,10} = 1$

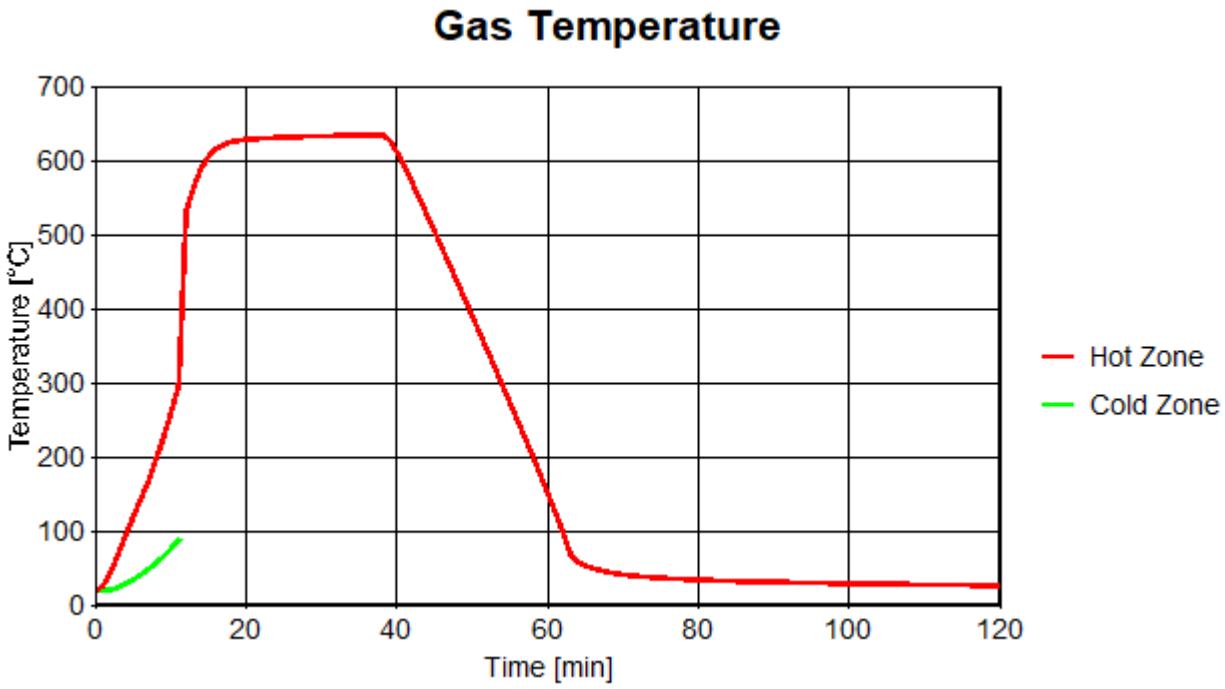
Fire Risk Area:	12	m²	$\delta_{q,1} =$ 0.99
Danger of Fire Activation:			$\delta_{q,2} =$ 1
$q_{f,d} =$	617.8	MJ/m²	

Combustion Heat of Fuel:	17.5	MJ/kg
Combustion Efficiency Factor:	0.8	
Combustion Model:	Extended fire duration	

RESULTS

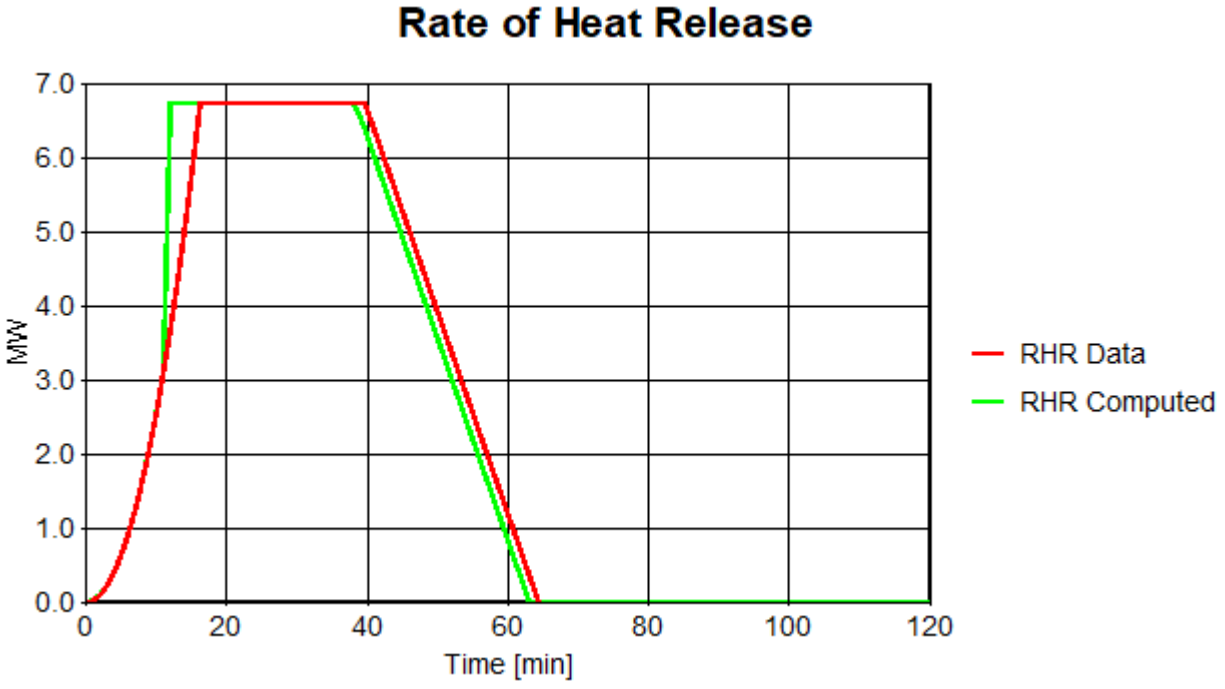
Fire Area: The maximum fire area (26.96m²) is greater than 25% of the floor area (26.96m²). The fire load is uniformly distributed.

Switch to one zone + Fully engulfed fire: Temperature of zone in contact with fuel >300.0°C at time [s] 690.00



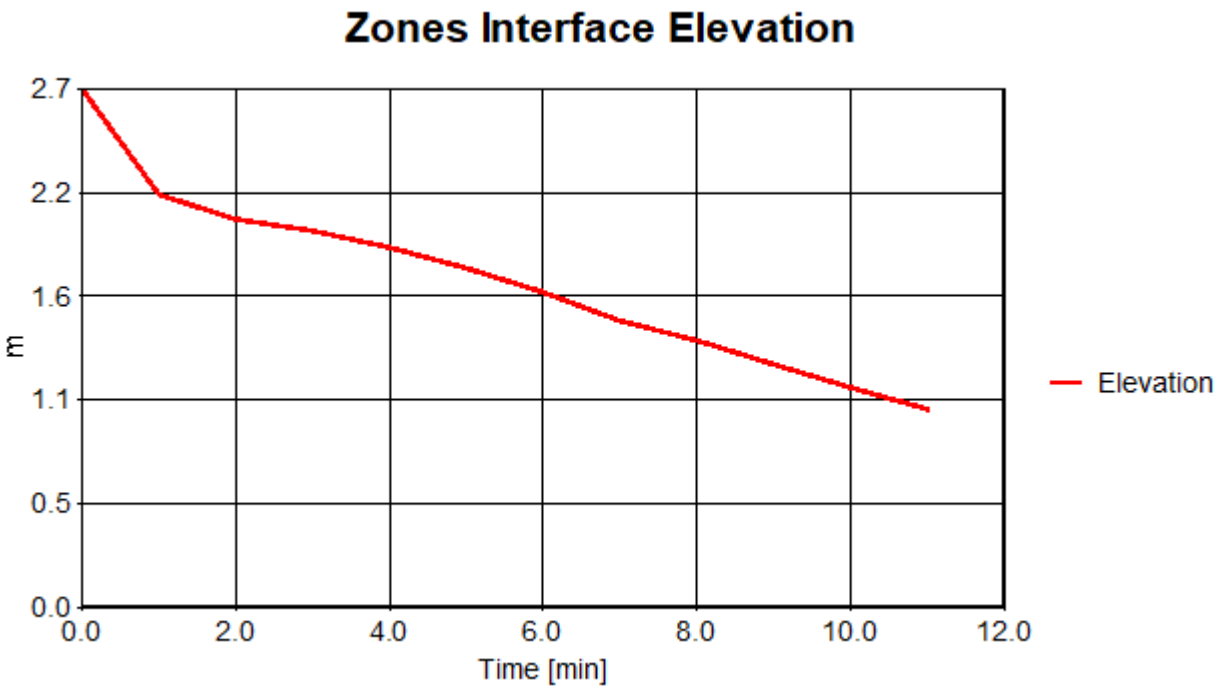
Peak: 636 °C At: 38 min

Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature



Peak: 6.74 MW At: 16.2 min

Figure 2. RHR Data and Computed



h = 1.05 m At: 11.00 min

Figure 4. Zones Interface Elevation

OZone V 2.2.6 Report

Analysis Name:	**Finch woning (variatie openingen)**
File Name:	H:\afstuderen\casus\OZONE\Finch Woning - variatie openingen.ozn
Created:	13-4-2018 at 12:22:01

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy:	Combination 2Zones - 1 Zone Model
Transition criteria from 2 Zones to 1 Zone	
Upper Layer Temperature	≥ 500°C
Combustible in Upper Layer + U.L. Temperature	≥ Combustible Ignition Temperature = 300 °C
Interface Height	≤ 0.1 Compartment Height
Fire Area	≥ 0.5 Floor Area

PARAMETERS

Openings

Radiation Through Closed Openings:	0.8
Bernoulli Coefficient:	0.7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature:	293 K
Initial Pressure:	100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface:	25 W/m²K
Convection Coefficient at the Cold Surface:	9 W/m²K

Calculation Parameters

End of Calculation:	7200 sec
Time Step for Printing Results:	60 sec
Maximum Time Step for Calculation:	10 sec

Air Entrained Model:	Heskestad

COMPARTMENT

Form of Compartment:	Any Compartment	
Number of Walls:	1	
Floor Area:	26.96	m²
Height:	2.79	m

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES

Floor

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Glass wool & Rock wool	14	60	0.037	1030
Normal Wood	12	460	0.1	1600

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal Wood	8	460	0.1	1600

Wall 1

Wall length: 22.7 m

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal Wood	14	460	0.1	1600

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0	2.64	1.6	Constant	no
0	2.69	1.5	Constant	no

FIRE

Fire Curve:	NFSC Design Fire	
Maximum Fire Area:	26.96	m²
Fire Elevation:	0	m
Fuel Height:	1	m

Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kw/m²]	Fire Load qf,k [MJ/m²]	Danger of Fire Activation
User Defined	300	250	780	1

Active Measures

Description	Active	Value
Automatic Water Extinguishing System	No	$\delta_{n,1} = 1$
Independent Water Supplies	No	$\delta_{n,2} = 1$
Automatic Fire Detection by Heat	No	$\delta_{n,3} = 1$
Automatic Fire Detection by Smoke	No	
Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	No	$\delta_{n,5} = 1$
Work Fire Brigade	No	$\delta_{n,6} = 1$
Off Site Fire Brigade	No	
Safe Access Routes	Yes	$\delta_{n,8} = 1$
Staircases Under Overpressure in Fire Alarm	No	
Fire Fighting Devices	Yes	$\delta_{n,9} = 1$
Smoke Exhaust System	Yes	$\delta_{n,10} = 1$

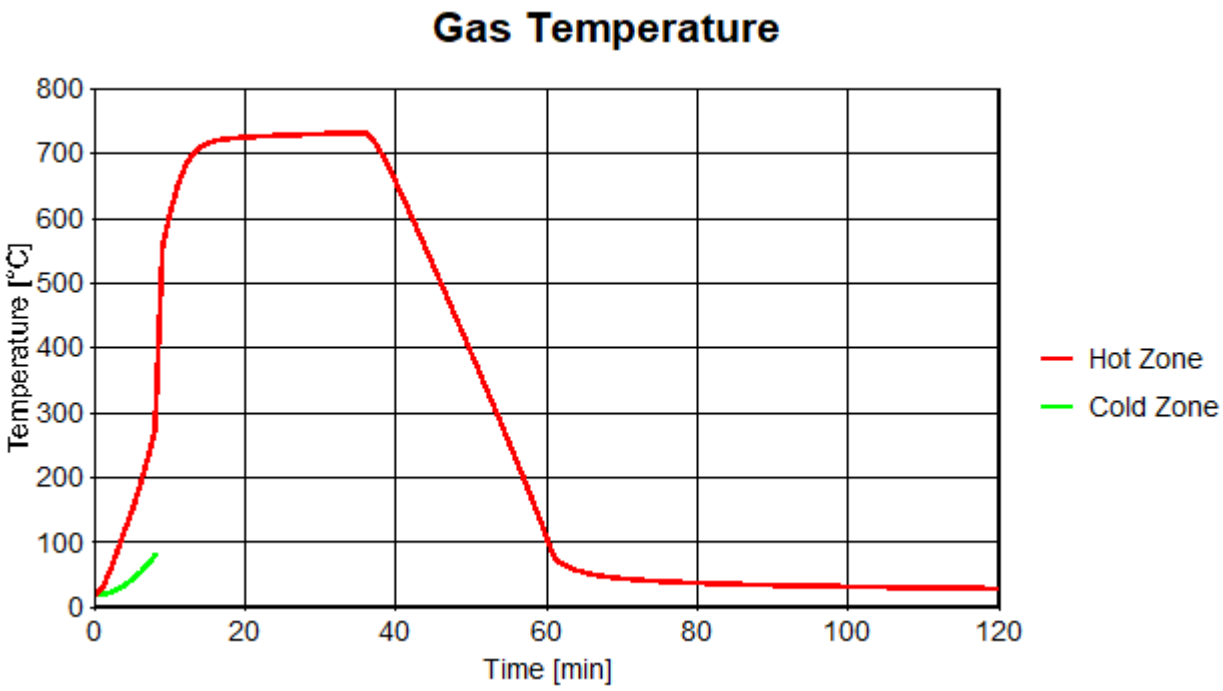
Fire Risk Area:	12	m²	$\delta_{q,1} = 0.99$
Danger of Fire Activation:			$\delta_{q,2} = 1$
$q_{f,d} =$	617.8	MJ/m²	

Combustion Heat of Fuel:	17.5	MJ/kg
Combustion Efficiency Factor:	0.8	
Combustion Model:	Extended fire duration	

RESULTS

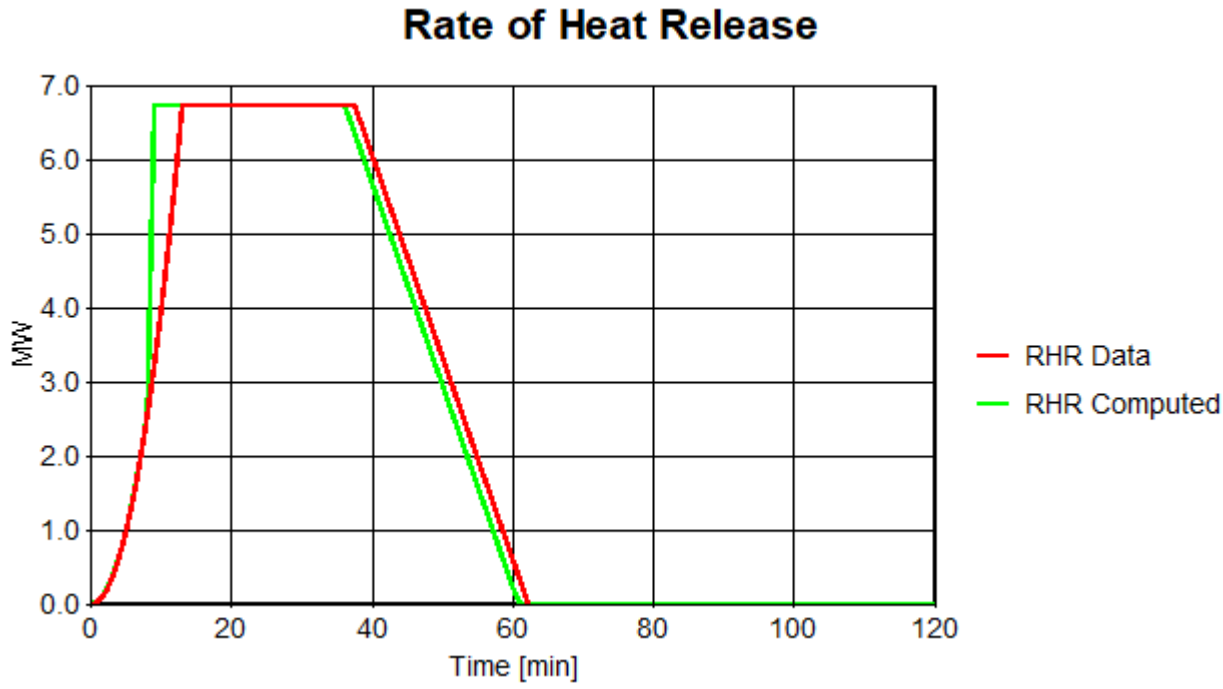
Fire Area: The maximum fire area (26.96m²) is greater than 25% of the floor area (26.96m²). The fire load is uniformly distributed.

Switch to one zone + Fully engulfed fire: Temperature of zone in contact with fuel >300.0°C at time [s] 512.66



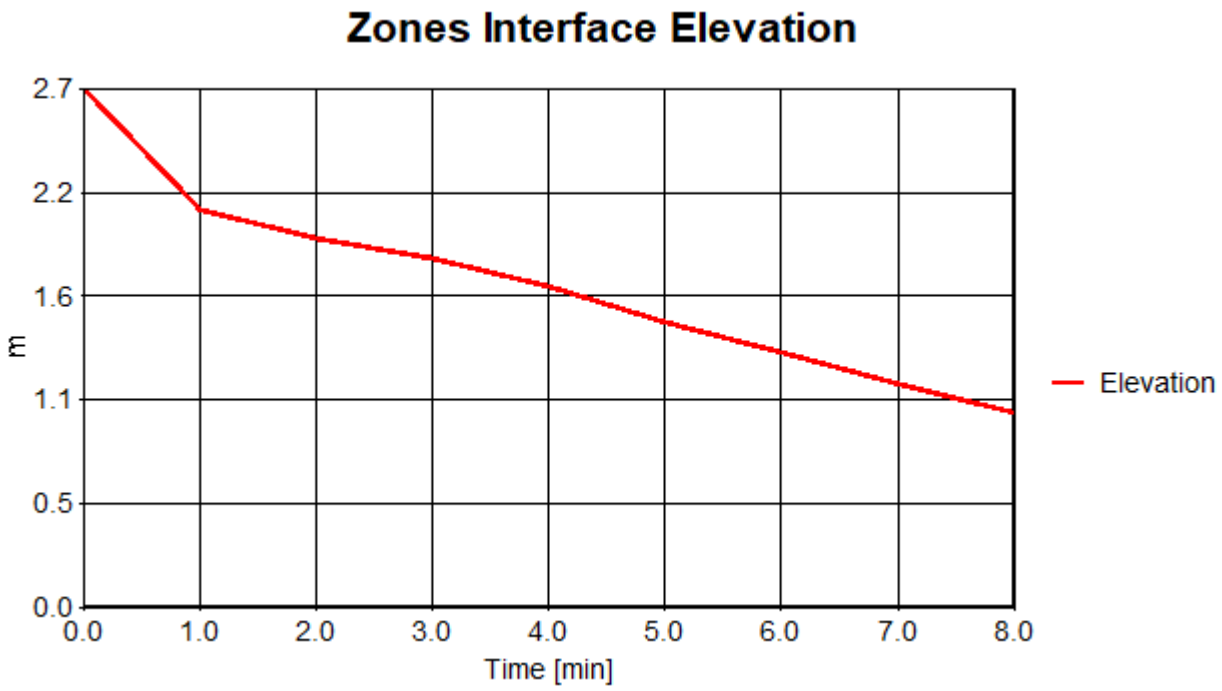
Peak: 732 °C At: 36 min

Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature



Peak: 6.74 MW At: 13.0 min

Figure 2. RHR Data and Computed



h = 1.03 m At: 8.00 min

Figure 4. Zones Interface Elevation

OZone V 2.2.6 Report

Analysis Name: **Finch woning - variatie stoichiometrische coëfficiënt**
File Name: H:\afstuderen\casus\OZONE\Finch woning - variatie stoichiometrische coefficient.ozn
Created: 13-4-2018 at 12:26:26

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy: Combination 2Zones - 1 Zone Model
Transition criteria from 2 Zones to 1 Zone

Upper Layer Temperature	≥ 500°C
Combustible in Upper Layer + U.L. Temperature	≥ Combustible Ignition Temperature = 300 °C
Interface Height	≤ 0.1 Compartment Height
Fire Area	≥ 0.5 Floor Area

PARAMETERS

Openings

Radiation Through Closed Openings:	0.8
Bernoulli Coefficient:	0.7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature:	293 K
Initial Pressure:	100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface:	25 W/m²K
Convection Coefficient at the Cold Surface:	9 W/m²K

Calculation Parameters

End of Calculation:	7200 sec
Time Step for Printing Results:	60 sec
Maximum Time Step for Calculation:	10 sec

Air Entrained Model: Heskestad

COMPARTMENT

Form of Compartment:	Any Compartment	
Number of Walls:	1	
Floor Area:	26.96	m²
Height:	2.79	m

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES

Floor

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Glass wool & Rock wool	14	60	0.037	1030
Normal Wood	12	460	0.1	1600

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal Wood	8	460	0.1	1600

Wall 1

Wall length: 22.7 m

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal Wood	14	460	0.1	1600

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0	2.64	2.17	Constant	no
0	2.69	1.5	Constant	no

FIRE

Fire Curve:	NFSC Design Fire	
Maximum Fire Area:	26.96	m²
Fire Elevation:	0	m
Fuel Height:	1	m

Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kw/m²]	Fire Load qf,k [MJ/m²]	Danger of Fire Activation
User Defined	300	250	780	1

Active Measures

Description	Active	Value
Automatic Water Extinguishing System	No	$\delta_{n,1} = 1$
Independent Water Supplies	No	$\delta_{n,2} = 1$
Automatic Fire Detection by Heat	No	$\delta_{n,3} = 1$
Automatic Fire Detection by Smoke	No	
Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	No	$\delta_{n,5} = 1$
Work Fire Brigade	No	$\delta_{n,6} = 1$
Off Site Fire Brigade	No	
Safe Access Routes	Yes	$\delta_{n,8} = 1$
Staircases Under Overpressure in Fire Alarm	No	
Fire Fighting Devices	Yes	$\delta_{n,9} = 1$
Smoke Exhaust System	Yes	$\delta_{n,10} = 1$

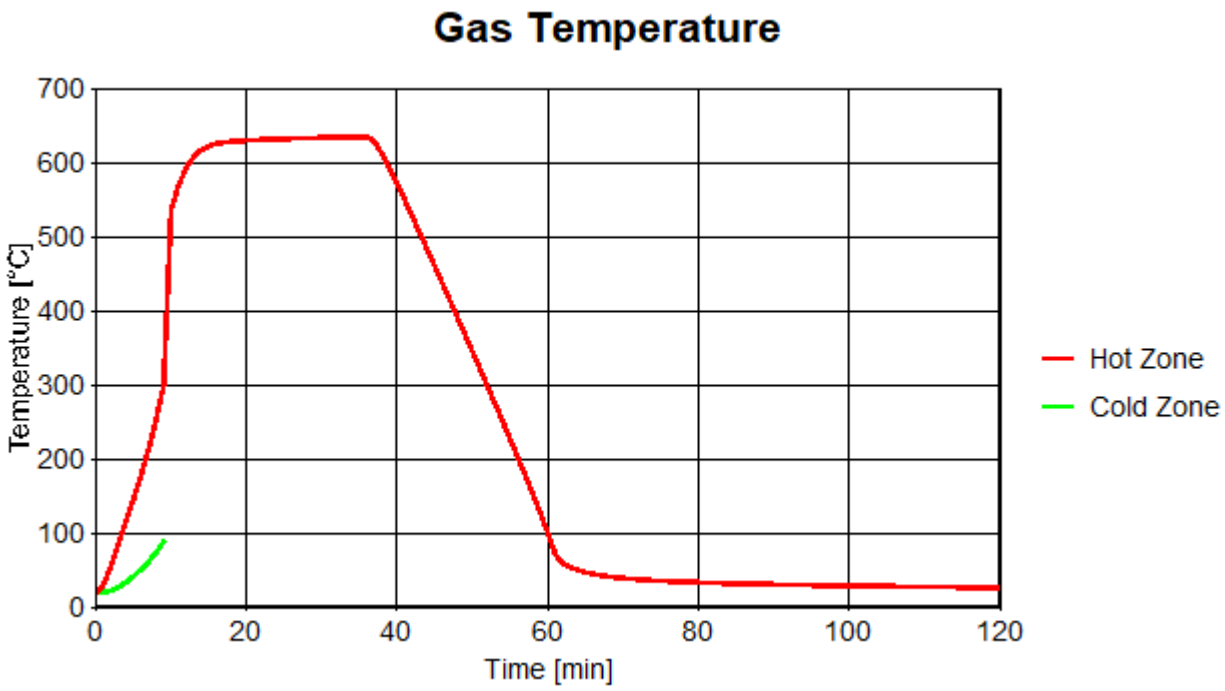
Fire Risk Area:	12	m²	$\delta_{q,1} =$ 0.99
Danger of Fire Activation:			$\delta_{q,2} =$ 1
$q_{f,d} =$	617.8	MJ/m²	

Combustion Heat of Fuel:	17.5	MJ/kg
Combustion Efficiency Factor:	0.8	
Combustion Model:	External flaming	

RESULTS

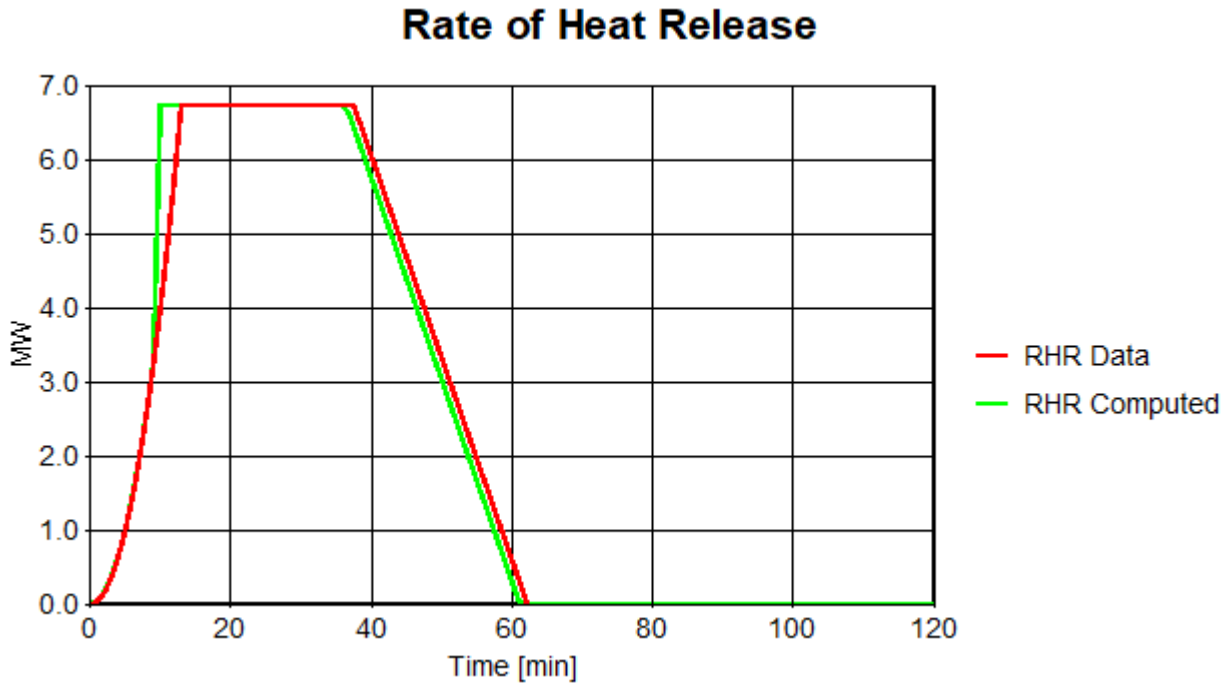
Fire Area: The maximum fire area (26.96m²) is greater than 25% of the floor area (26.96m²). The fire load is uniformly distributed.

Switch to one zone + Fully engulfed fire: Temperature of zone in contact with fuel >300.0°C at time [s] 545.79



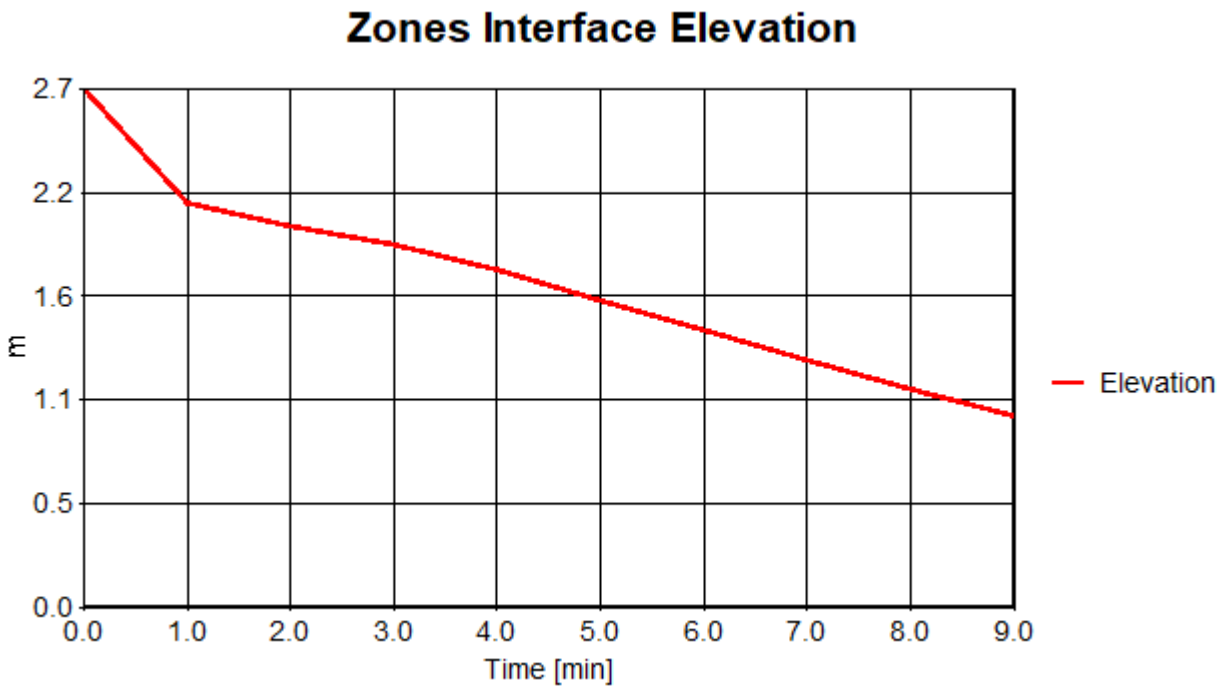
Peak: 636 °C At: 36 min

Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature



Peak: 6.74 MW At: 13.0 min

Figure 2. RHR Data and Computed



h = 1.01 m At: 9.00 min

Figure 4. Zones Interface Elevation

STEEL PROFILE

Unprotected Section

Catalog Profile:	IPE 80 A
Exposed to Fire on:	4 sides

HEATING

Profile heated by:	Maximum Between Hot Zone and Localised Fire Temperature
Convection coefficient:	35 W/m²K
Relative emissivity:	0.7
Horizontal Distance Between Fire Axis and Profile:	0 m

OZone V 2.2.6 Report

Analysis Name: **Finch woning - variatie verbrandingswaarde**
File Name: H:\afstuderen\casus\OZONE\Finch woning - variatie verbrandingswaarde.ozn
Created: 13-4-2018 at 14:07:44

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy: Combination 2Zones - 1 Zone Model
Transition criteria from 2 Zones to 1 Zone

Upper Layer Temperature	≥ 500°C
Combustible in Upper Layer + U.L. Temperature	≥ Combustible Ignition Temperature = 300 °C
Interface Height	≤ 0.1 Compartment Height
Fire Area	≥ 0.5 Floor Area

PARAMETERS

Openings

Radiation Through Closed Openings:	0.8
Bernoulli Coefficient:	0.7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature:	293 K
Initial Pressure:	100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface:	25 W/m²K
Convection Coefficient at the Cold Surface:	9 W/m²K

Calculation Parameters

End of Calculation:	7200 sec
Time Step for Printing Results:	60 sec
Maximum Time Step for Calculation:	10 sec

Air Entrained Model: Heskestad

COMPARTMENT

Form of Compartment:	Any Compartment	
Number of Walls:	1	
Floor Area:	26.96	m²
Height:	2.79	m

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES

Floor

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Glass wool & Rock wool	14	60	0.037	1030
Normal Wood	12	460	0.1	1600

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal Wood	8	460	0.1	1600

Wall 1

Wall length: 22.7 m

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal Wood	14	460	0.1	1600

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0	2.64	2.17	Constant	no
0	2.69	1.5	Constant	no

FIRE

Fire Curve:	NFSC Design Fire	
Maximum Fire Area:	26.96	m²
Fire Elevation:	0	m
Fuel Height:	1	m

Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kw/m²]	Fire Load qf,k [MJ/m²]	Danger of Fire Activation
User Defined	300	250	780	1

Active Measures

Description	Active	Value
Automatic Water Extinguishing System	No	$\delta_{n,1} = 1$
Independent Water Supplies	No	$\delta_{n,2} = 1$
Automatic Fire Detection by Heat	No	$\delta_{n,3} = 1$
Automatic Fire Detection by Smoke	No	
Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	No	$\delta_{n,5} = 1$
Work Fire Brigade	No	$\delta_{n,6} = 1$
Off Site Fire Brigade	No	
Safe Access Routes	Yes	$\delta_{n,8} = 1$
Staircases Under Overpressure in Fire Alarm	No	
Fire Fighting Devices	Yes	$\delta_{n,9} = 1$
Smoke Exhaust System	Yes	$\delta_{n,10} = 1$

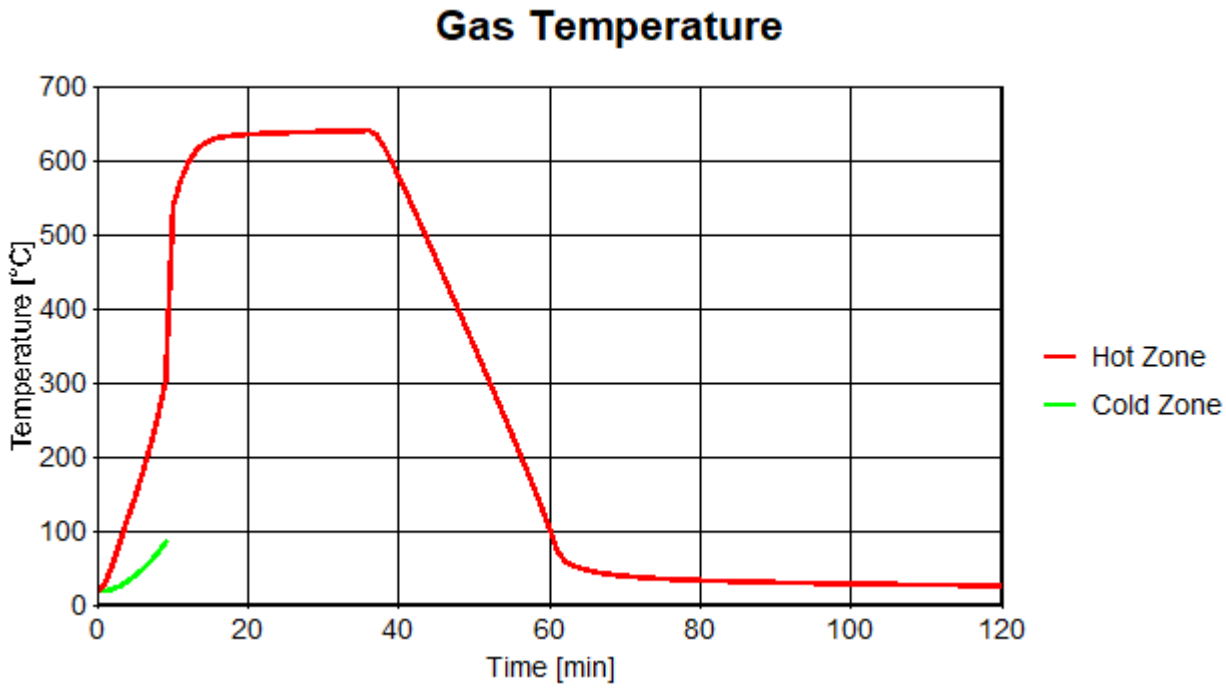
Fire Risk Area:	12	m²	$\delta_{q,1} =$ 0.99
Danger of Fire Activation:			$\delta_{q,2} =$ 1
$q_{f,d} =$	617.8	MJ/m²	

Combustion Heat of Fuel:	22.75	MJ/kg
Combustion Efficiency Factor:	0.8	
Combustion Model:	Extended fire duration	

RESULTS

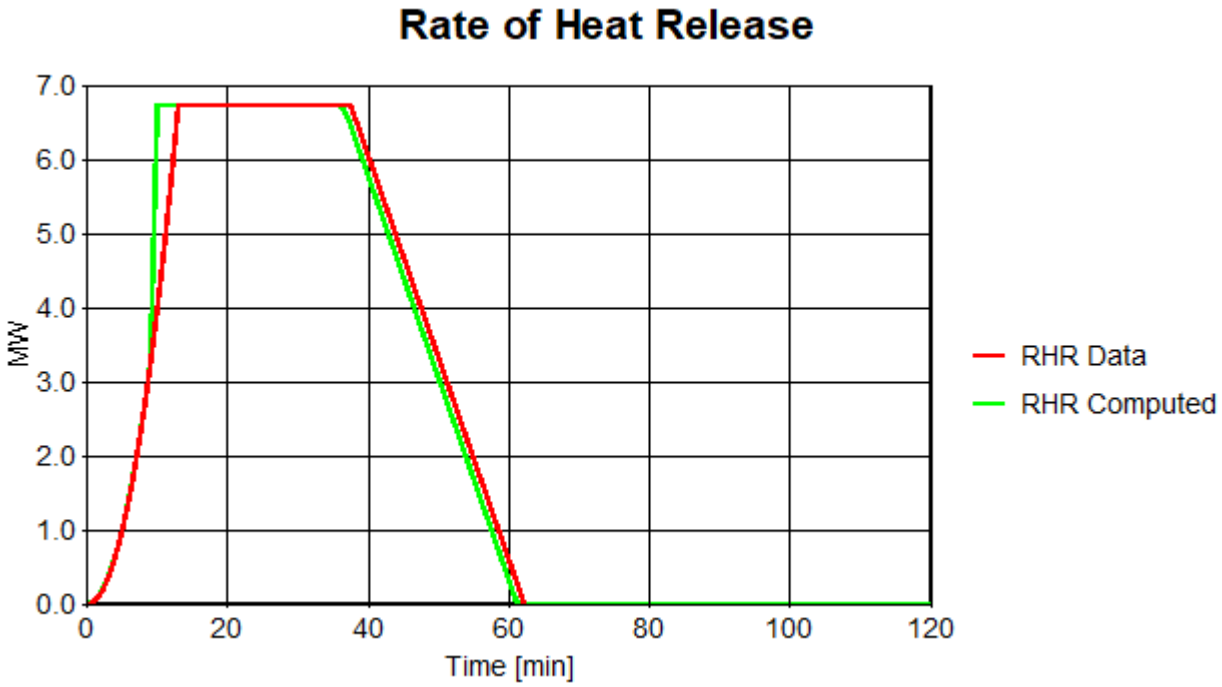
Fire Area: The maximum fire area (26.96m²) is greater than 25% of the floor area (26.96m²). The fire load is uniformly distributed.

Switch to one zone + Fully engulfed fire: Temperature of zone in contact with fuel >300.0°C at time [s] 550.00



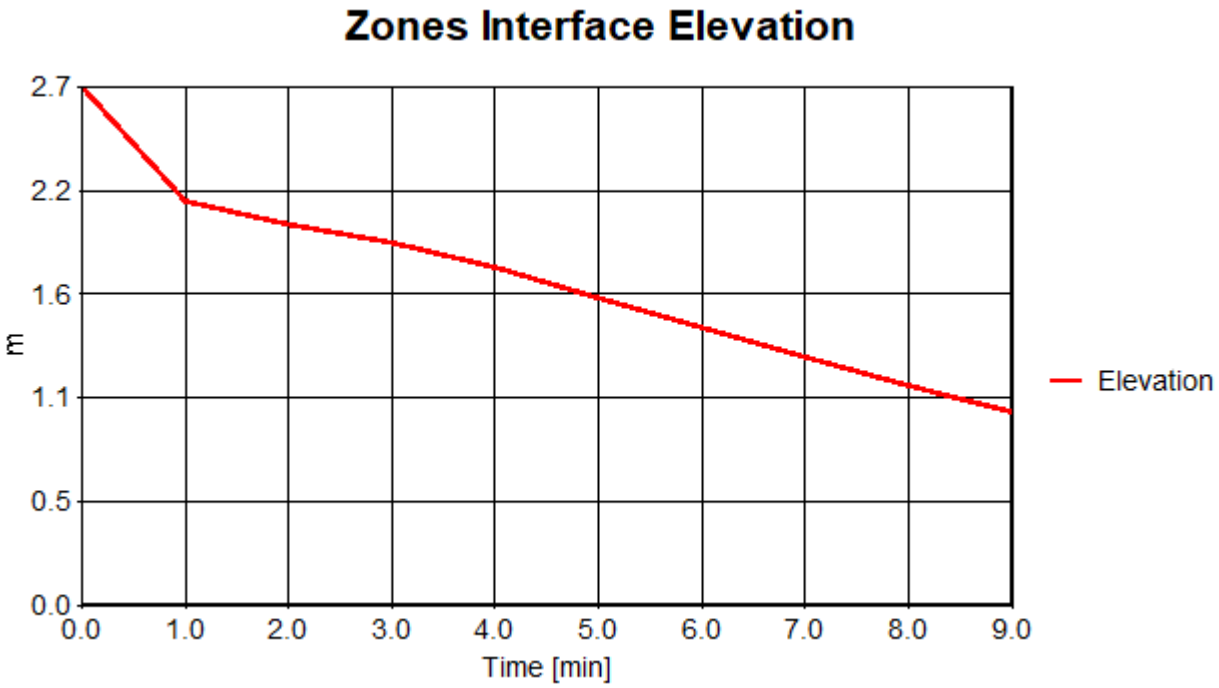
Peak: 641 °C At: 36 min

Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature



Peak: 6.74 MW At: 13.0 min

Figure 2. RHR Data and Computed



h = 1.02 m At: 9.00 min

Figure 4. Zones Interface Elevation

OZone V 2.2.6 Report

Analysis Name: **Finch woning - variatie verbrandingsefficiëntie**
File Name: H:\afstuderen\casus\OZONE\Finch woning - variatie verbrandingsefficientie.ozn
Created: 13-4-2018 at 14:05:51

ANALYSIS STRATEGY

Selected strategy: Combination 2Zones - 1 Zone Model
Transition criteria from 2 Zones to 1 Zone

Upper Layer Temperature	≥ 500°C
Combustible in Upper Layer + U.L. Temperature	≥ Combustible Ignition Temperature = 300 °C
Interface Height	≤ 0.1 Compartment Height
Fire Area	≥ 0.5 Floor Area

PARAMETERS

Openings

Radiation Through Closed Openings:	0.8
Bernoulli Coefficient:	0.7

Physical Characteristics of Compartment

Initial Temperature:	293 K
Initial Pressure:	100000 Pa

Parameters of Wall Material

Convection Coefficient at the Hot Surface:	25 W/m²K
Convection Coefficient at the Cold Surface:	9 W/m²K

Calculation Parameters

End of Calculation:	7200 sec
Time Step for Printing Results:	60 sec
Maximum Time Step for Calculation:	10 sec

Air Entrained Model: Heskestad

COMPARTMENT

Form of Compartment:	Any Compartment	
Number of Walls:	1	
Floor Area:	26.96	m²
Height:	2.79	m

DEFINITION OF ENCLOSURE BOUNDARIES

Floor

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Glass wool & Rock wool	14	60	0.037	1030
Normal Wood	12	460	0.1	1600

Ceiling

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal Wood	8	460	0.1	1600

Wall 1

Wall length: 22.7 m

Material (from inside to outside)	Thickness [cm]	Unit Mass [kg/m³]	Conductivity [W/mK]	Specific Heat [J/kgK]
Normal Wood	14	460	0.1	1600

Openings

Sill Height [m]	Soffit Height [m]	Width [m]	Variation	Adiabatic
0	2.64	2.17	Constant	no
0	2.69	1.5	Constant	no

FIRE

Fire Curve:	NFSC Design Fire	
Maximum Fire Area:	26.96	m²
Fire Elevation:	0	m
Fuel Height:	1	m

Occupancy	Fire Growth Rate	RHRf [kw/m²]	Fire Load qf,k [MJ/m²]	Danger of Fire Activation
User Defined	300	250	780	1

Active Measures

Description	Active	Value
Automatic Water Extinguishing System	No	$\delta_{n,1} = 1$
Independent Water Supplies	No	$\delta_{n,2} = 1$
Automatic Fire Detection by Heat	No	$\delta_{n,3} = 1$
Automatic Fire Detection by Smoke	No	
Automatic Alarm Transmission to Fire Brigade	No	$\delta_{n,5} = 1$
Work Fire Brigade	No	$\delta_{n,6} = 1$
Off Site Fire Brigade	No	
Safe Access Routes	Yes	$\delta_{n,8} = 1$
Staircases Under Overpressure in Fire Alarm	No	
Fire Fighting Devices	Yes	$\delta_{n,9} = 1$
Smoke Exhaust System	Yes	$\delta_{n,10} = 1$

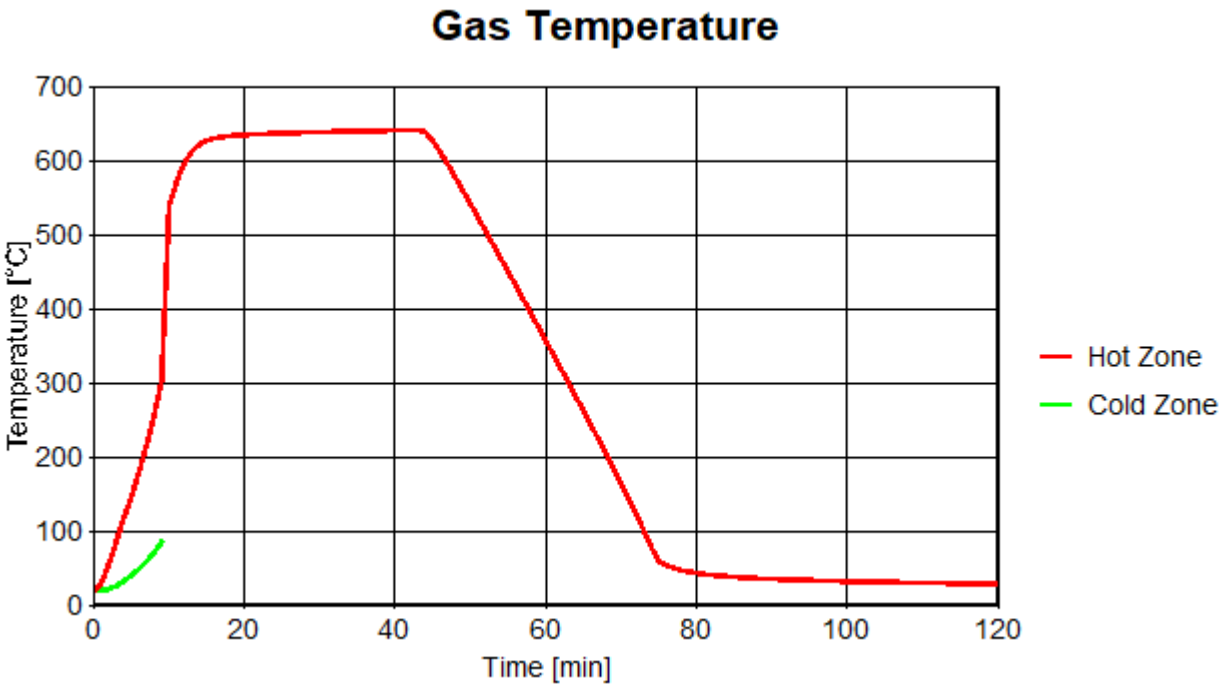
Fire Risk Area:	12	m²	$\delta_{q,1} =$ 0.99
Danger of Fire Activation:			$\delta_{q,2} =$ 1
$q_{f,d} =$	772.2	MJ/m²	

Combustion Heat of Fuel:	17.5	MJ/kg
Combustion Efficiency Factor:	1	
Combustion Model:	Extended fire duration	

RESULTS

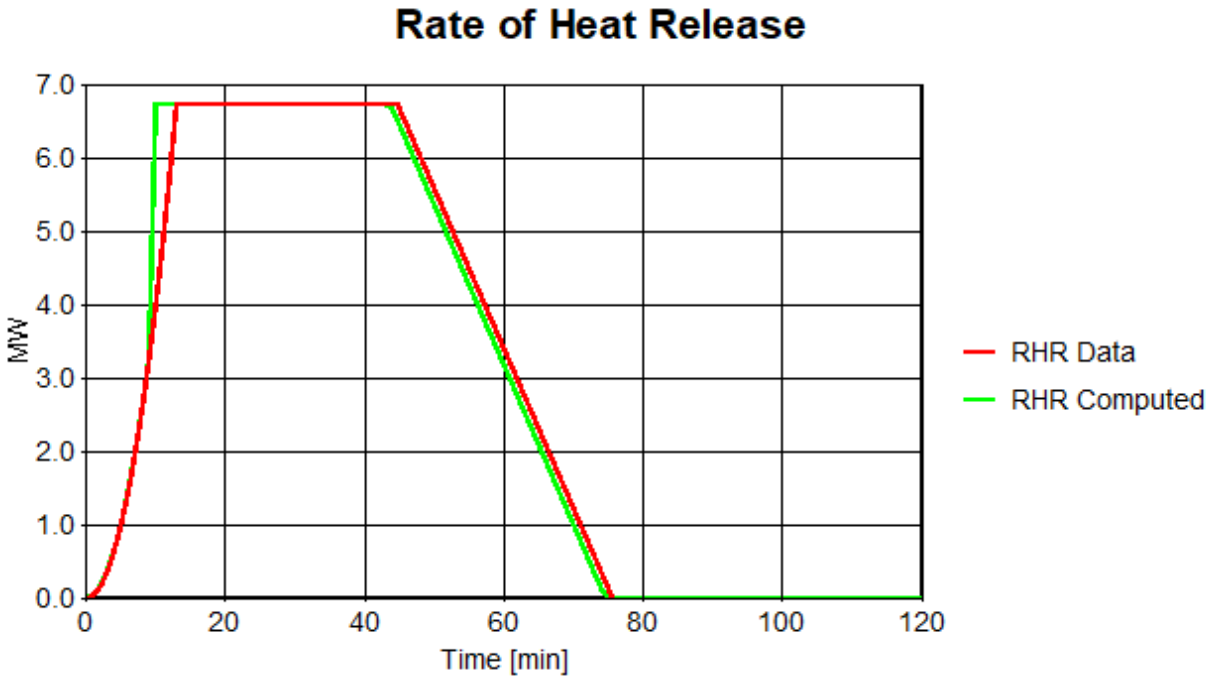
Fire Area: The maximum fire area (26.96m²) is greater than 25% of the floor area (26.96m²). The fire load is uniformly distributed.

Switch to one zone + Fully engulfed fire: Temperature of zone in contact with fuel >300.0°C at time [s] 550.00



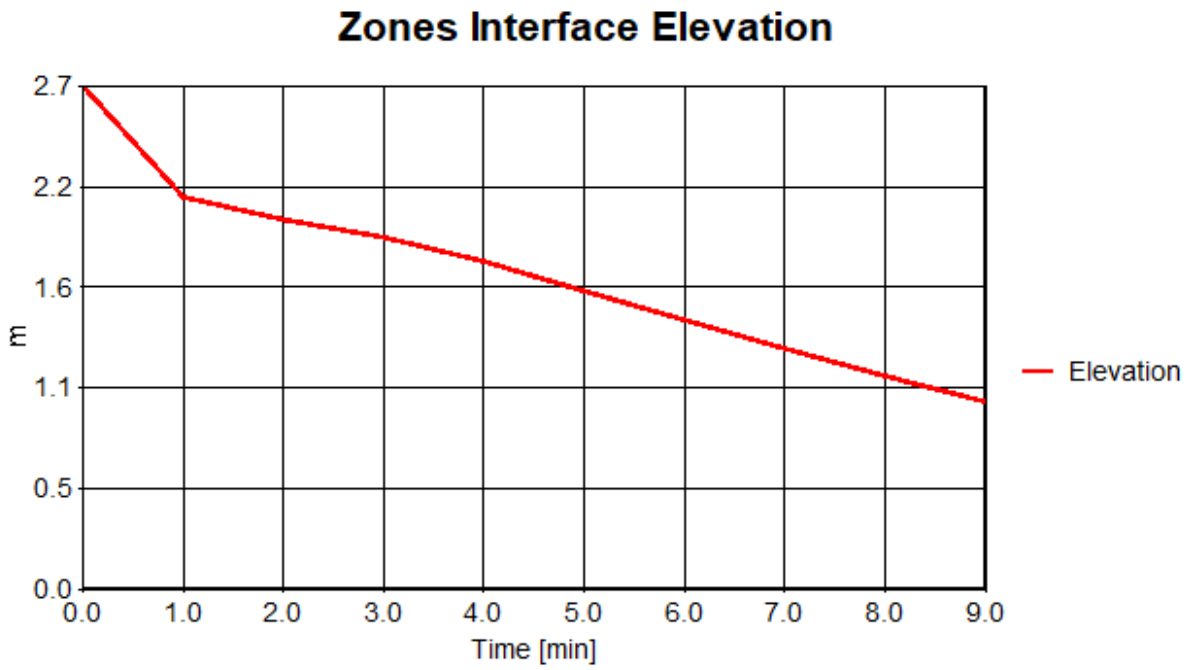
Peak: 642 °C At: 43 min

Figure 1. Hot and Cold Zone Temperature



Peak: 6.74 MW At: 13.0 min

Figure 2. RHR Data and Computed



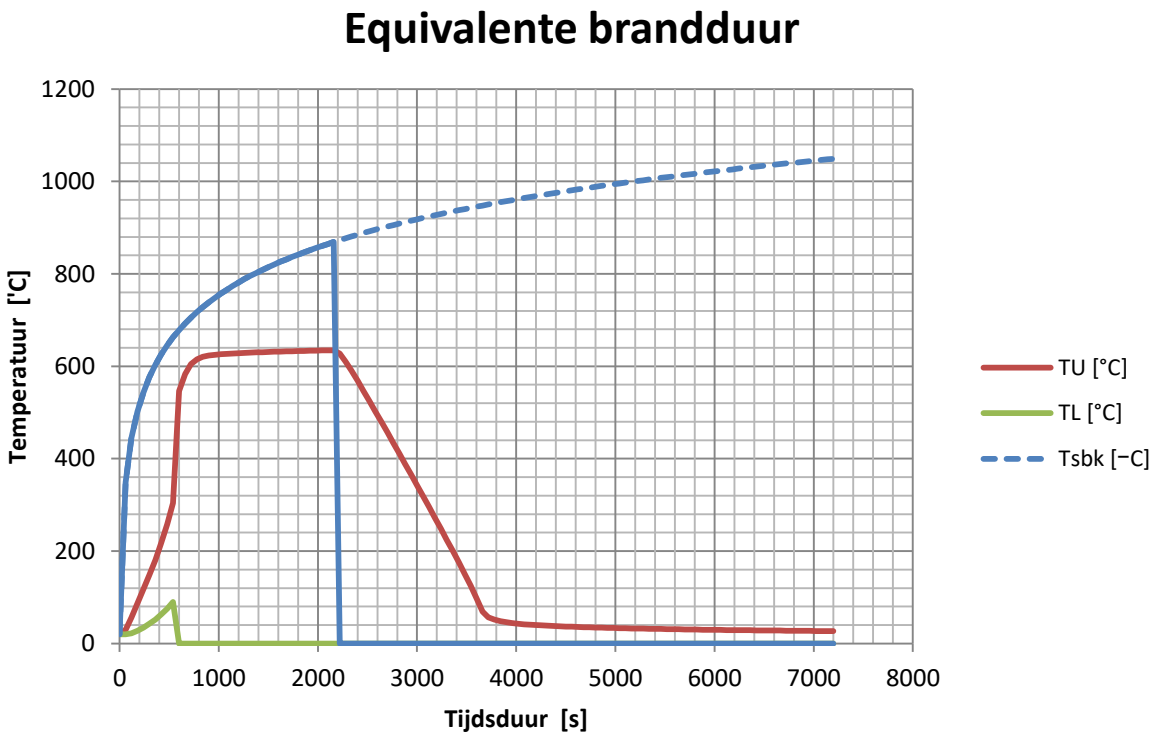
h = 1.02 m At: 9.00 min

Figure 4. Zones Interface Elevation

Bijlage I-6

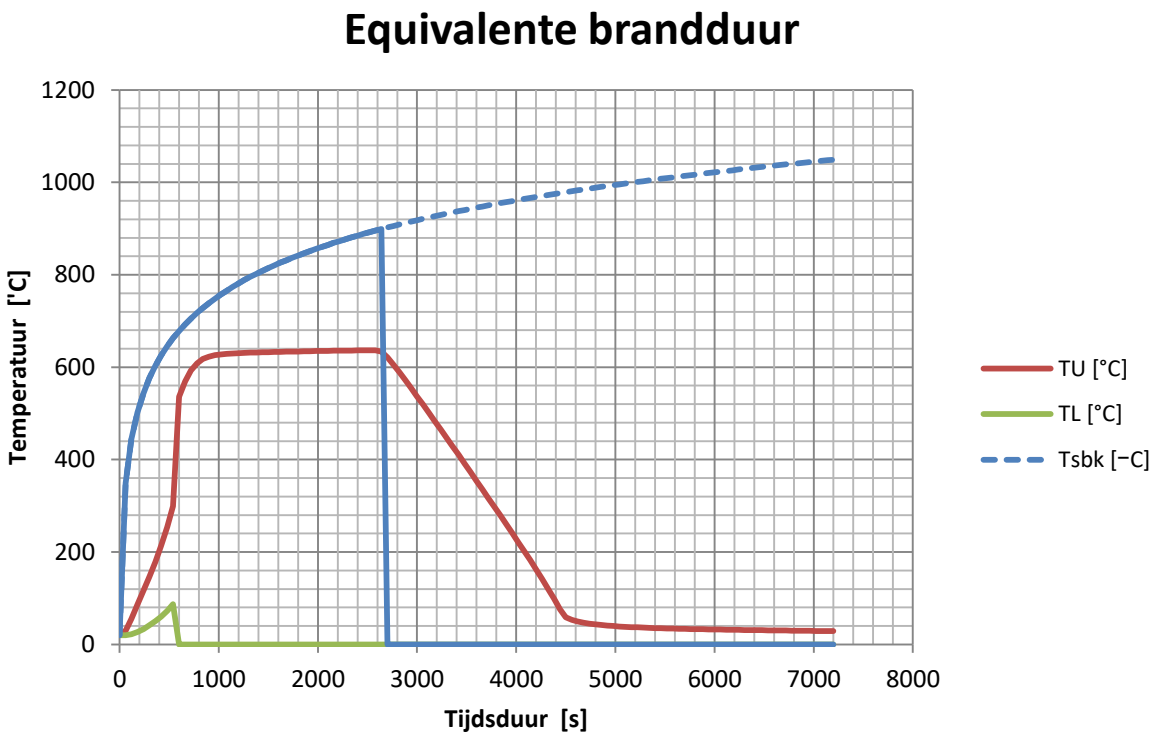
Gevonden equivalente brandduur voor alle gemaakte simulaties (analyse 1 tot en met analyse 8).

Analyse 1 – gemiddelde



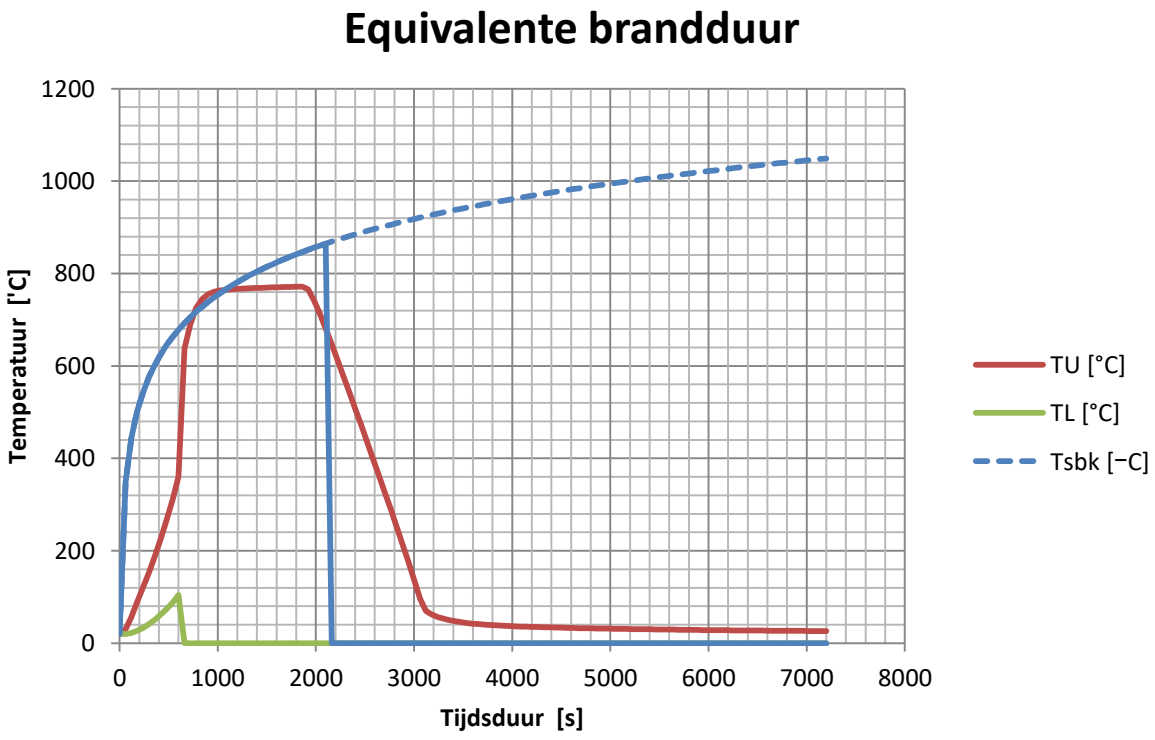
Equivalente brandduur = 36 minuten

Analyse 2 – Variatie vuurbelasting



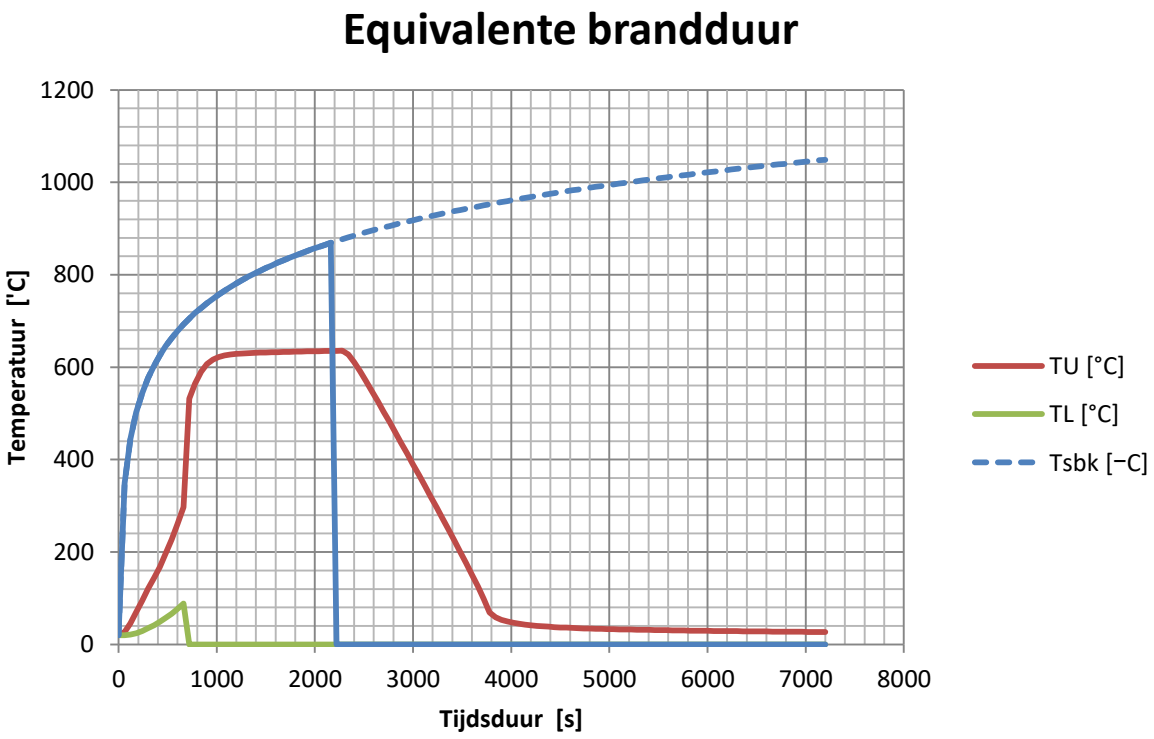
Equivalente brandduur = 44 minuten

Analyse 3 – Variatie vermogensdichtheid



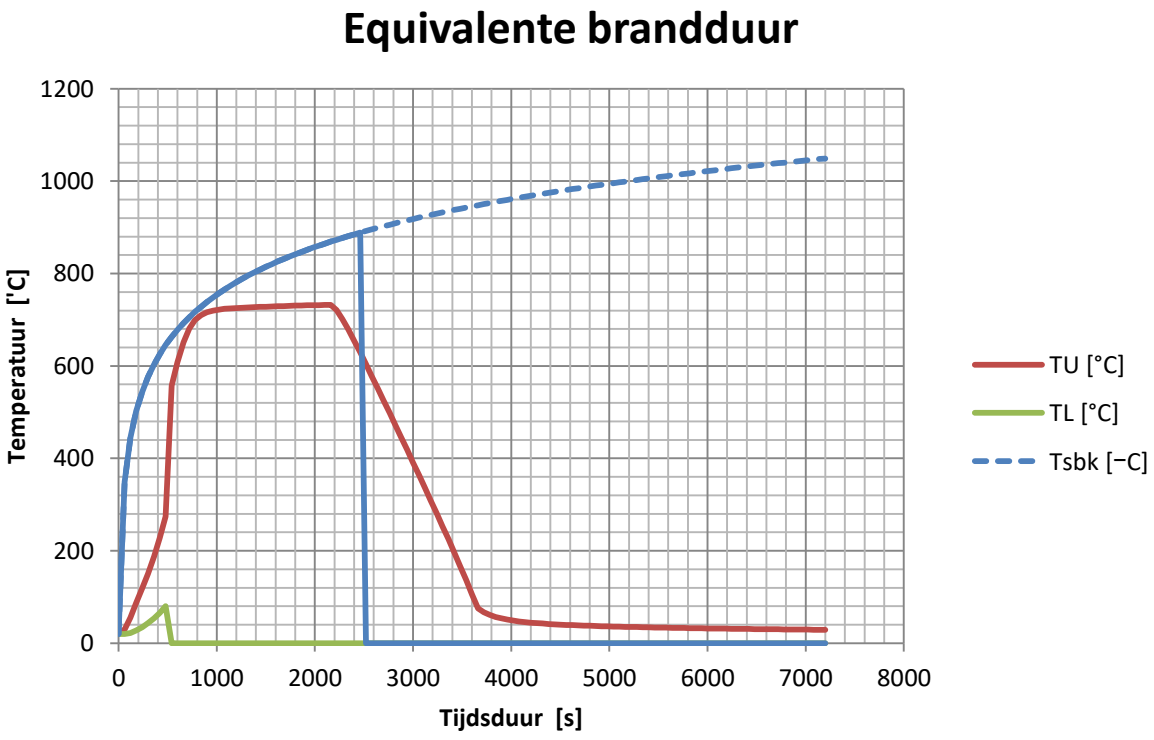
Equivalente brandduur = 36 minuten

Analyse 4 – Variatie tijdconstante



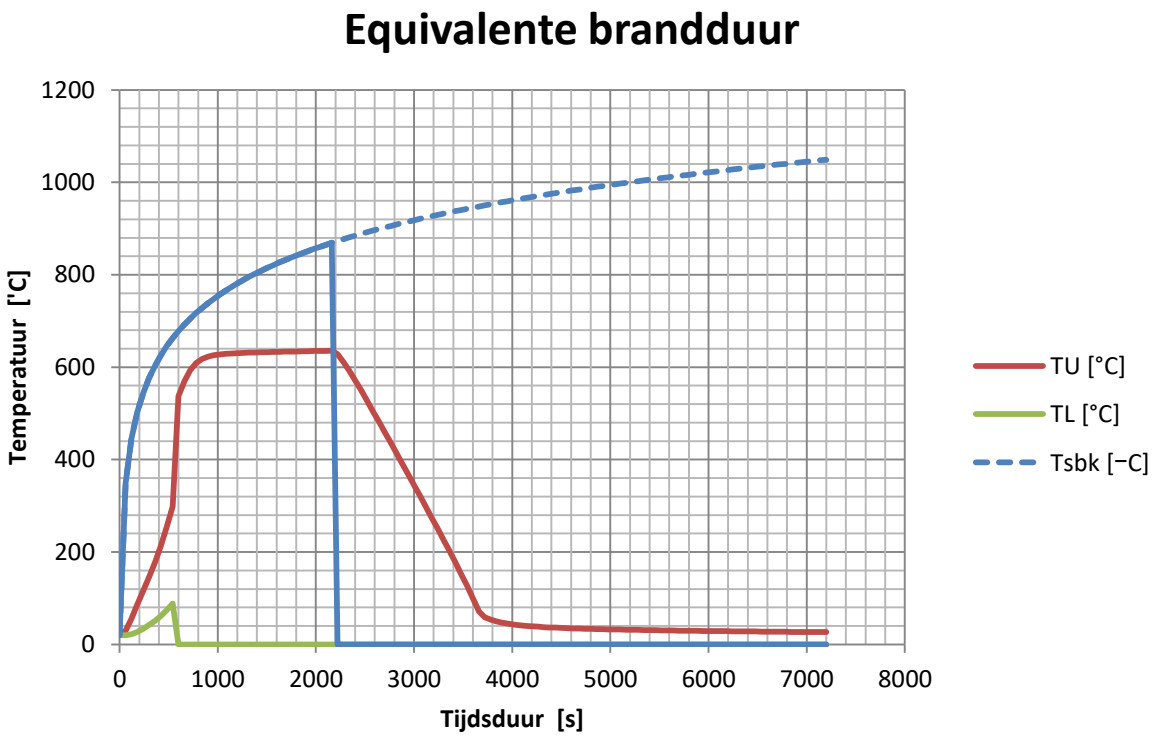
Equivalente brandduur = 36 minuten

Analyse 5 – Variatie openingsfactor



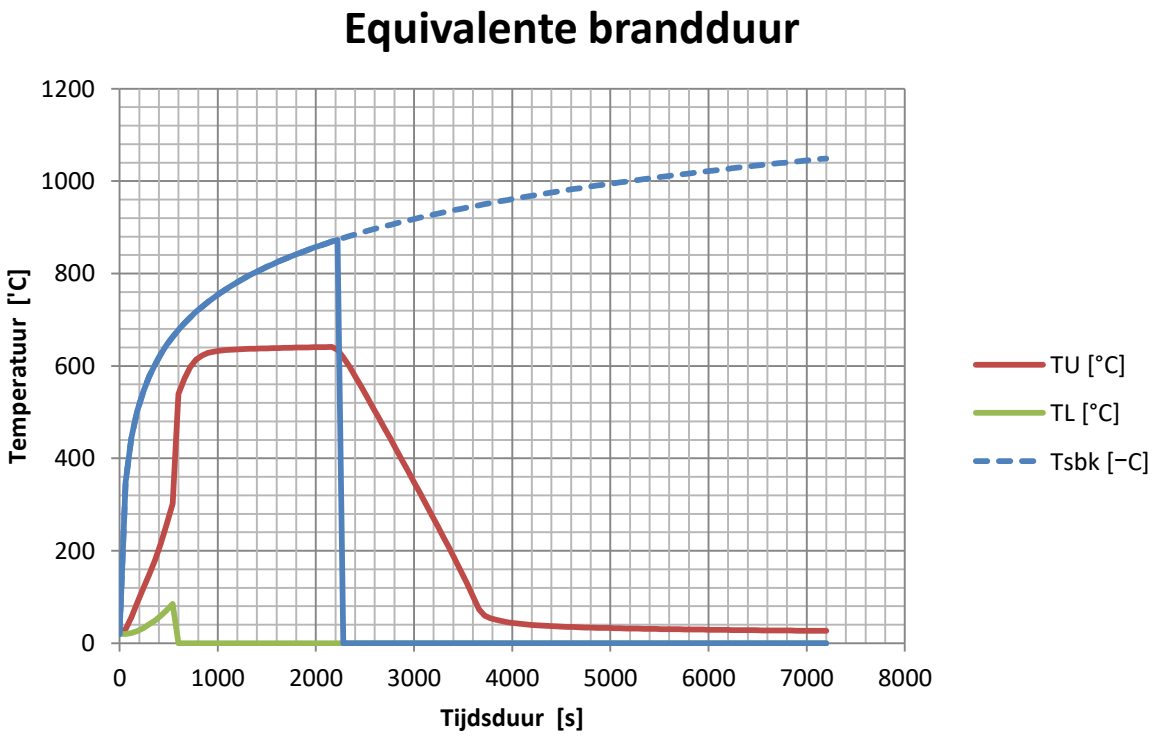
Equivalente brandduur = 41 minuten

Analyse 6 – Variatie stoichiometrische coëfficiënt



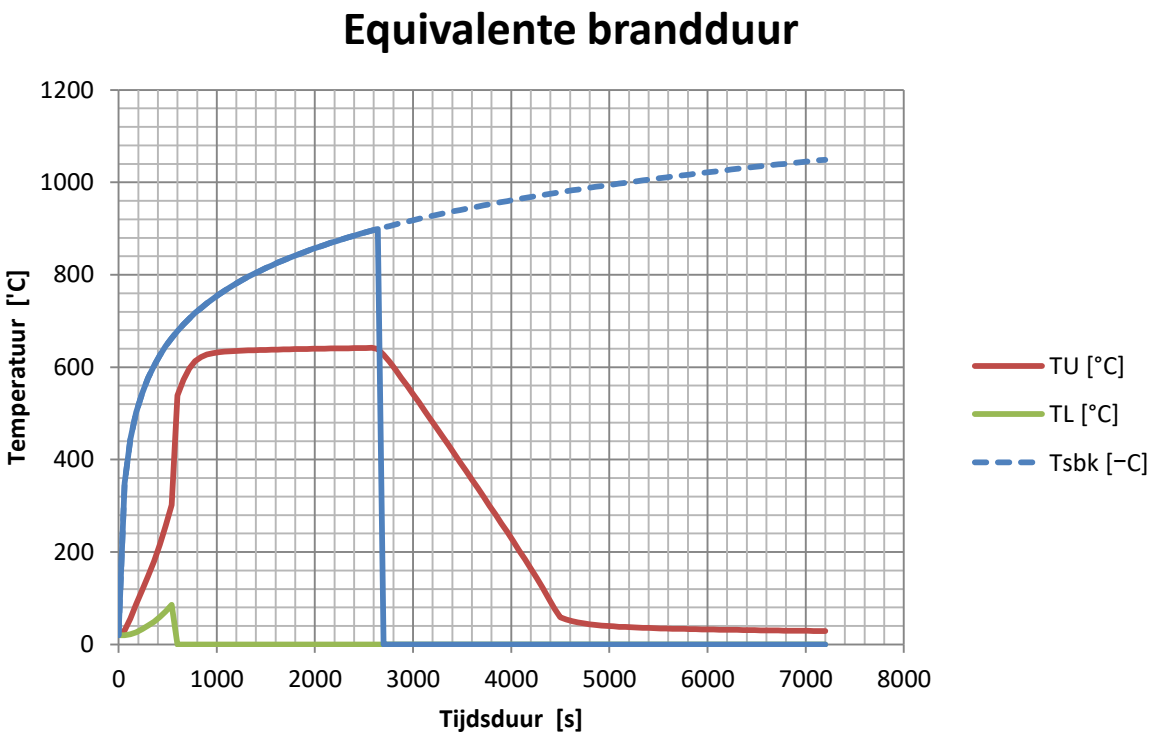
Equivalente brandduur = 36 minuten

Analyse 7 – Variatie verbrandingswaarde



Equivalente brandduur = 37 minuten

Analyse 8 – Variatie verbrandingsefficiëntie



Equivalente brandduur = 44 minuten

Bijlage I-7

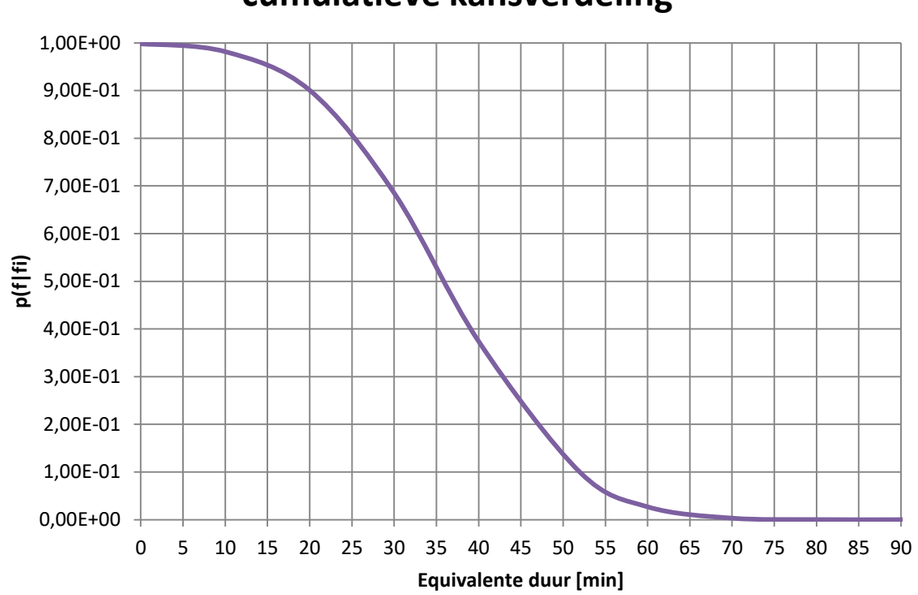
PROBABILISTISCHE BEREKENING POST FLASHOVER BRAND
GEVOELIGHEIDSANALYSE EQUIVALENTE BRANDDUUR

Verbrandingsmodel Extended fire duration
Rechthoekige ruimte 3.6 x 7.74 m
Hoogte: 2.79 m

stochastische randcondities			deterministisch gemiddeld x	deterministisch Equiv.duur t [min]	gevoeligheidsanalyse variatie V	gevoeligheidsanalyse st. deviatie s	gevoeligheidsanalyse variant x + dx	gevoeligheidsanalyse Equiv.duur t [min]	standaardafwijking dt/dx	standaardafwijking s·dt/dx	standaardafwijking $(s \cdot dt/dx)^2$
vuurbelasting	**q**	MJ/m2	**780**		0,25	195,00	**975,00**	***44,00***	0,04	8,00	64,00
ref. brandvermogen	**RHR**	kw/m2	**250**		0,25	62,50	**312,50**	***35,00***	-0,02	-1,00	1,00
tijdconstante	**Tc**	s	**300**		0,25	75,00	**375,00**	***36,00***	0,00	0,00	0,00
daglichtopeningen	**Aopen**	%	**0,75**		0,15	0,11	**0,86**	***41,00***	44,44	5,00	25,00
verbrandingswaarde	**Hc**	MJ/kg	**17,5**		0,30	5,25	**22,75**	***37,00***	0,19	1,00	1,00
stoichiometrische const.	**r**	kg/kg	**1,27**		0,30	0,38	**1,65**	***36,00***	0,00	0,00	0,00
verbrandingsefficientie	**eff**	%	**0,8**		0,25	0,20	**1,00**	***44,00***	40,00	8,00	64,00
			Equiv.duur	***36,0***						variantie(t) =	155,000
										s(t) =	12,450

CUMULATIEVE KANS

normale verdeling, gegeven de brand			
t [min]	**s(t)**	**beta(f|fi)**	**p(f|fi)[1]**
0	12,44990	2,892	9,98E-01
10	12,44990	2,088	9,82E-01
20	12,44990	1,285	9,01E-01
30	12,44990	0,482	6,85E-01
40	12,44990	-0,321	3,74E-01
52	12,44990	-1,285	9,94E-02
60	12,44990	-1,928	2,69E-02
70	12,44990	-2,731	3,16E-03
80	12,44990	-3,534	2,05E-04
90	12,44990	-4,337	7,21E-06
100	12,44990	-5,141	1,37E-07



[1] Is de kans dat de thermische belasting groter is dan de gehanteerde equivalente brandduur.

Bijlage I-7

PROBABILISTISCHE BEREKENING POST FLASHOVER BRAND
GEVOELIGHEIDSANALYSE INBRANDDIEPTEN (t = 90 minuten)

			stochastische randcondities	deterministisch: gemiddeld x	deterministisch: Inbranddiepte d_{char} [mm]
soortelijke massa	ρ	kg/m³		580	
volumieke massacoëfficiënt	-	-		1,12	
soortelijke warmte	c	(J/kgK)		1530	
thermische geleiding	λ	(W/mK)		0,12	
bezwijktemperatuur lijm	T_{lijm}	(K)		773	
				d_{char} (mm)	***55,6***

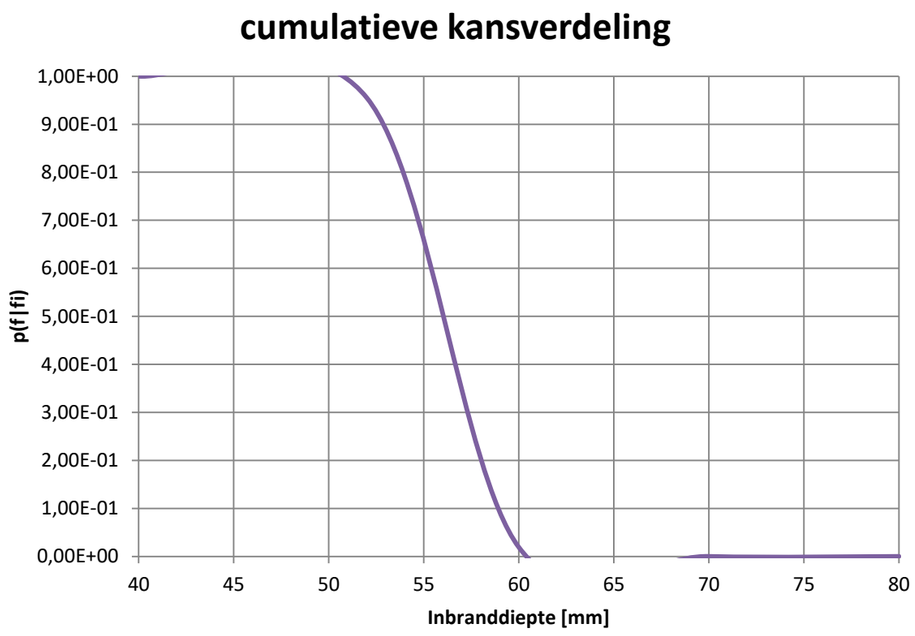
gevoeligheidsanalyse: variatie V	st. deviatie s	variant x + dx	Inbranddiepte d_{char} [mm]
0,21	87	493	***57,60***
0,02	0,02	1,14	***55,60***
0,25	153,0	1377,0	***55,60***
0,50	0,05	0,17	***56,30***
0,26	155	618	***55,70***

standaardafwijking: dt/dx	s·dt/dx	$(s \cdot dt/dx)^2$
0,02	2,00	4,00
0,00	0,00	0,00
0,00	0,00	0,00
14,58	0,70	0,49
0,00	0,10	0,01
	variantie(t) =	4,500
	s(t) =	2,121

omdat ik ane

CUMULATIEVE KANS

normale verdeling, gegeven de brand: d_{char} [mm]	s(t)	beta(f|fi)	p(f|fi)[1]
40	2,12132	7,354	1,00E+00
52	2,12132	1,697	9,55E-01
60	2,12132	-2,074	1,90E-02
70	2,12132	-6,788	5,68E-12
80	2,12132	-11,502	0,00E+00

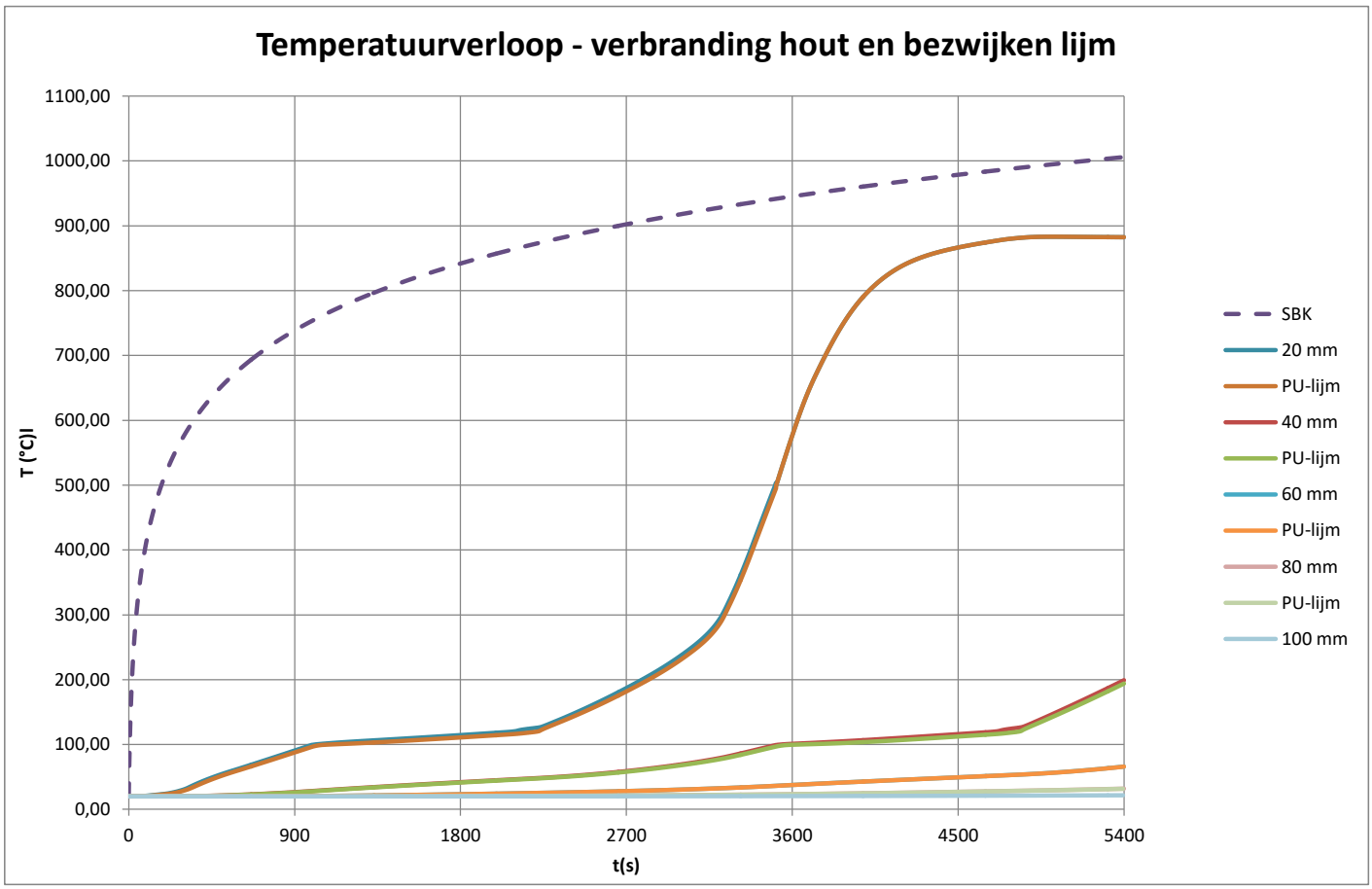


[1] Is de kans dat de inbranddiepte groter is dan de gehanteerde inbranddiepte.
NB: De onzekerheden zijn slechts in één richting gevarieerd

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 1

GEMIDDELDE WAARDEN

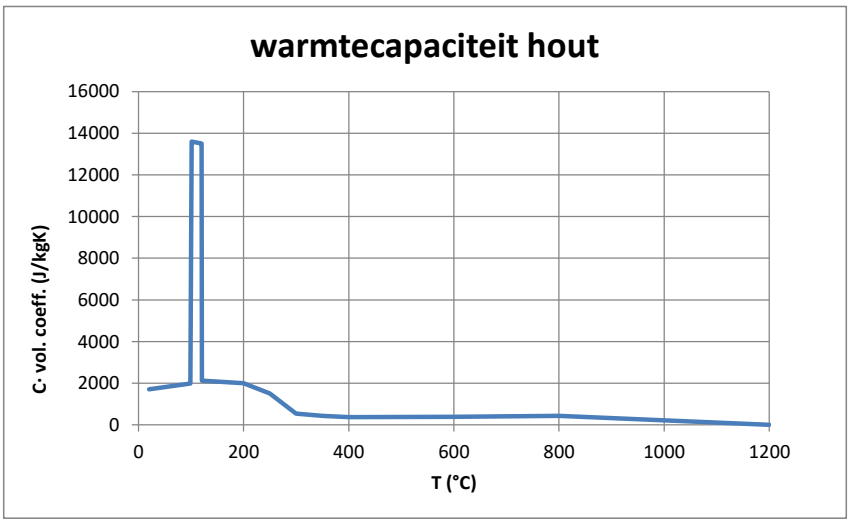
Resultaten: verbranding hout en bezwijken lijm



lijm: $T_{bezwijken}$ = 500 °C

$t_{bezwijken}$ = 59 min (eerste lijmlaag)

Uitgangspunten naaldhout



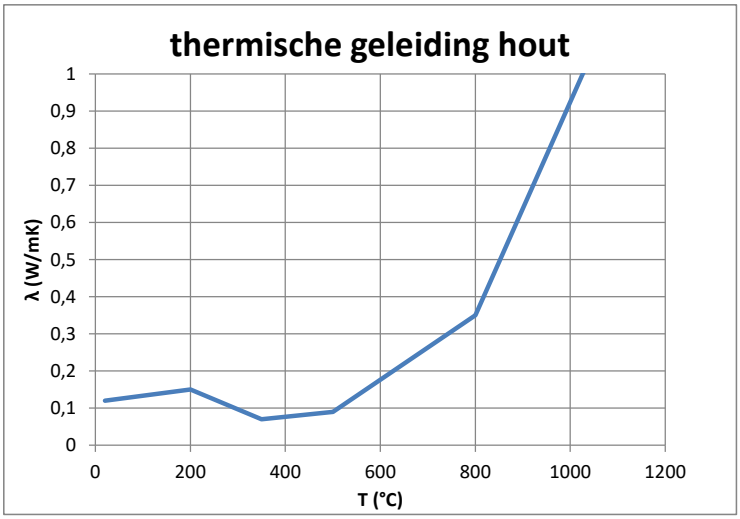
T (°C)	c (J/kgK)	vol. coeff* -	c · vol. coeff. (J/kgK)
20	1530	1,12	1714
99	1770	1,12	1982
101	13600	1	13600
120	13500	1	13500
121	2120	1	2120
200	2000	1	2000
250	1620	0,93	1507
300	710	0,76	540
350	850	0,52	442
400	1000	0,38	380
600	1400	0,28	392
800	1650	0,26	429
1200	1650	0	0

* volumieke massa coëfficiënt

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 1

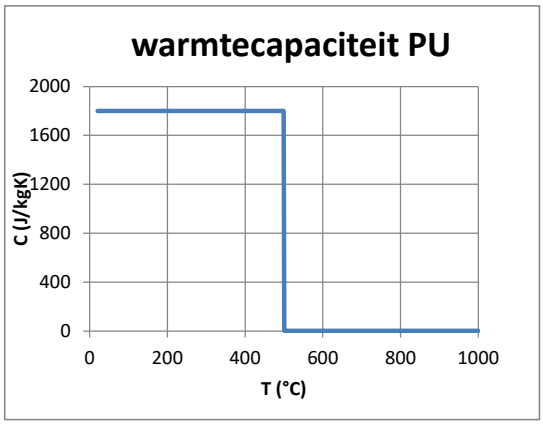
GEMIDDELDE WAARDEN

Resultaten: verbranding hout en bezwijken lijm

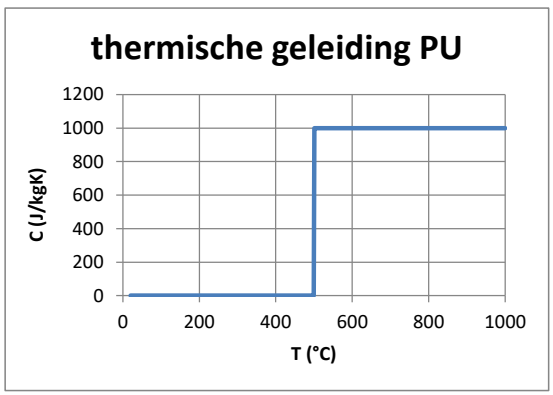


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,12
200	0,15
350	0,07
500	0,09
800	0,35
1200	1,5

Uitgangspunten polyurethaanlijm



T (°C)	c (J/kgK)
20	1800
499	1800
501	0,99
1000	0,99

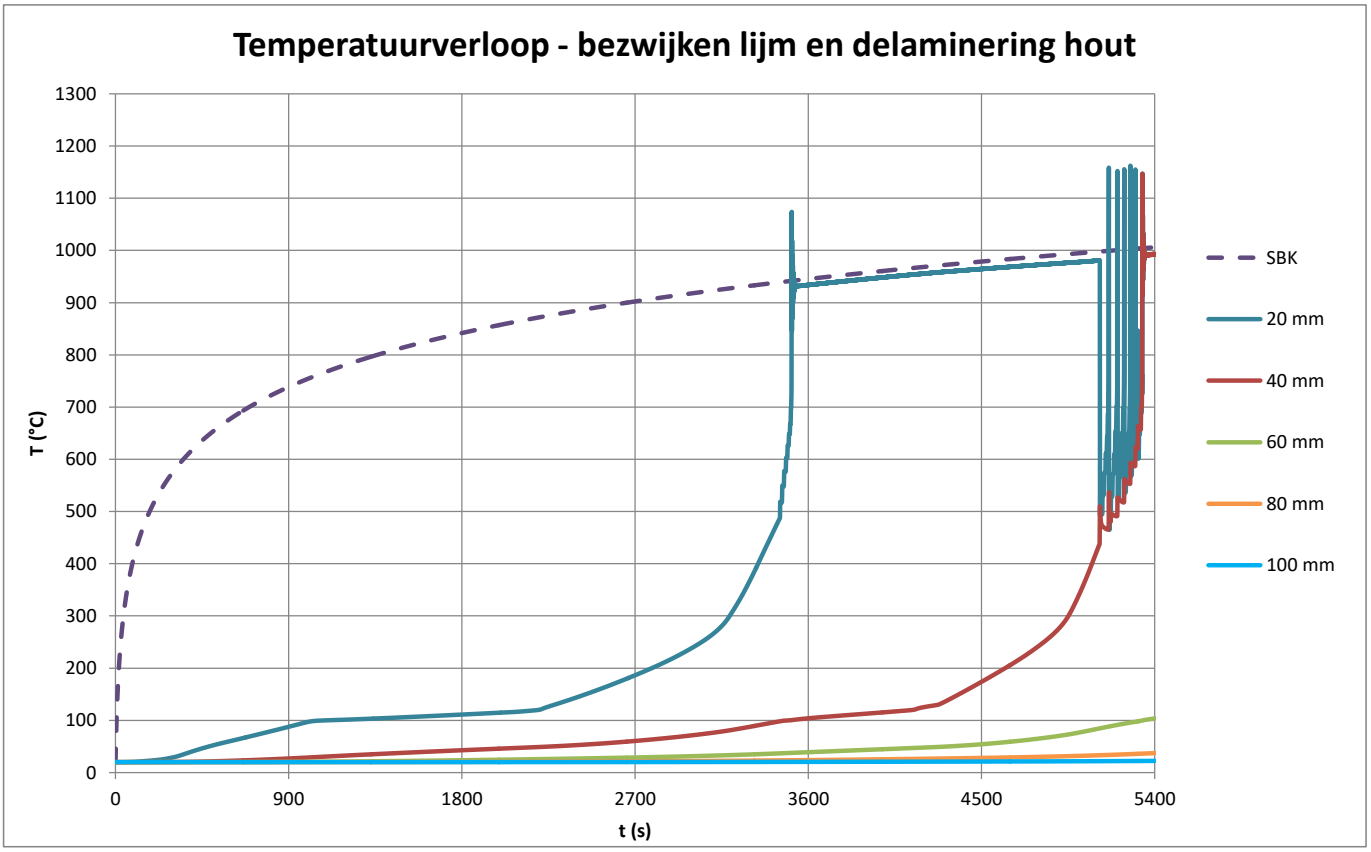


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,25
499	0,25
501	1000
1000	1000

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 1

GEMIDDELDE WAARDEN

Resultaten: delaminering hout en bezwijken lijm

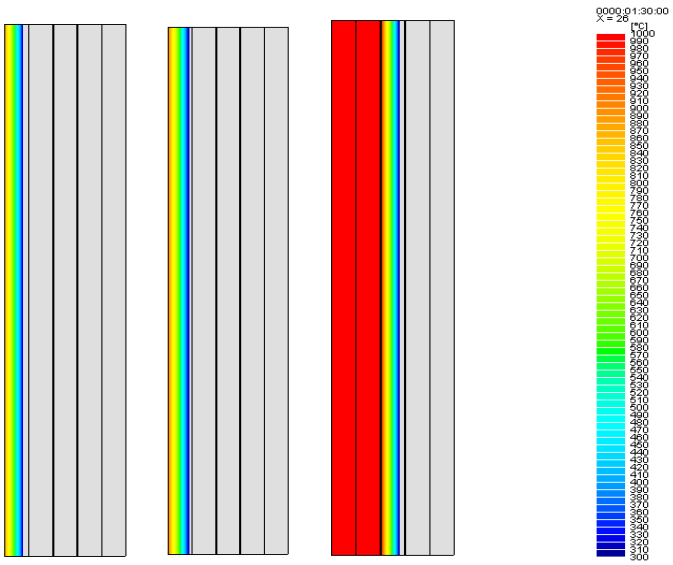


lijm: $T_{bezwijken}$ = 500 °C

$t_{bezwijken}$ = 59 min (eerste lijmlaag)

hout: $T_{bezwijken}$ = 709 °C (gemiddelde temperatuur 1e lamel op t = 59 minuten)

Afbeeldingen temperatuurverloop



t = 36 min t = 44,5 min t = 90 min

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 1

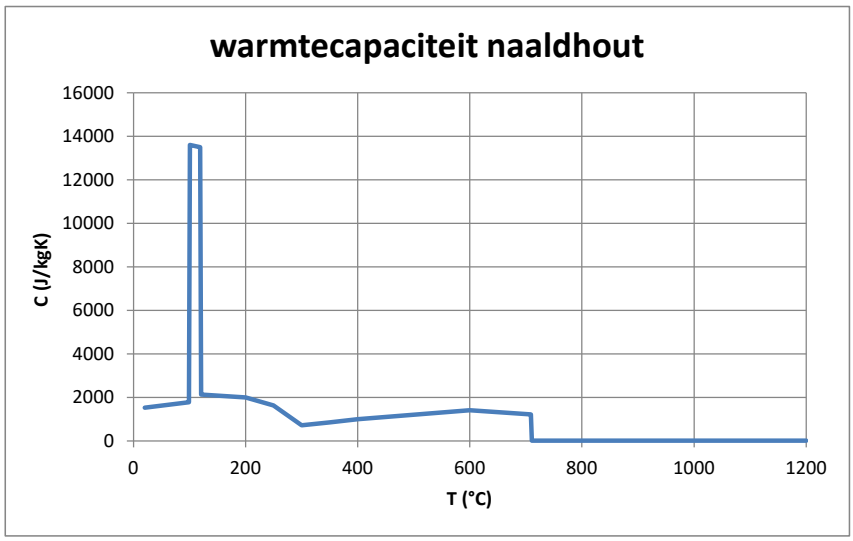
GEMIDDELDE WAARDEN

Inbrandsnelheid en inbranddiepte

Element opbouw	20 mm	40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	t (min)	36 min	44,5 min	90 min
d_{char} (mm)	20	40	60	80	100		15,5	16,5	55,6
$t_{300°C}$ (min)	53	83	-	-	-		36	44,5	90
β_{0laag} (mm/min)	0,38	0,68	-	-	-		-	-	-
$\beta_{0element}$ (mm/min)	0,38	0,48	-	-	-		0,43	0,39	0,62

Inbranddiepte			
t (min)	36,0	45	90
d_{char} (mm)	15,5	16,5	55,6

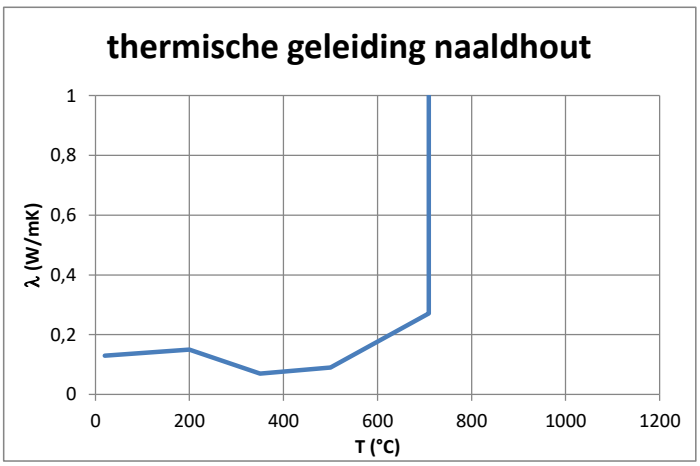
Uitgangspunten naaldhout



T (°C)	c (J/kgK)	vol. coeff* -	c · vol. coeff. (J/kgK)
20	1530	1,12	1714
99	1770	1,12	1982
101	13600	1	13600
119	13500	1	13500
121	2120	1	2120
200	2000	1	2000
250	1620	0,93	1507
300	710	0,76	540
350	850	0,52	442
400	1000	0,38	380
600	1400	0,28	392
709	1218	0,27	328
711	0,99	0	0
800	0,99	0	0
1200	0,99	0	0

* volumieke massa coëfficiënt

Uitgangspunten naaldhout

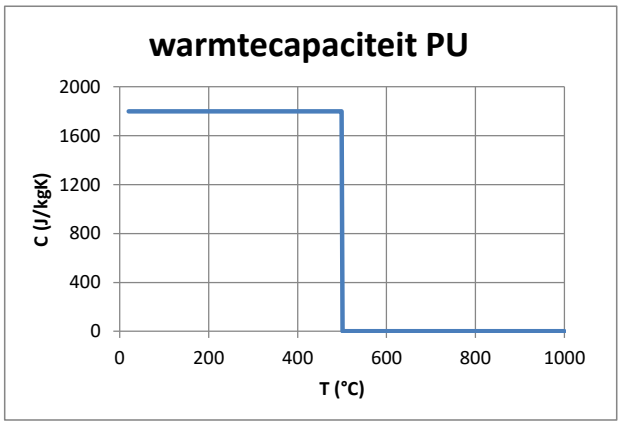


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,13
200	0,15
350	0,07
500	0,09
709	0,27
711	1000
800	1000
1200	1000

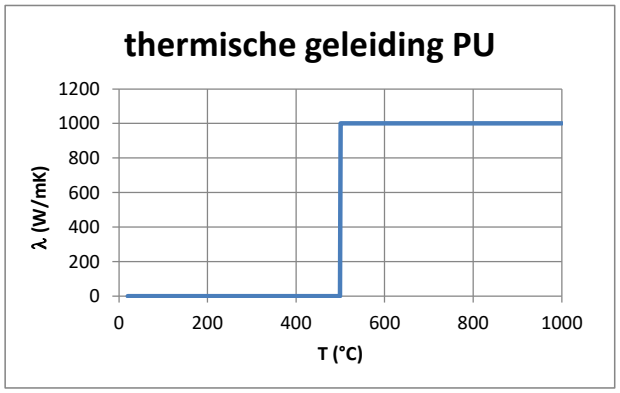
BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 1

GEMIDDELDE WAARDEN

Uitgangspunten polyurethaanlijm



T (°C)	c (J/kgK)
20	1800
499	1800
501	0,99
1000	0,99

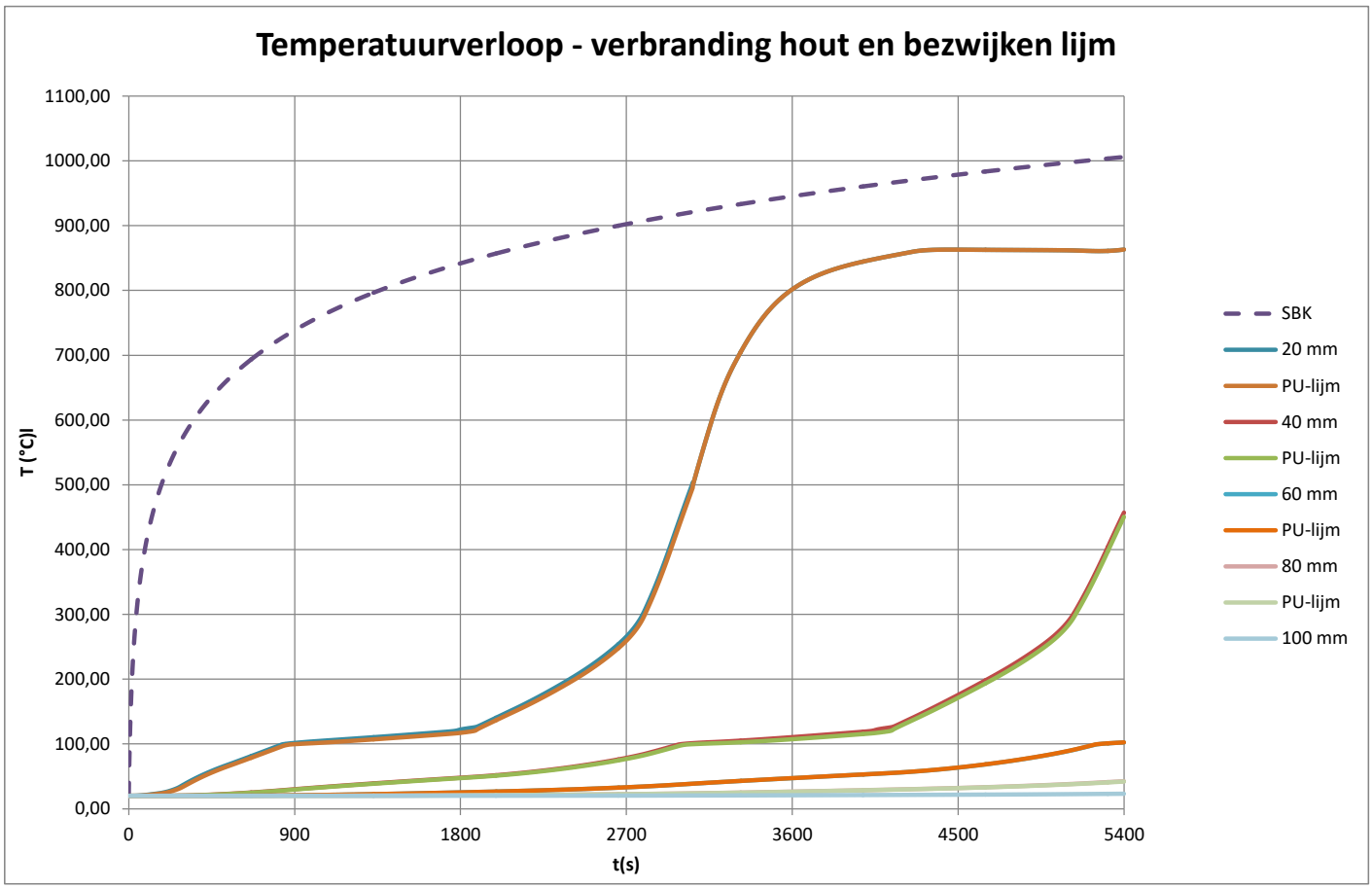


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,25
499	0,25
501	1000
1000	1000

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 2

VARIATIE SOORTELIJKE MASSA NAALDHOUT

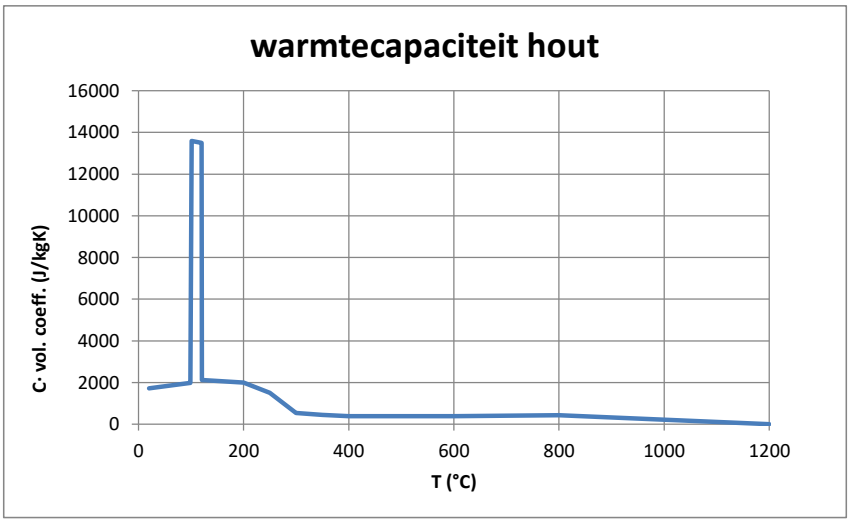
Resultaten: verbranding hout en bezwijken lijm



lijm: $T_{bezwijken}$ = 500 °C

$t_{bezwijken}$ = 51 min (eerste lijmlaag)

Uitgangspunten naaldhout



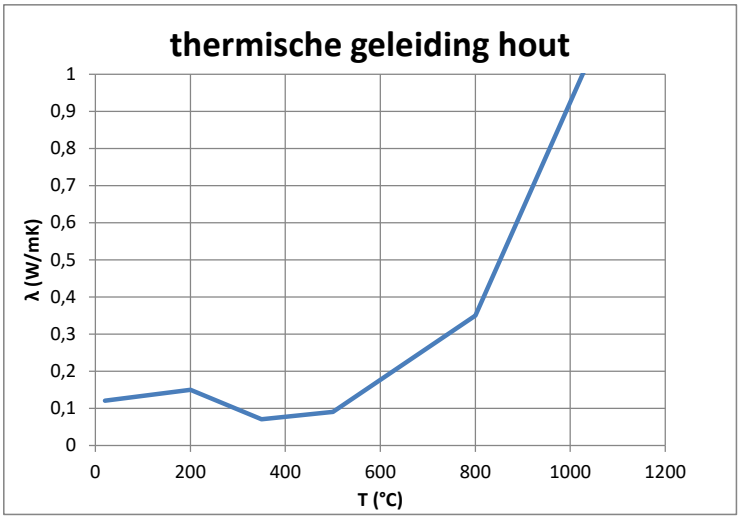
T (°C)	c (J/kgK)	vol. coeff* -	c · vol. coeff. (J/kgK)
20	1530	1,12	1714
99	1770	1,12	1982
101	13600	1	13600
120	13500	1	13500
121	2120	1	2120
200	2000	1	2000
250	1620	0,93	1507
300	710	0,76	540
350	850	0,52	442
400	1000	0,38	380
600	1400	0,28	392
800	1650	0,26	429
1200	1650	0	0

* volumieke massa coëfficiënt

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 2

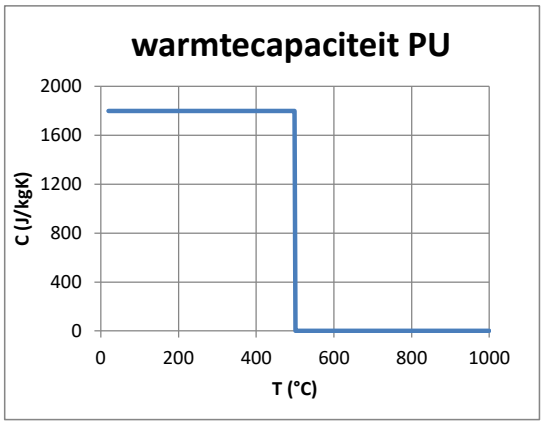
VARIATIE SOORTELIJKE MASSA NAALDHOUT

Resultaten: verbranding hout en bezwijken lijm

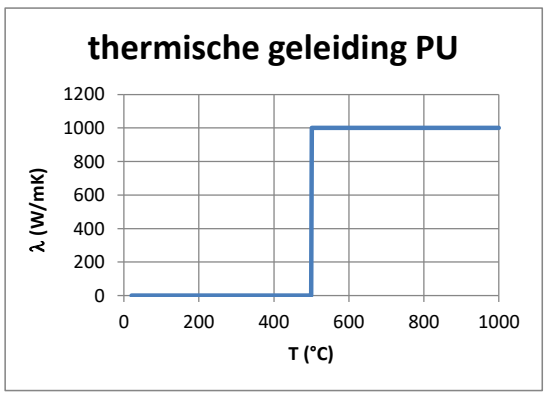


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,12
200	0,15
350	0,07
500	0,09
800	0,35
1200	1,5

Uitgangspunten polyurethaanlijm



T (°C)	c (J/kgK)
20	1800
499	1800
501	0,99
1000	0,99

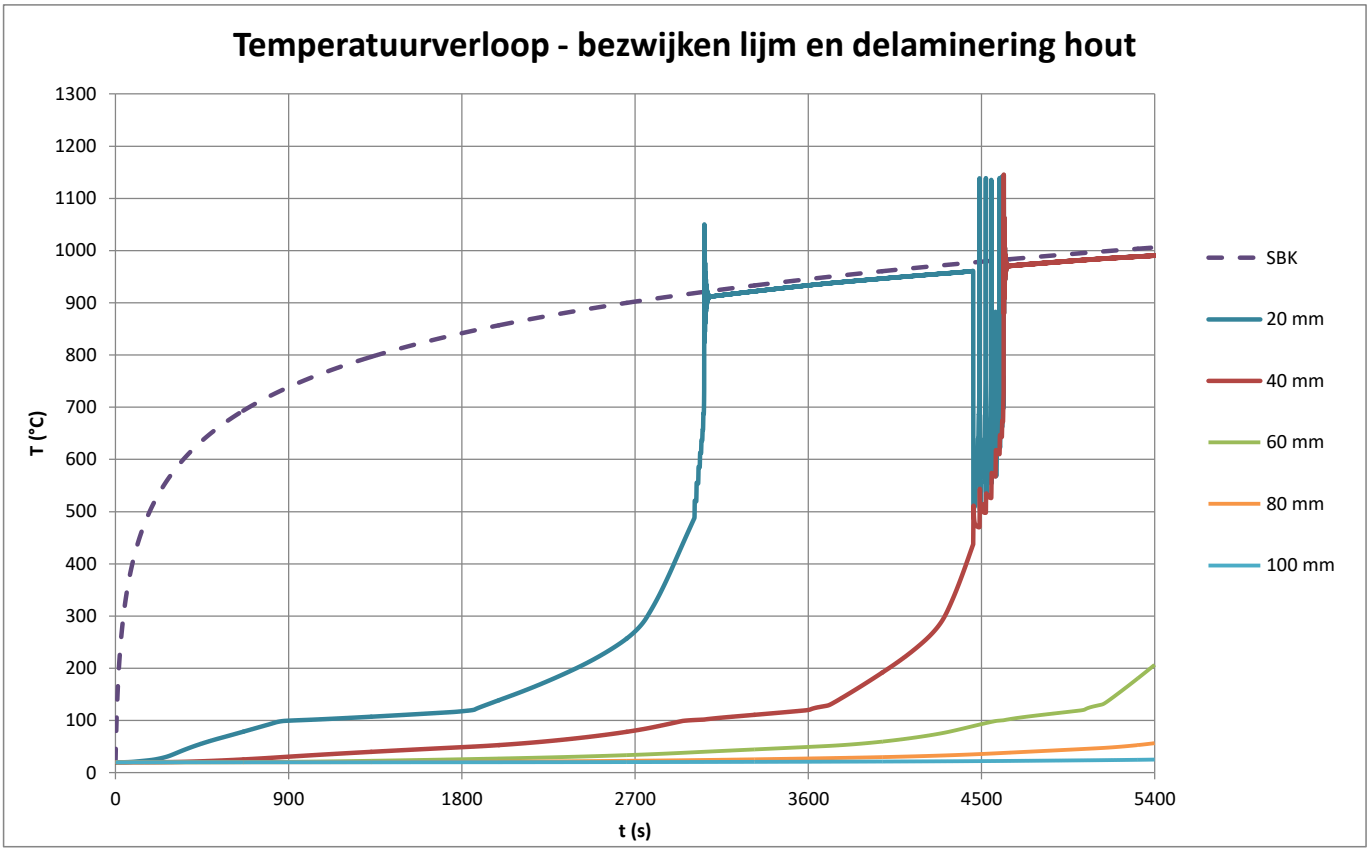


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,25
499	0,25
501	1000
1000	1000

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 2

VARIATIE SOORTELIJKE MASSA NAALDHOUT

Resultaten: delaminering hout en bezwijken lijm

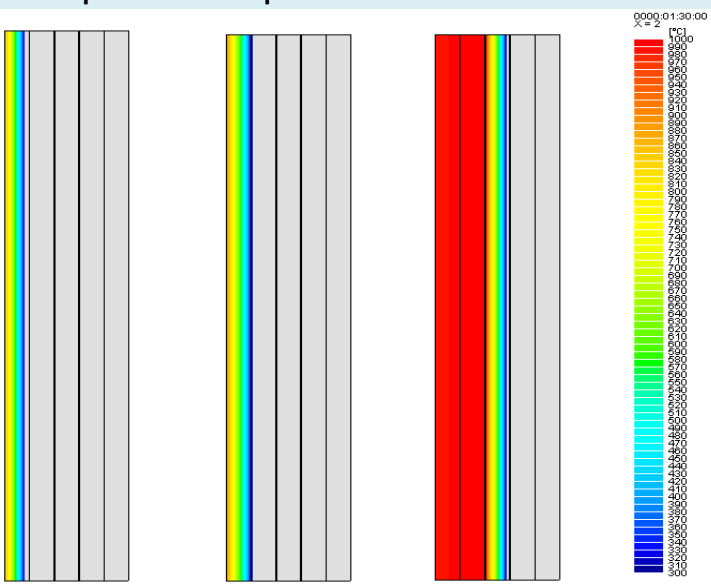


lijm: $T_{bezwijken}$ = 500 °C

$t_{bezwijken}$ = 51 min (eerste lijmlaag)

hout: $T_{bezwijken}$ = 699 °C

Afbeeldingen temperatuurverloop



t = 36 min t = 44,5 min t = 90 min

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 2

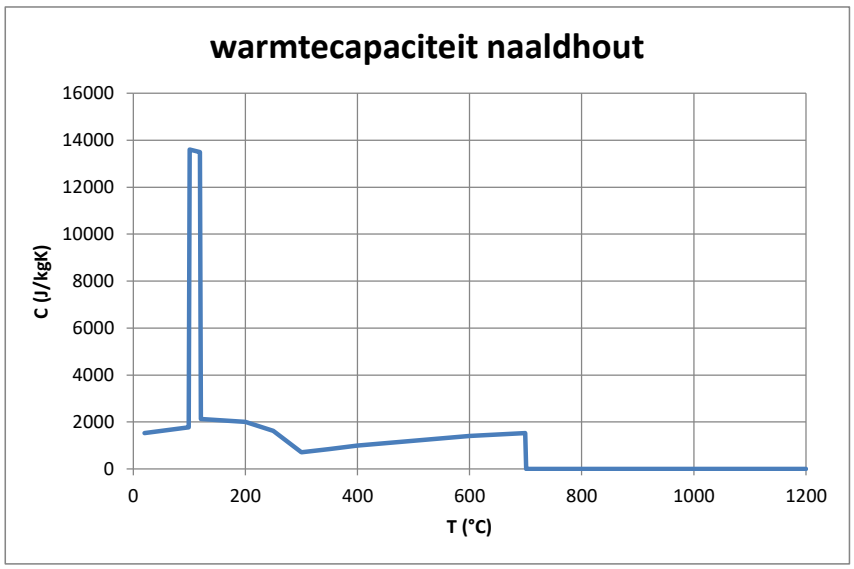
VARIATIE SOORTELIJKE MASSA NAALDHOUT

Inbrandsnelheid en inbranddiepte

Element opbouw	20 mm	40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	t (min)	36 min	44,5 min	90 min
d_{char} (mm)	20	40	60	80	100		16,3	19,0	57,6
$t_{300°C}$ (min)	45,9	71,8	-	-	-		36,0	44,5	90,0
β_{0laag} (mm/min)	0,44	0,77	-	-	-		-	-	-
$\beta_{0element}$ (mm/min)	0,44	0,56	-	-	-		0,45	0,43	0,64

Inbranddiepte			
t (min)	36,0	44,5	90
d_{char} (mm)	16,3	19,0	57,6

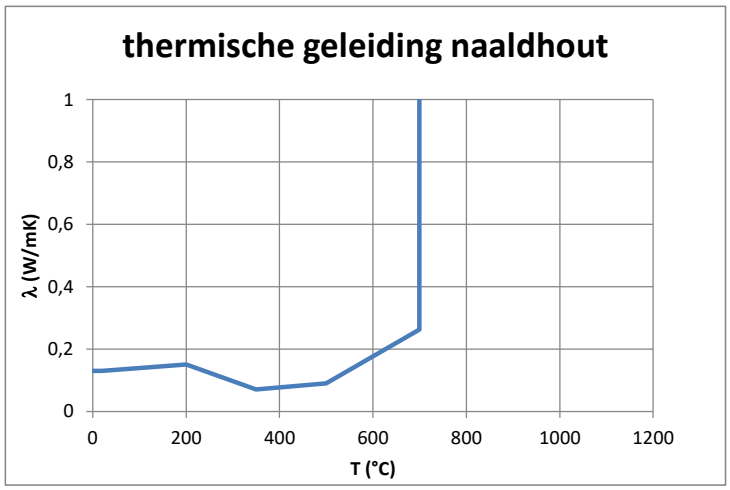
Uitgangspunten naaldhout



T (°C)	c (J/kgK)	vol. coeff* -	c · vol. coeff. (J/kgK)
20	1530	1,12	1714
99	1770	1,12	1982
101	13600	1	13600
119	13500	1	13500
121	2120	1	2120
200	2000	1	2000
250	1620	0,93	1507
300	710	0,76	540
350	850	0,52	442
400	1000	0,38	380
600	1400	0,28	392
699	1524	0,27	412
701	0,99	0	0
800	0,99	0	0
1200	0,99	0	0

* volumieke massa coëfficiënt

Uitgangspunten naaldhout

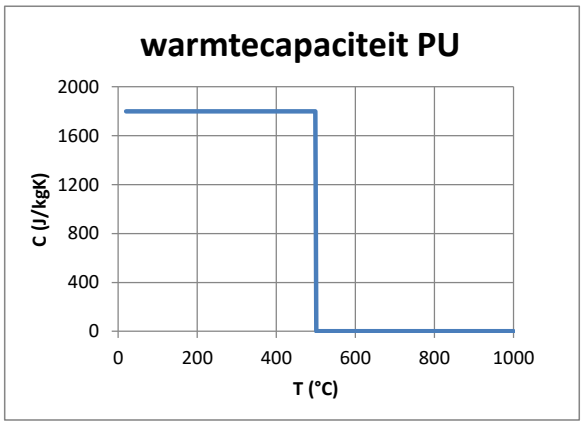


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,13
200	0,15
350	0,07
500	0,09
699	0,26
701	1000
800	1000
1200	1000

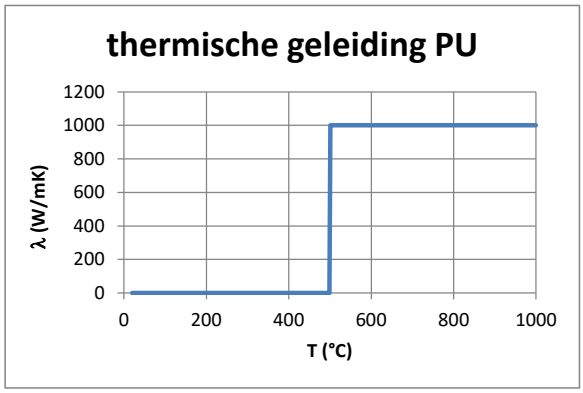
BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 2

VARIATIE SOORTELIJKE MASSA NAALDHOUT

Uitgangspunten polyurethaanlijm



T (°C)	c (J/kgK)
20	1800
499	1800
501	0,99
1000	0,99

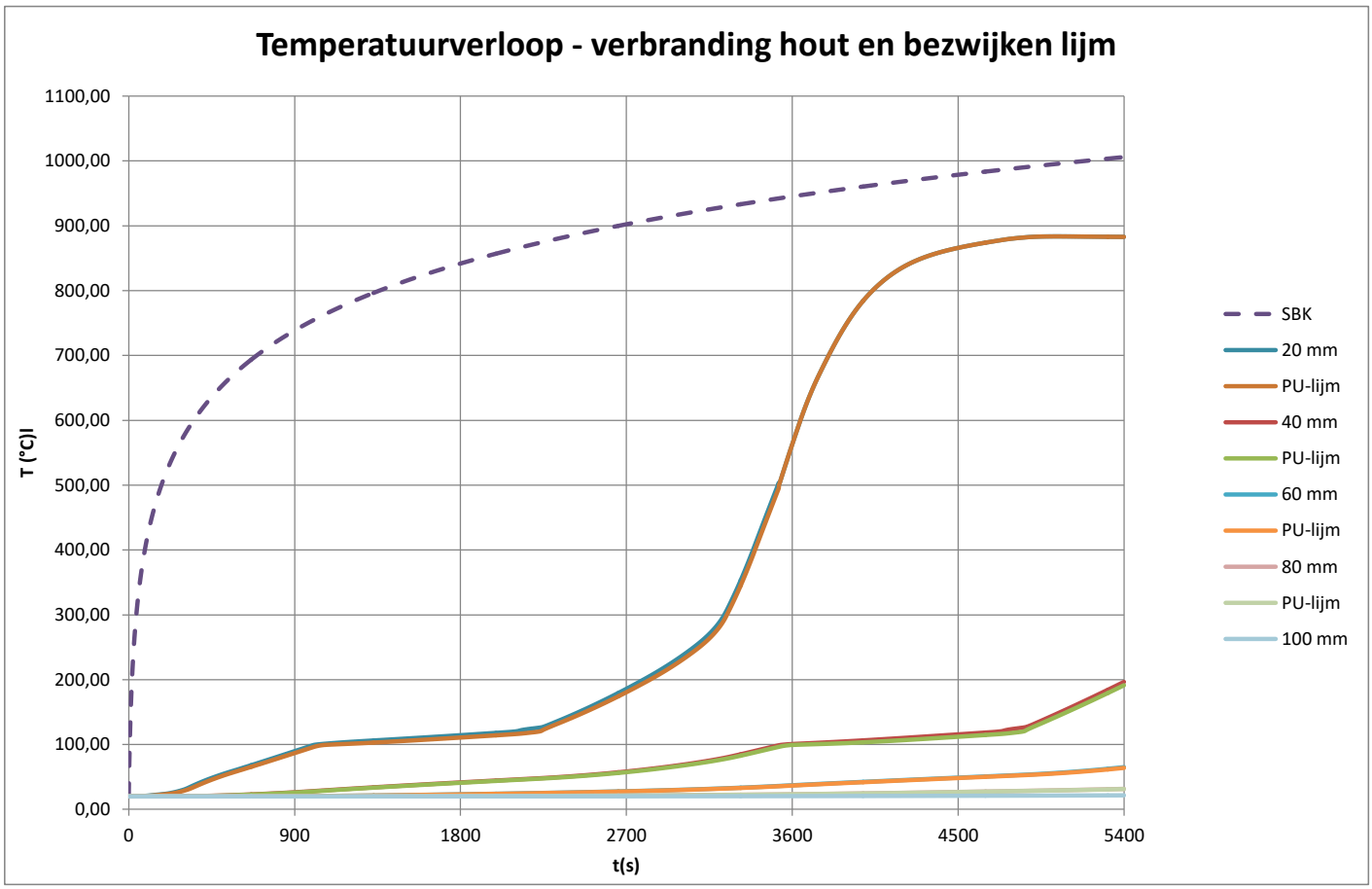


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,25
499	0,25
501	1000
1000	1000

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 3

VARIATIE VOLUMIEKE MASSACOËFFICIËNT

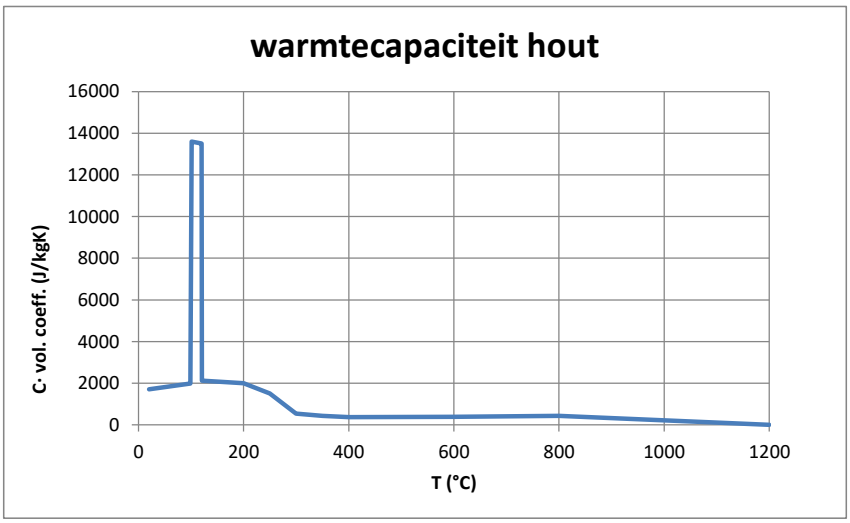
Resultaten: verbranding hout en bezwijken lijm



lijm: $T_{bezwijken}$ = 500 °C

$t_{bezwijken}$ = 59 min (eerste lijmlaag)

Uitgangspunten naaldhout



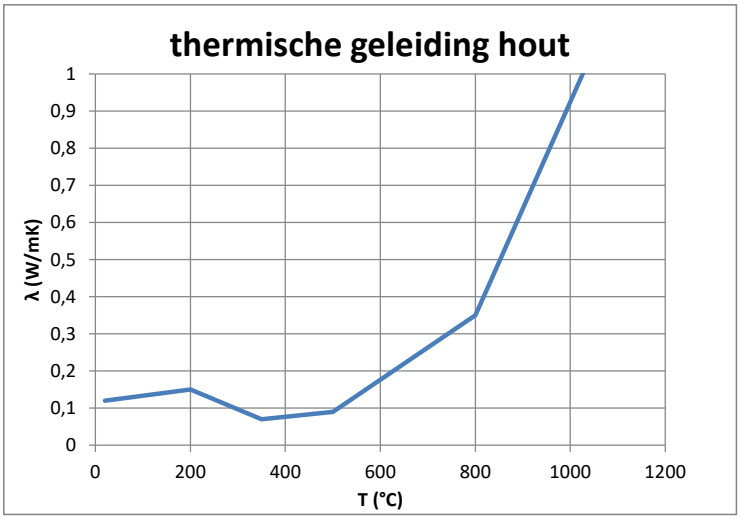
T (°C)	c (J/kgK)	vol. coeff* -	c · vol. coeff. (J/kgK)
20	1530	1,14	1743
99	1770	1,14	2016
101	13600	1,00	13600
120	13500	1,00	13500
121	2120	1,00	2120
200	2000	1,00	2000
250	1620	0,95	1532
300	710	0,77	549
350	850	0,53	450
400	1000	0,39	386
600	1400	0,28	399
800	1650	0,26	436
1200	1650	0,00	0

* volumieke massa coëfficiënt

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 3

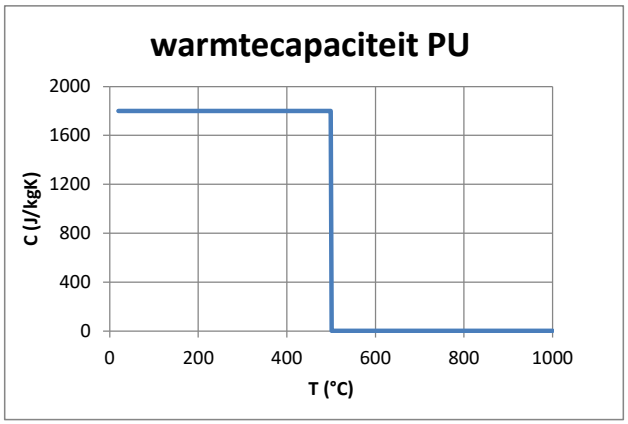
VARIATIE VOLUMIEKE MASSACOËFFICIËNT

Resultaten: verbranding hout en bezwijken lijm

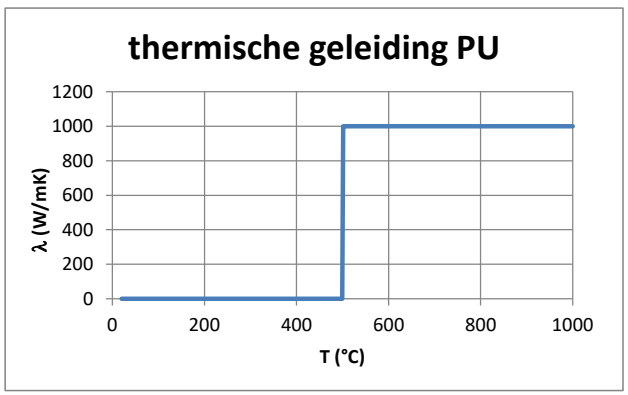


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,12
200	0,15
350	0,07
500	0,09
800	0,35
1200	1,5

Uitgangspunten polyurethaanlijm



T (°C)	c (J/kgK)
20	1800
499	1800
501	0,99
1000	0,99

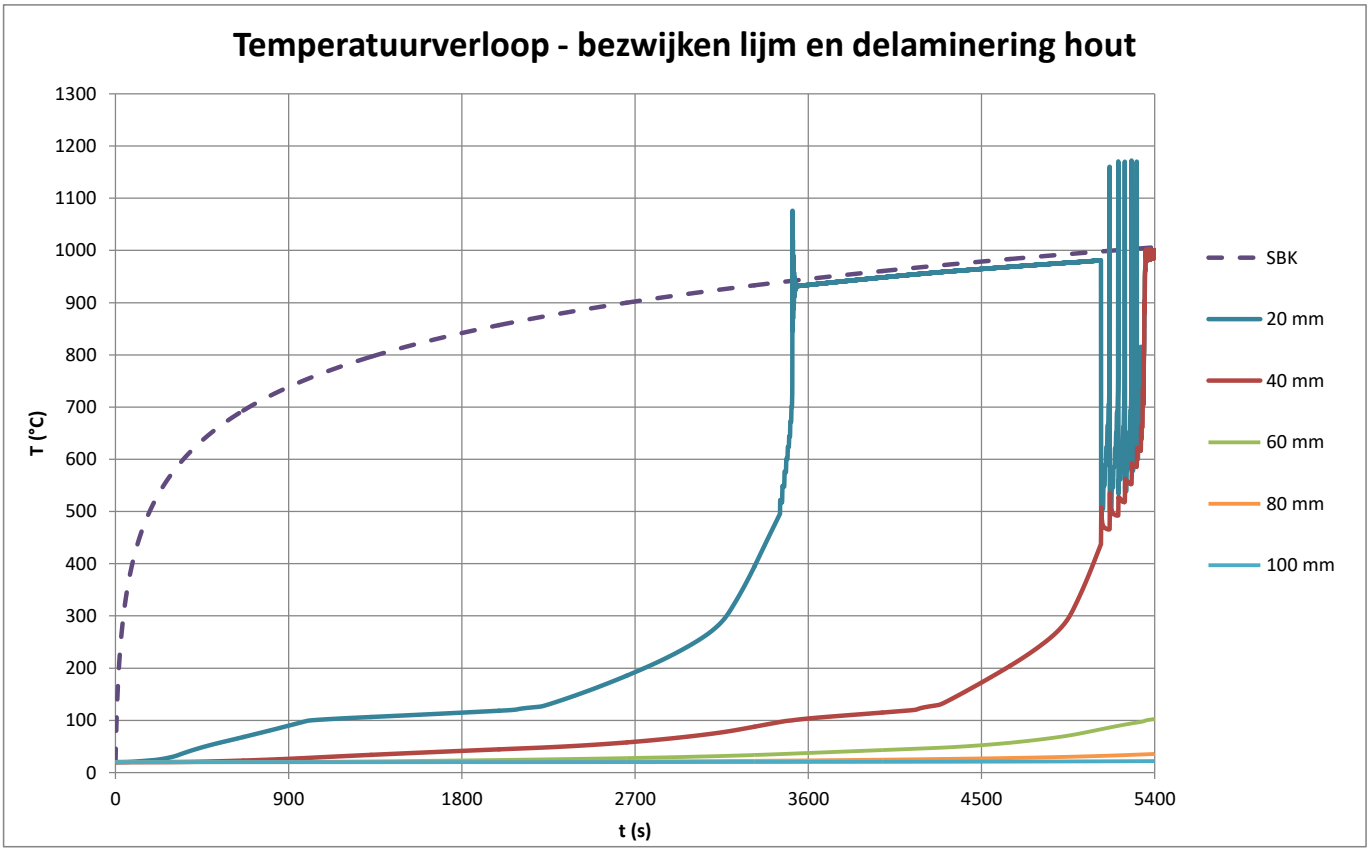


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,25
499	0,25
501	1000
1000	1000

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 3

VARIATIE VOLUMIEKE MASSACOËFFICIËNT

Resultaten: delaminering hout en bezwijken lijm

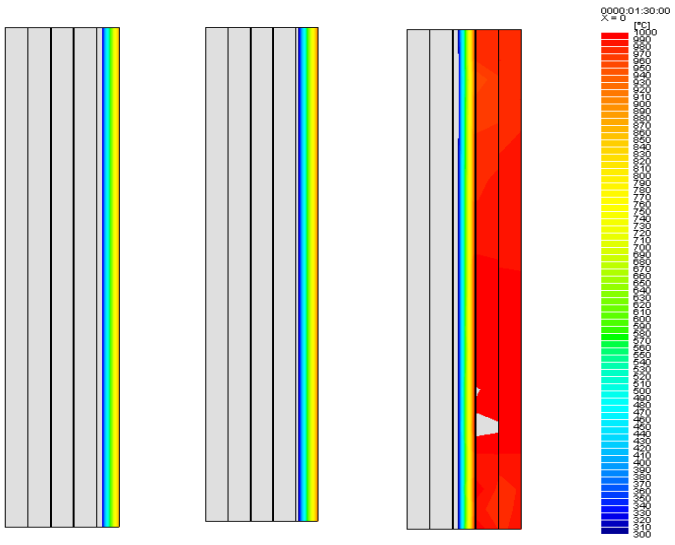


lijm: $T_{bezwijken}$ = 500 °C

$t_{bezwijken}$ = 59 min (eerste lijmlaag)

hout: $T_{bezwijken}$ = 709 °C

Afbeeldingen temperatuurverloop



t = 36 min t = 44,5 min t = 90 min

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 3

VARIATIE VOLUMIEKE MASSACOËFFICIËNT

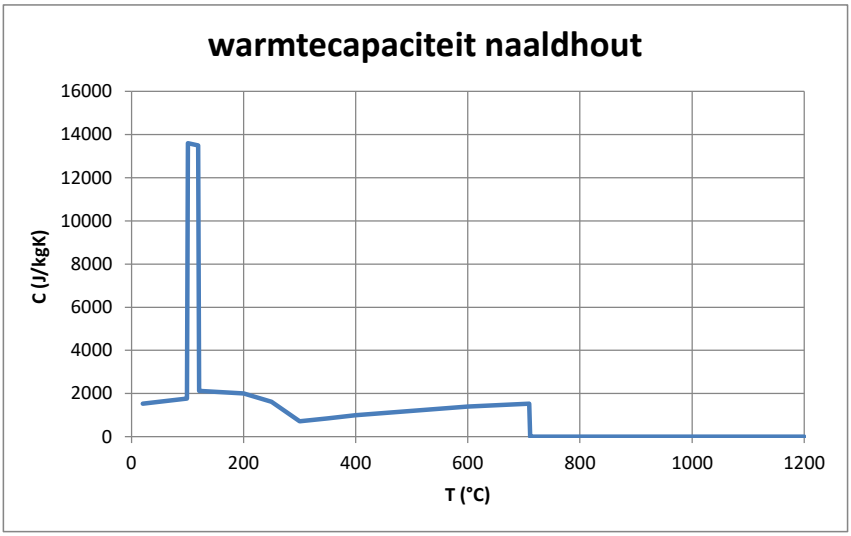
RAADGEVENDE INGENIEURS Nieman Groep

Inbrandsnelheid en inbranddiepte

Element opbouw	20 mm	40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	t (min)	36 min	44,5 min	90 min
d_{char} (mm)	20	40	60	80	100		15,5	17,0	55,6
$t_{300°C}$ (min)	53	83	-	-	-		36	44,5	90,0
β_{0laag} (mm/min)	0,38	0,67	-	-	-		-	-	-
$\beta_{0element}$ (mm/min)	0,38	0,48	-	-	-		0,43	0,38	0,62

Inbranddiepte			
t (min)	36,0	44,5	90
d_{char} (mm)	15,5	17,0	55,6

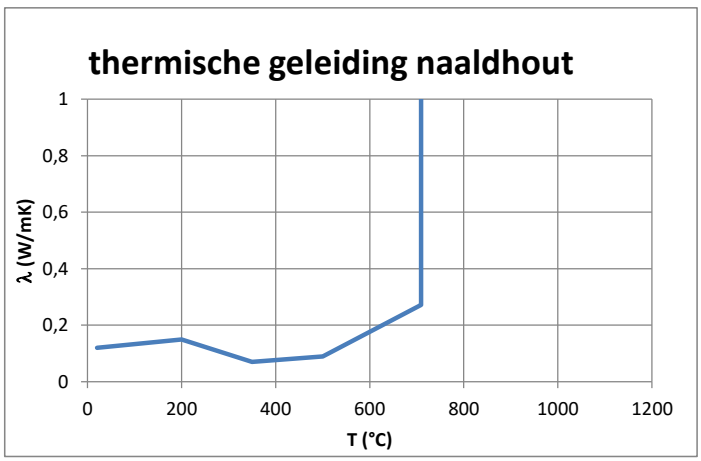
Uitgangspunten naaldhout



T (°C)	c (J/kgK)	vol. coeff* -	c · vol. coeff. (J/kgK)
20	1530	1,14	1743
99	1770	1,14	2016
101	13600	1,00	13600
119	13500	1,00	13500
121	2120	1,00	2120
200	2000	1,00	2000
250	1620	0,95	1532
300	710	0,77	549
350	850	0,53	450
400	1000	0,39	386
600	1400	0,28	399
709	1537	0,27	420
711	0,99	0	0
800	0,99	0	0
1200	0,99	0	0

* volumieke massa coëfficiënt

Uitgangspunten naaldhout



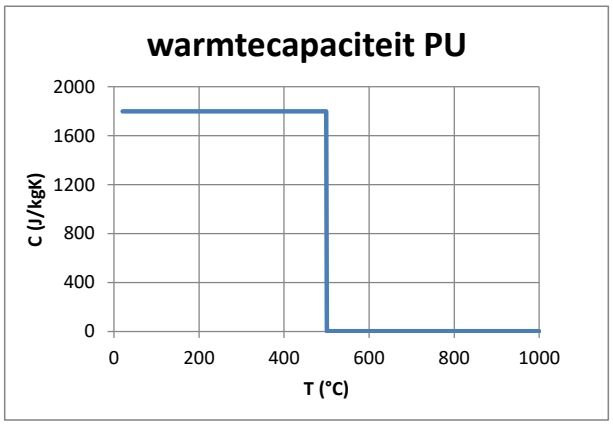
T (°C)	λ (W/mK)
20	0,12
200	0,15
350	0,07
500	0,09
709	0,27
711	1000
800	1000
1200	1000

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 3

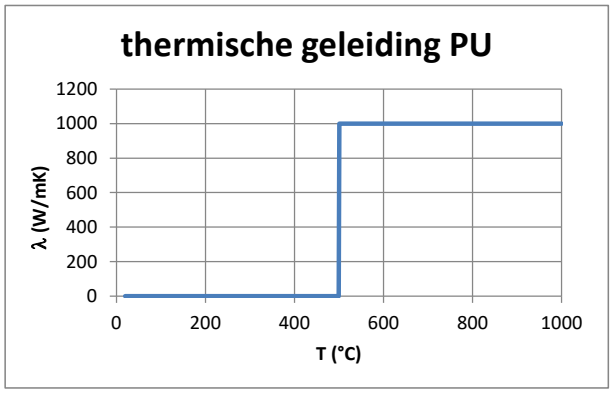
VARIATIE VOLUMIEKE MASSACOËFFICIËNT

RAADGEVENDE INGENIEURS Nieman Groep

Uitgangspunten polyurethaanlijm



T (°C)	c (J/kgK)
20	1800
499	1800
501	0,99
1000	0,99

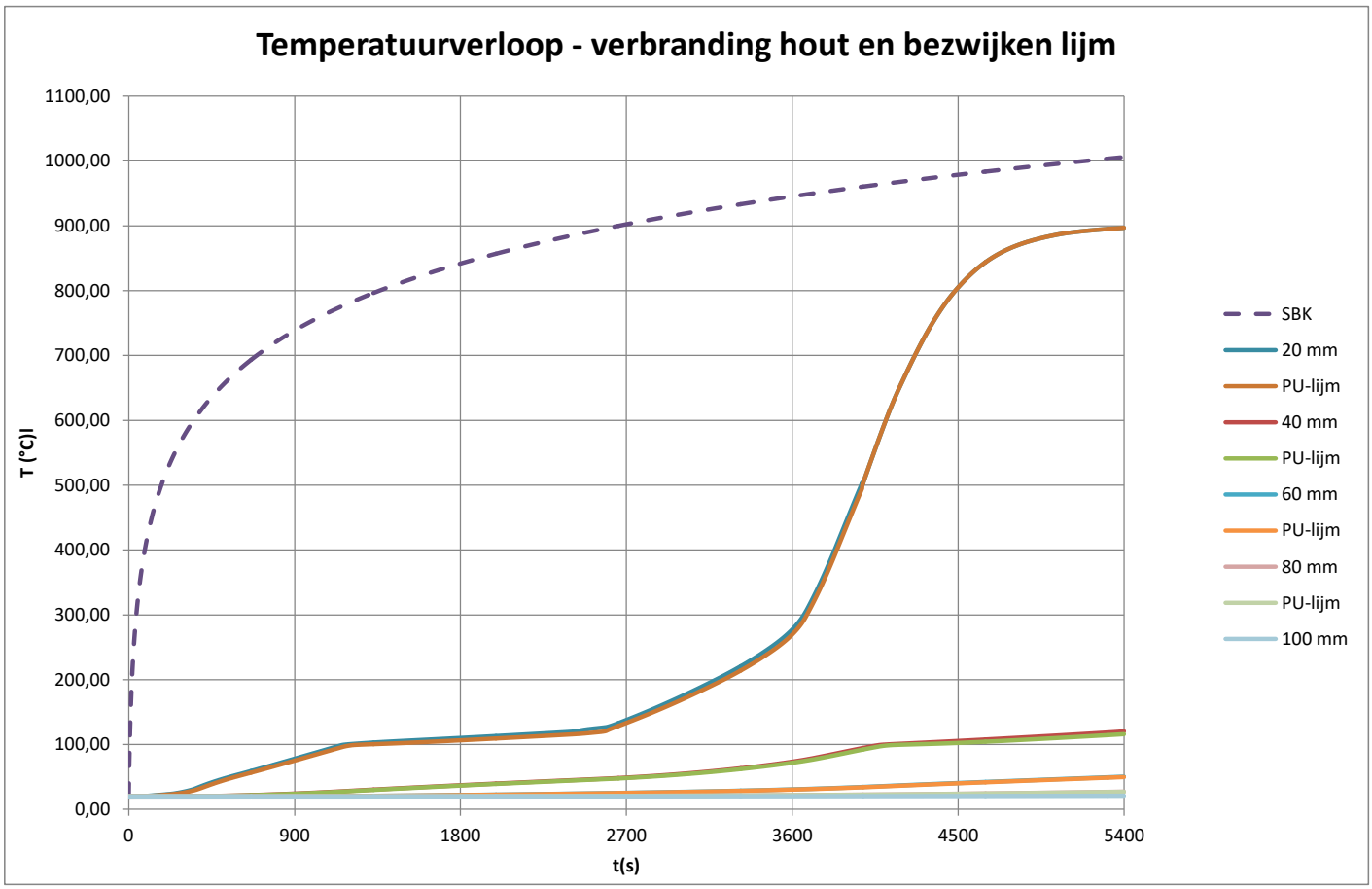


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,25
499	0,25
501	1000
1000	1000

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 4

VARIATIE SOORTELIJKE WARMTE

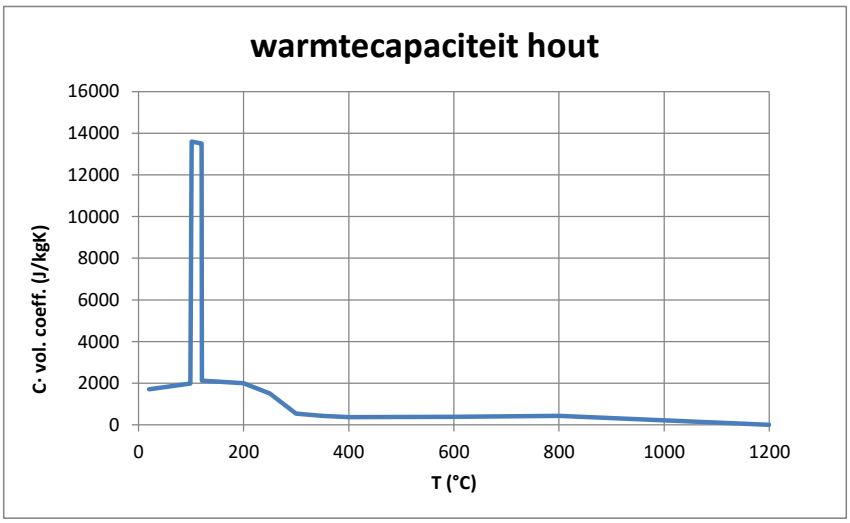
Resultaten: verbranding hout en bezwijken lijm



lijm: $T_{bezwijken}$ = 500 °C

$t_{bezwijken}$ = 66 min (eerste lijmlaag)

Uitgangspunten naaldhout



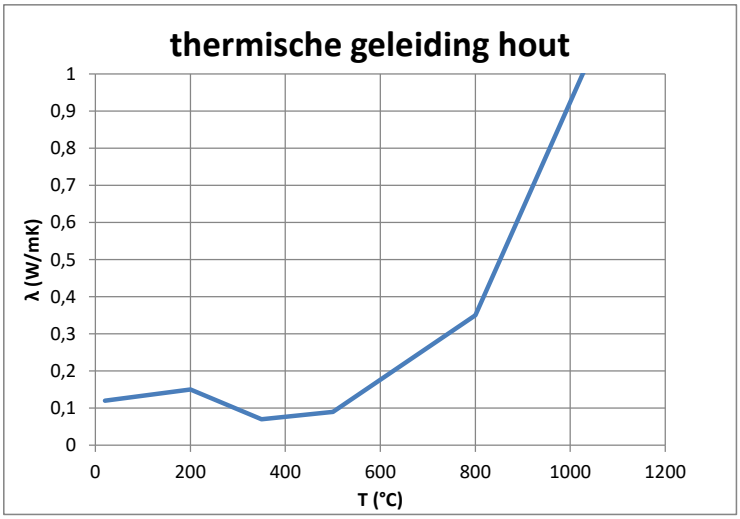
T (°C)	c (J/kgK)	vol. coeff* -	c · vol. coeff. (J/kgK)
20	1913	1,12	2142
99	2213	1,12	2478
101	17000	1	17000
120	16875	1	16875
121	2650	1	2650
200	2500	1	2500
250	2025	0,93	1883
300	888	0,76	675
350	1063	0,52	553
400	1250	0,38	475
600	1750	0,28	490
800	2063	0,26	536
1200	2063	0	0

* volumieke massa coëfficiënt

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 4

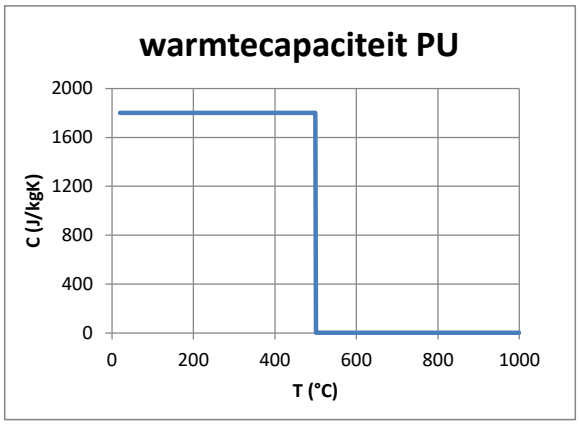
VARIATIE SOORTELIJKE WARMTE

Resultaten: verbranding hout en bezwijken lijm

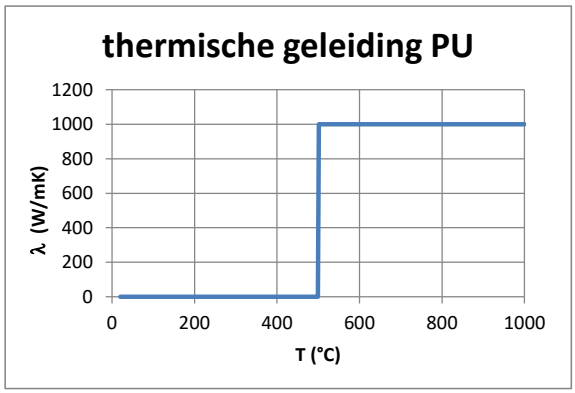


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,12
200	0,15
350	0,07
500	0,09
800	0,35
1200	1,5

Uitgangspunten polyurethaanlijm



T (°C)	c (J/kgK)
20	1800
499	1800
501	0,99
1000	0,99

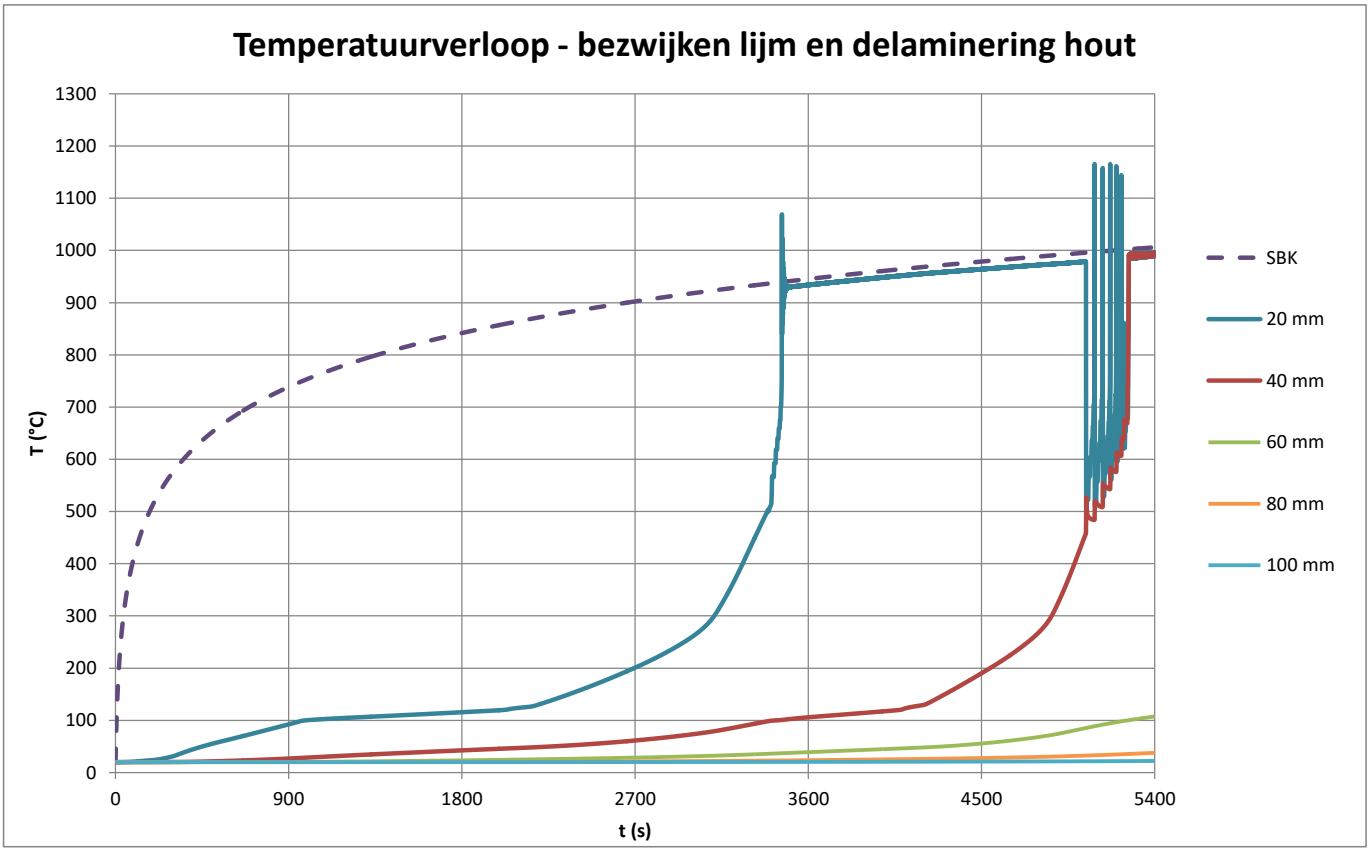


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,25
499	0,25
501	1000
1000	1000

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 4

VARIATIE SOORTELIJKE WARMTE

Resultaten: delaminering hout en bezwijken lijm

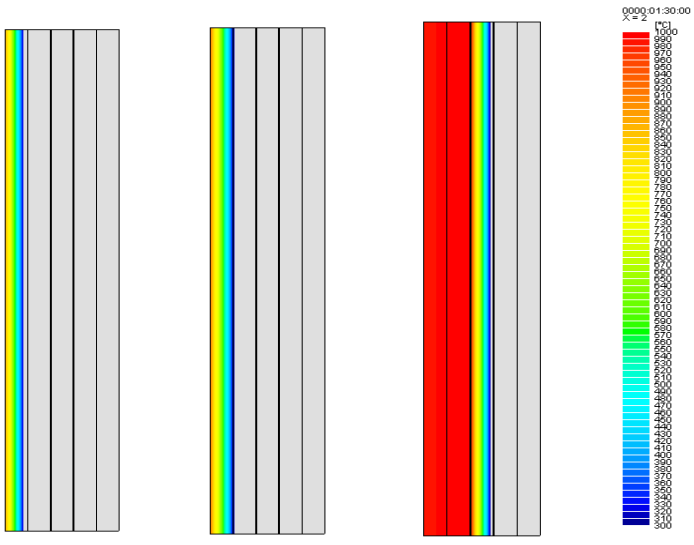


lijm: $T_{bezwijken}$ = 500 °C

$t_{bezwijken}$ = 66 min (eerste lijmlaag)

hout: $T_{bezwijken}$ = 718 °C

Afbeeldingen temperatuurverloop



t = 36 min t = 44,5 min t = 90 min

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 4

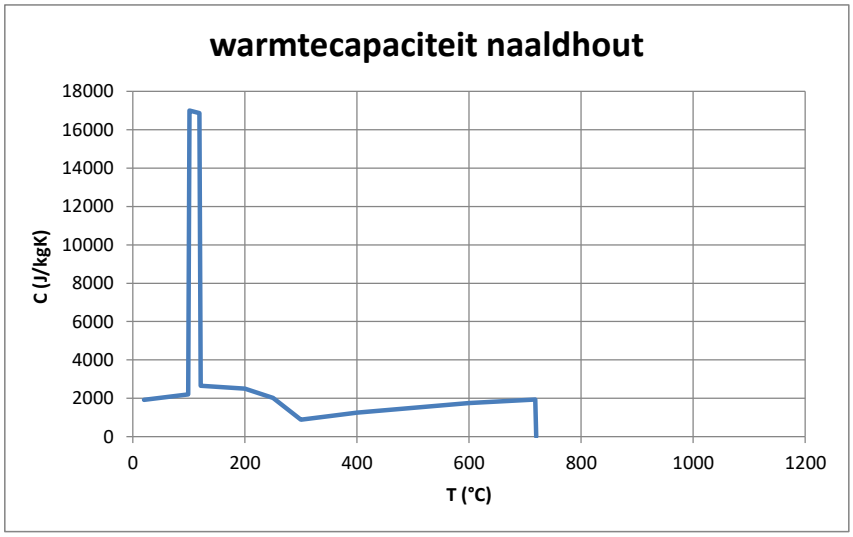
VARIATIE SOORTELIJKE WARMTE

Inbrandsnelheid en inbranddiepte

Element opbouw (mm)	20 mm	40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	t (min)	36 min	44,5	90 min
d_{char} (mm)	20	40	60	80	100		15,5	17,1	55,6
$t_{300°C}$ (min)	52	81	-	-	-		36	44,5	90
β_{0laag} (mm/min)	0,39	0,68	-	-	-		-	-	-
$\beta_{0element}$ (mm/min)	0,39	0,49	-	-	-		0,43	0,39	0,62

Inbranddiepte			
t (min)	36,0	44,5	90
d_{char} (mm)	15,5	17,1	55,6

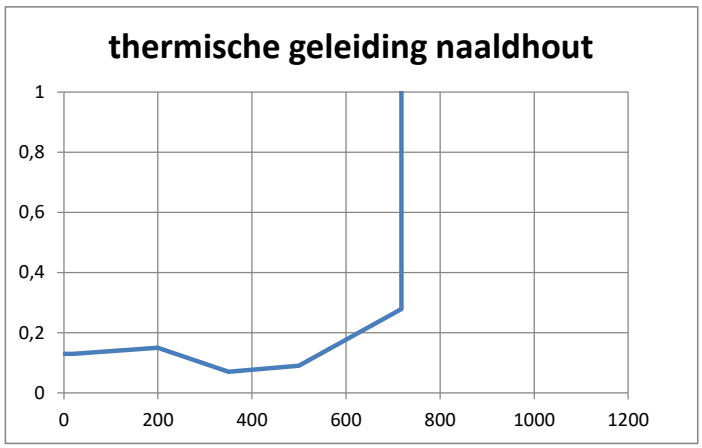
Uitgangspunten naaldhout



T (°C)	c (J/kgK)	vol. coeff* -	c · vol. coeff. (J/kgK)
20	1913	1,12	2142
99	2213	1,12	2478
101	17000	1	17000
119	16875	1	16875
121	2650	1	2650
200	2500	1	2500
250	2025	0,93	1883
300	888	0,76	675
350	1063	0,52	553
400	1250	0,38	475
600	1750	0,28	490
718	1934	0,27	519
720	0,99	0	0
800	0,99	0	0
1200	0,99	0	0

* volumieke massa coëfficiënt

Uitgangspunten naaldhout



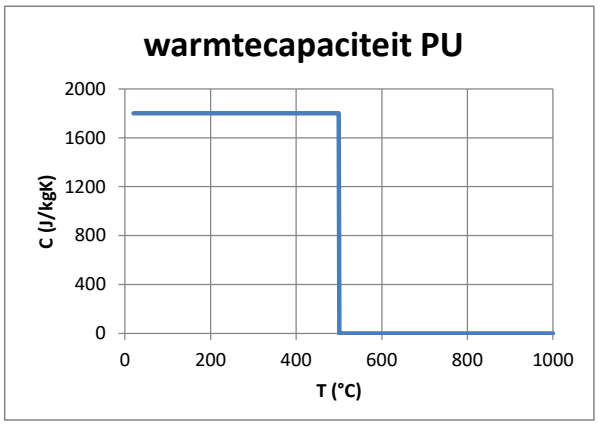
T (°C)	λ (W/mK)
20	0,13
200	0,15
350	0,07
500	0,09
718	0,28
720	1000
800	1000
1200	1000

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 4

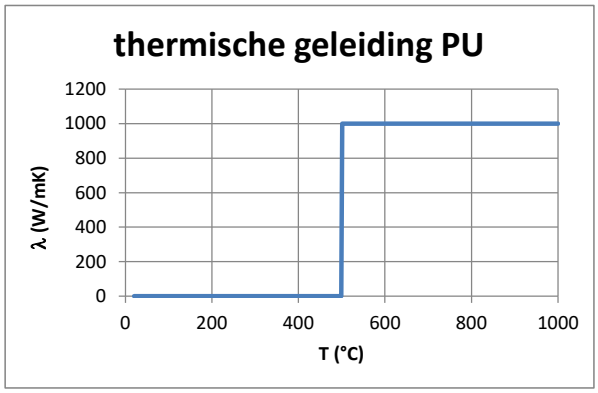
VARIATIE SOORTELIJKE WARMTE

RAADGEVENDE INGENIEURS Nieman Groep

Uitgangspunten polyurethaanlijm



T (°C)	c (J/kgK)
20	1800
499	1800
501	0,99
1000	0,99

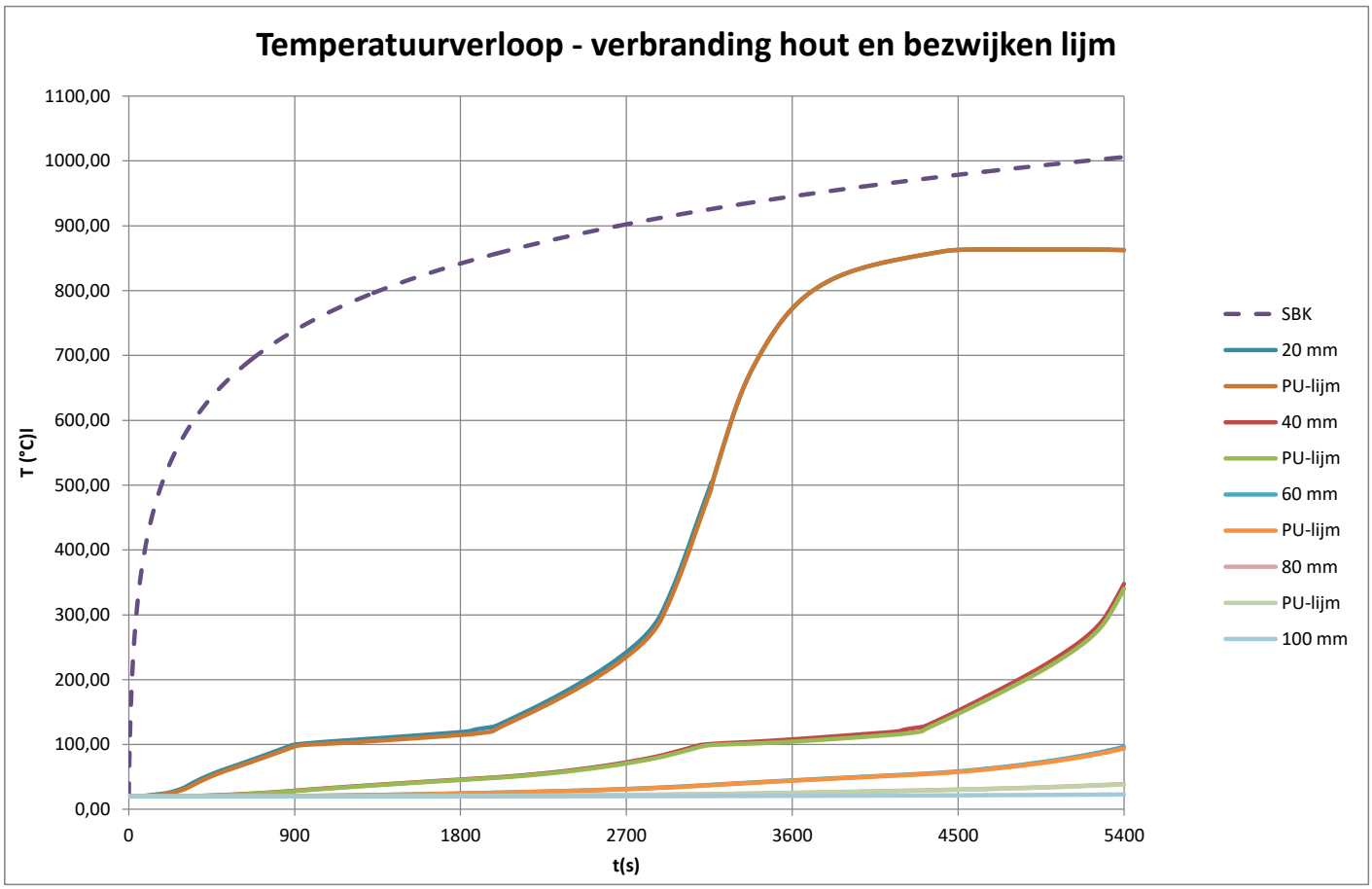


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,25
499	0,25
501	1000
1000	1000

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 5

VARIATIE THERMISCHE GELEIDING

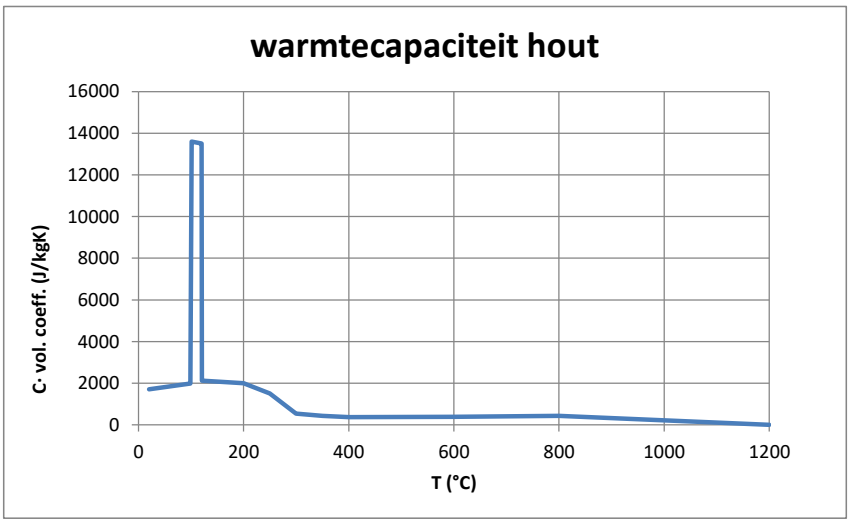
Resultaten: verbranding hout en bezwijken lijm



lijm: $T_{bezwijken}$ = 500 °C

$t_{bezwijken}$ = 53 min (eerste lijmlaag)

Uitgangspunten naaldhout



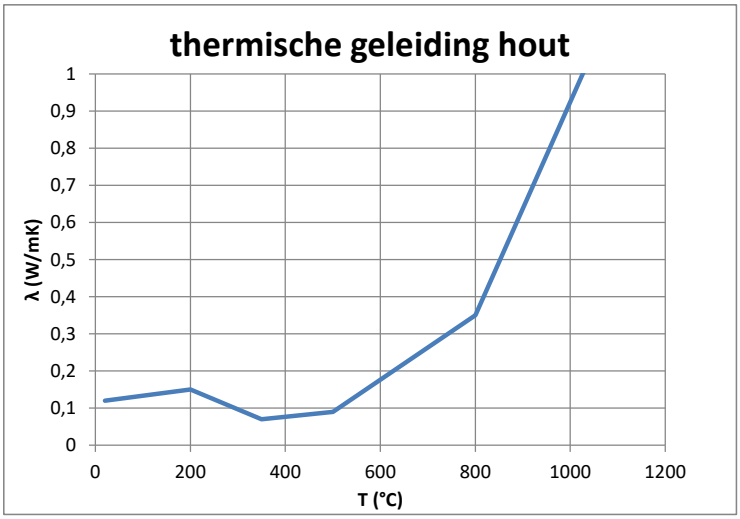
T (°C)	c (J/kgK)	vol. coeff* -	c · vol. coeff. (J/kgK)
20	1530	1,12	1714
99	1770	1,12	1982
101	13600	1	13600
120	13500	1	13500
121	2120	1	2120
200	2000	1	2000
250	1620	0,93	1507
300	710	0,76	540
350	850	0,52	442
400	1000	0,38	380
600	1400	0,28	392
800	1650	0,26	429
1200	1650	0	0

* volumieke massa coëfficiënt

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 5

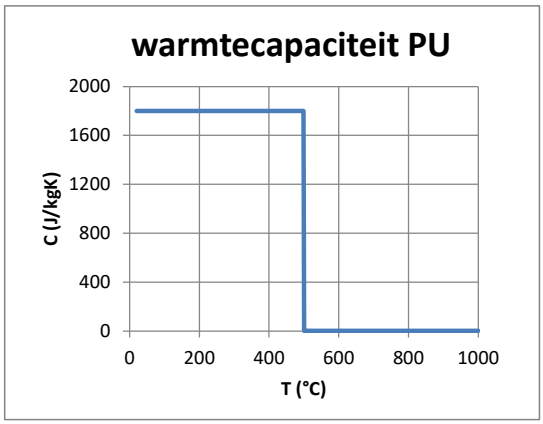
VARIATIE THERMISCHE GELEIDING

Resultaten: verbranding hout en bezwijken lijm

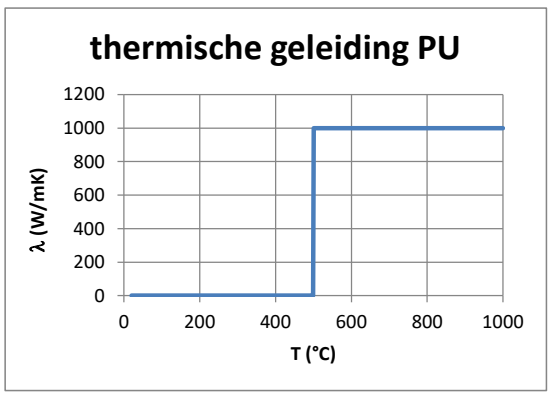


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,14
200	0,18
350	0,08
500	0,11
800	0,41
1200	1,76

Uitgangspunten polyurethaanlijm



T (°C)	c (J/kgK)
20	1800
499	1800
501	0,99
1000	0,99

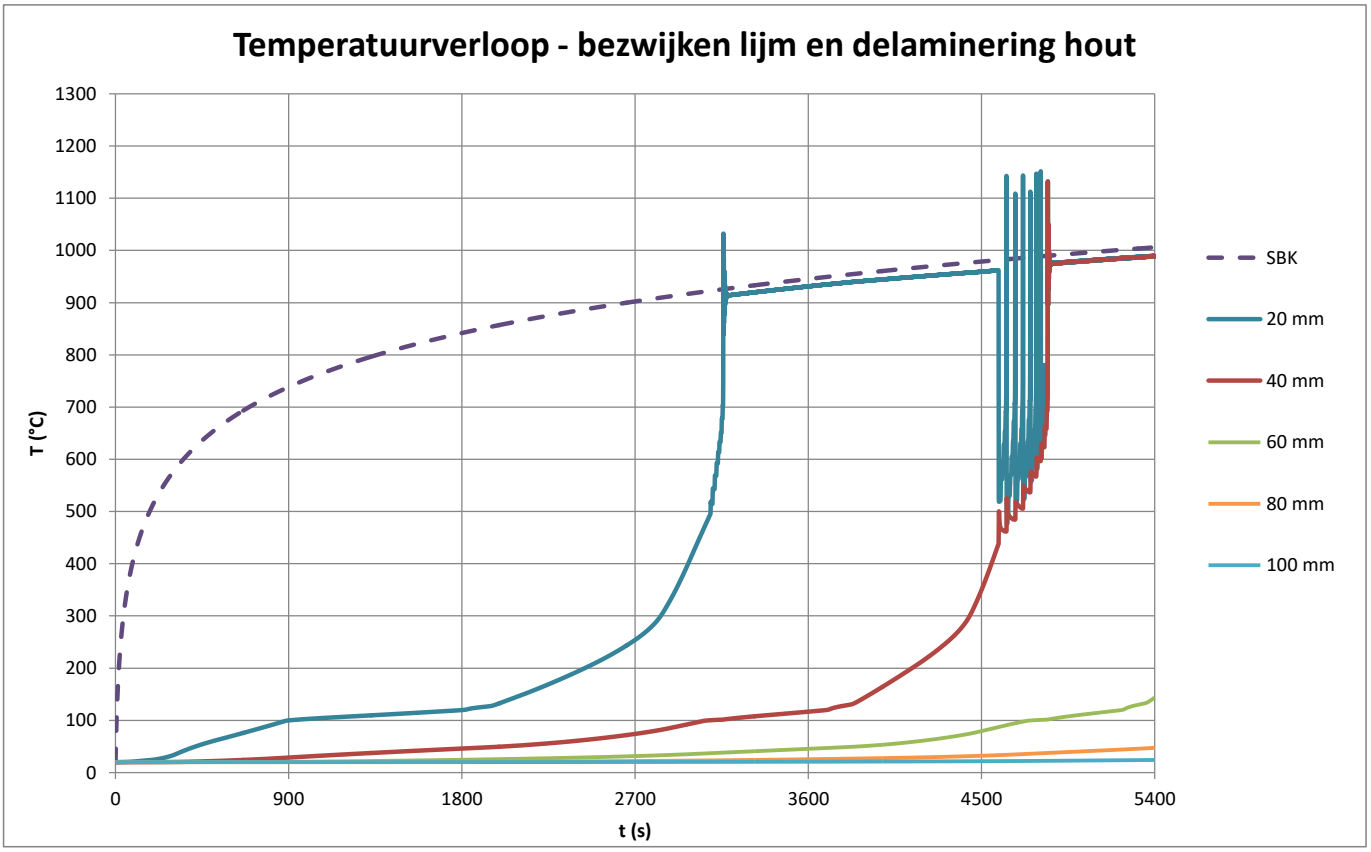


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,25
499	0,25
501	1000
1000	1000

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 5

VARIATIE THERMISCHE GELEIDING

Resultaten: delaminering hout en bezwijken lijm

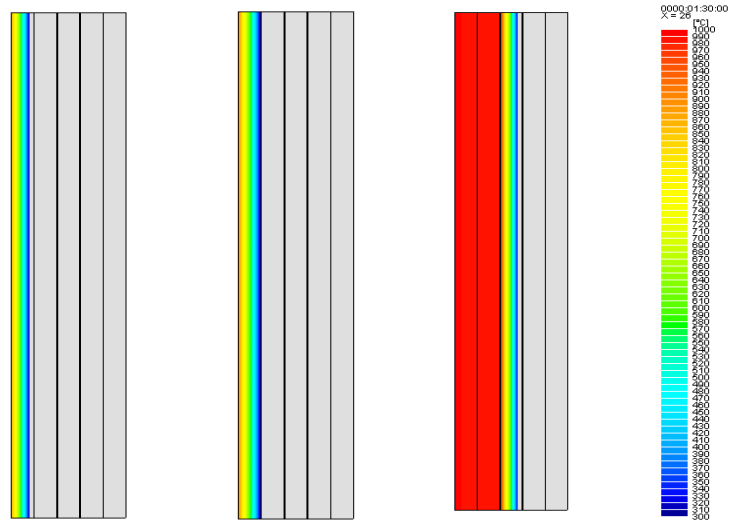


lijm: $T_{bezwijken}$ = 500 °C

$t_{bezwijken}$ = 53 min (eerste lijmlaag)

hout: $T_{bezwijken}$ = 700 °C

Afbeeldingen temperatuurverloop



t = 36 min t = 44,5 min t = 90 min

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 5

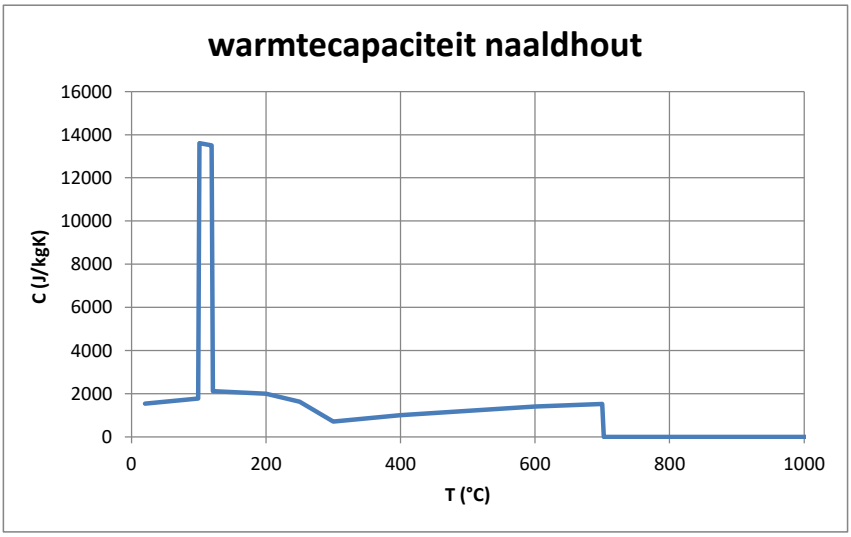
VARIATIE THERMISCHE GELEIDING

Inbrandsnelheid en inbranddiepte

Element opbouw (mm)	20 mm	40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	t (min)	36 min	44,5	90 min
d_{char} (mm)	20	40	60	80	100		16,1	18,4	56,3
$t_{300°C}$ (min)	47	74	-	-	-		36	44,5	90
β_{0laag} (mm/min)	0,42	0,75	-	-	-		-	-	-
$\beta_{0element}$ (mm/min)	0,42	0,54	-	-	-		0,45	0,41	0,63

Inbranddiepte			
t (min)	36,0	44,5	90
d_{char} (mm)	16,1	18,4	56,3

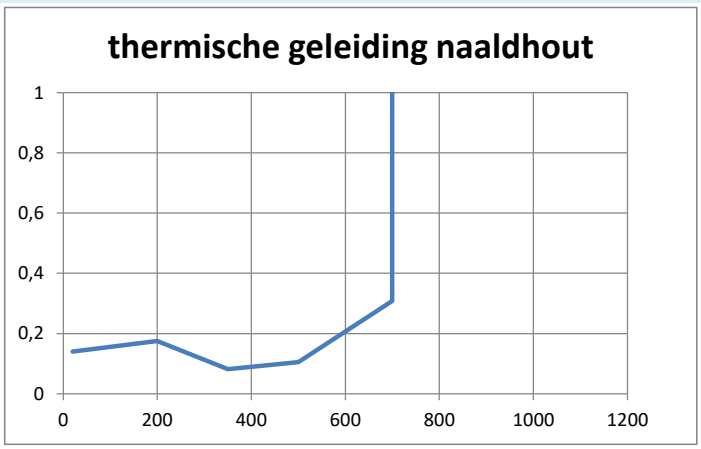
Uitgangspunten naaldhout



T (°C)	c (J/kgK)	vol. coeff* -	c · vol. coeff. (J/kgK)
20	1530	1,12	1714
99	1770	1,12	1982
101	13600	1	13600
119	13500	1	13500
121	2120	1	2120
200	2000	1	2000
250	1620	0,93	1507
300	710	0,76	540
350	850	0,52	442
400	1000	0,38	380
600	1400	0,28	392
700	1525	0,27	412
702	0,99	0	0
800	0,99	0	0
1200	0,99	0	0

* volumieke massa coëfficiënt

Uitgangspunten naaldhout



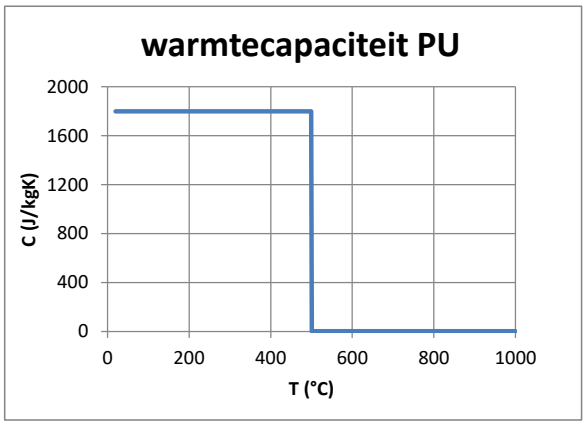
T (°C)	λ (W/mK)
20	0,14
200	0,18
350	0,08
500	0,11
700	0,31
702	1000
800	1000
1200	1000

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 5

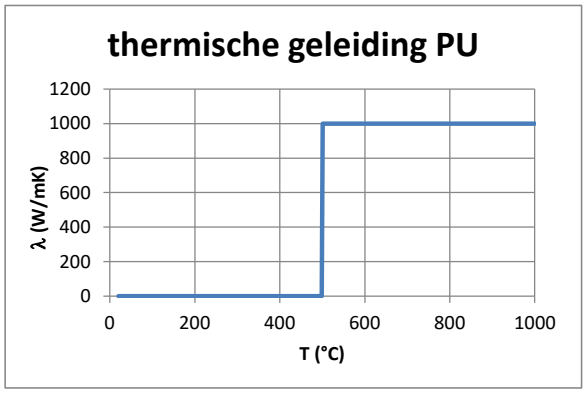
VARIATIE THERMISCHE GELEIDING

RAADGEVENDE INGENIEURS Nieman Groep

Uitgangspunten polyurethaanlijm



T (°C)	c (J/kgK)
20	1800
499	1800
501	0,99
1000	0,99

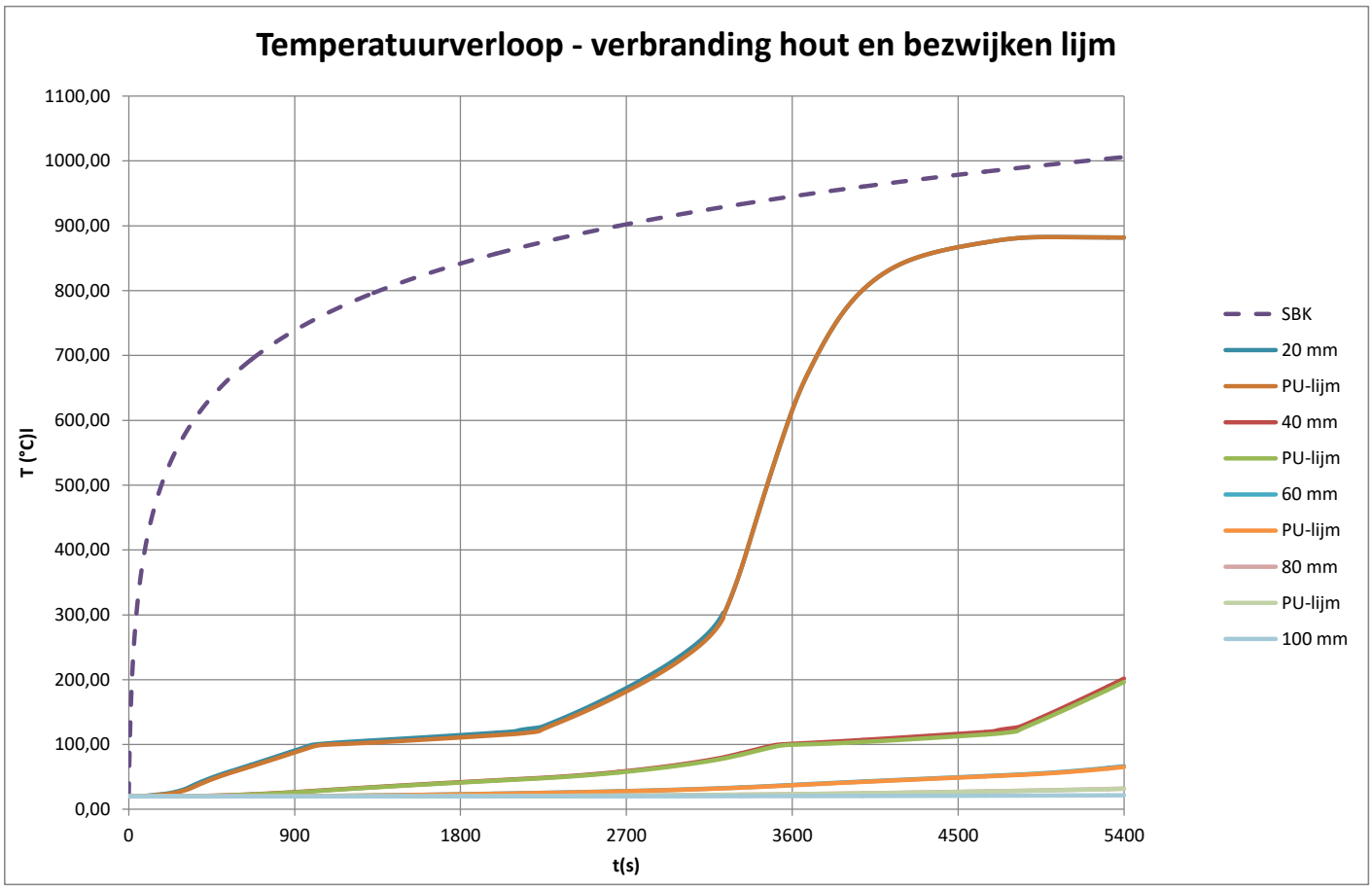


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,25
499	0,25
501	1000
1000	1000

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 6

VARIATIE TEMPERATUURBESTENDIGHEID LIJMLAAG

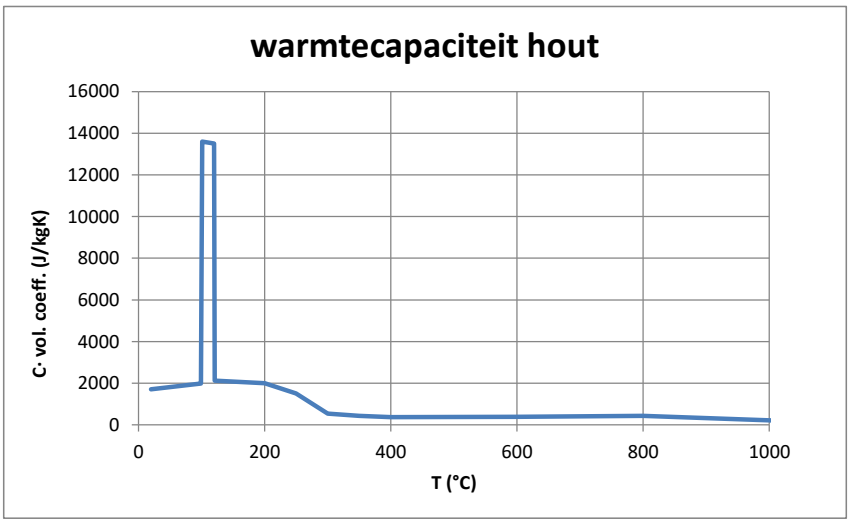
Resultaten: verbranding hout en bezwijken lijm



lijm: $T_{bezwijken}$ = 300 °C

$t_{bezwijken}$ = 53 min (eerste lijmlaag)

Uitgangspunten naaldhout



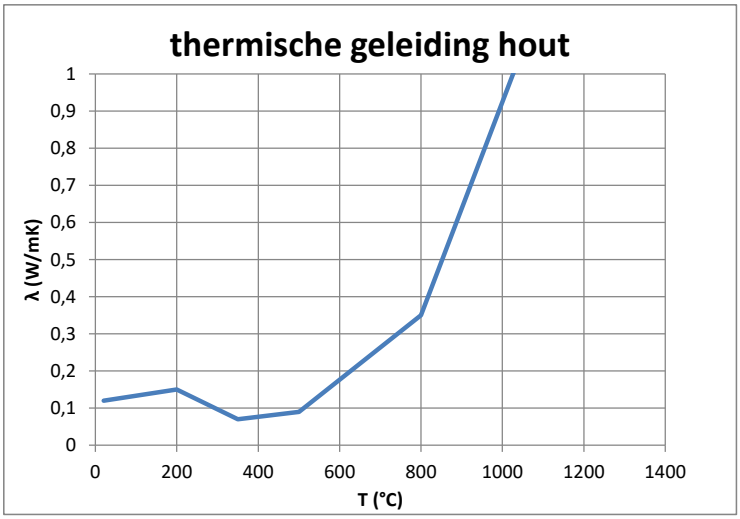
T (°C)	c (J/kgK)	vol. coeff* -	c · vol. coeff. (J/kgK)
20	1530	1,12	1714
99	1770	1,12	1982
101	13600	1	13600
120	13500	1	13500
121	2120	1	2120
200	2000	1	2000
250	1620	0,93	1507
300	710	0,76	540
350	850	0,52	442
400	1000	0,38	380
600	1400	0,28	392
800	1650	0,26	429
1200	1650	0	0

* volumieke massa coëfficiënt

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 6

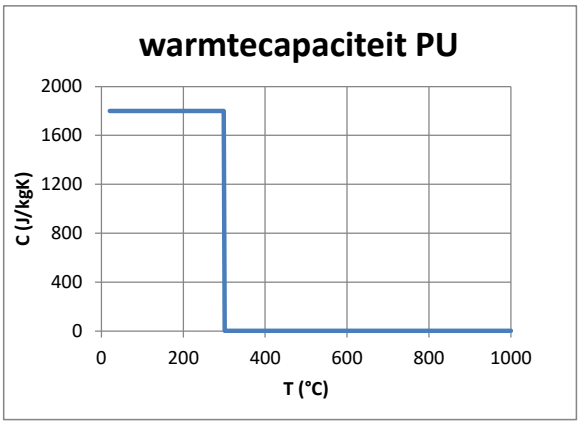
VARIATIE TEMPERATUURBESTENDIGHEID LIJMLAAG

Resultaten: verbranding hout en bezwijken lijm

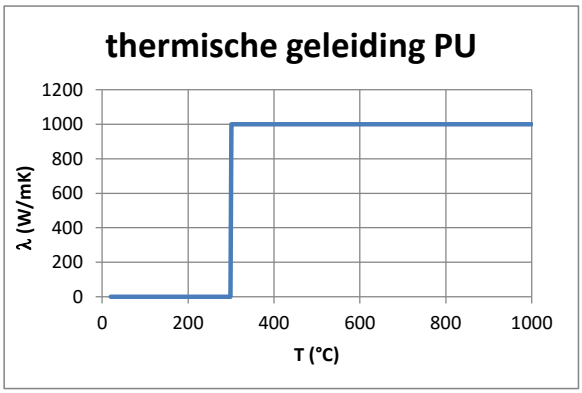


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,12
200	0,15
350	0,07
500	0,09
800	0,35
1200	1,5

Uitgangspunten polyurethaanlijm



T (°C)	c (J/kgK)
20	1800
299	1800
301	0,99
1000	0,99

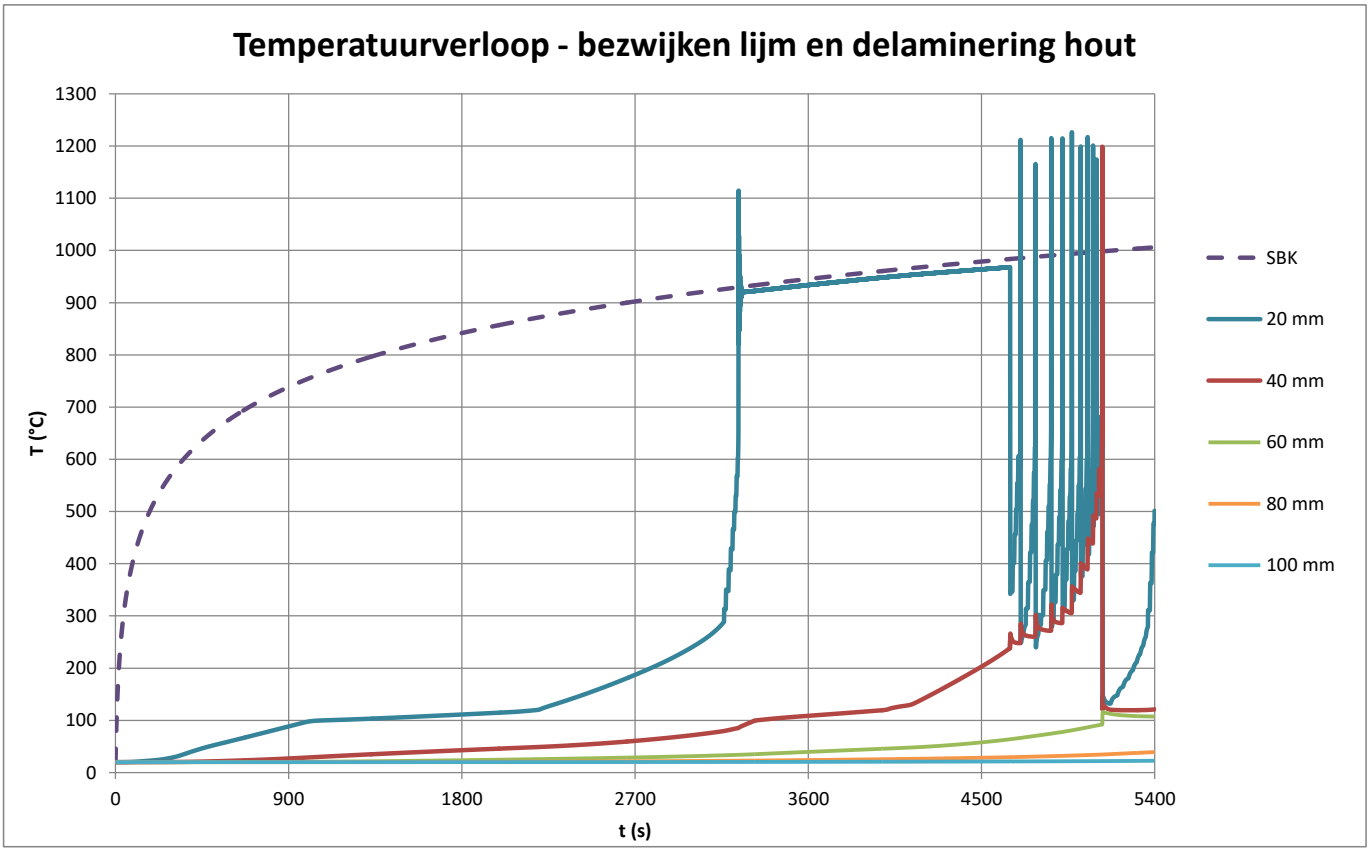


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,25
299	0,25
301	1000
1000	1000

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 6

VARIATIE TEMPERATUURBESTENDIGHEID LIJMLAAG

Resultaten: delaminering hout en bezwijken lijm



lijm: $T_{bezwijken}$ = 300 °C

$t_{bezwijken}$ = 53 min (eerste lijmlaag)

hout: $T_{bezwijken}$ = 603 °C

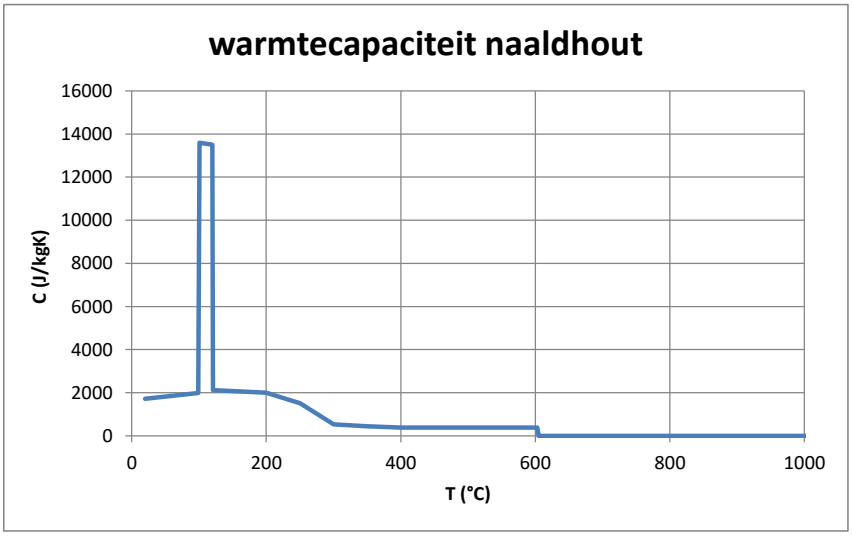
Inbrandsnelheid en inbranddiepte

Element opbouw (mm)	20 mm	40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	t (min)	36 min	44 min	90 min
d_{char} (mm)	20	40	60	80	100		-	-	-
$t_{300°C}$ (min)	53	82	-	-	-		-	-	-
β_{0laag} (mm/min)	0,38	0,68	-	-	-		-	-	-
$\beta_{0element}$ (mm/min)	0,38	0,49	-	-	-		-	-	-

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 6

VARIATIE TEMPERATUURBESTENDIGHEID LIJMLAAG

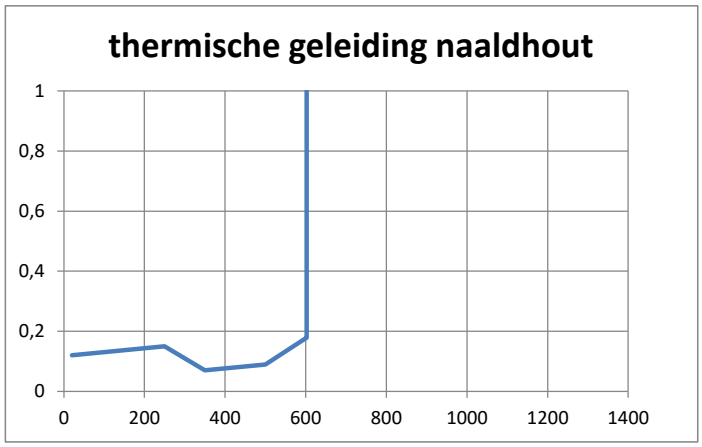
Uitgangspunten naaldhout



T (°C)	c (J/kgK)	vol. coeff* -	c · vol. coeff. (J/kgK)
20	1530	1,12	1714
99	1770	1,12	1982
101	13600	1	13600
120	13500	1	13500
121	2120	1	2120
200	2000	1	2000
250	1620	0,93	1507
300	710	0,76	540
350	850	0,52	442
400	1000	0,38	380
600	1400	0,28	392
603	1403	0,28	388
605	0,99	0	0
800	0,99	0	0
1200	0,99	0	0

* volumieke massa coëfficiënt

Uitgangspunten naaldhout

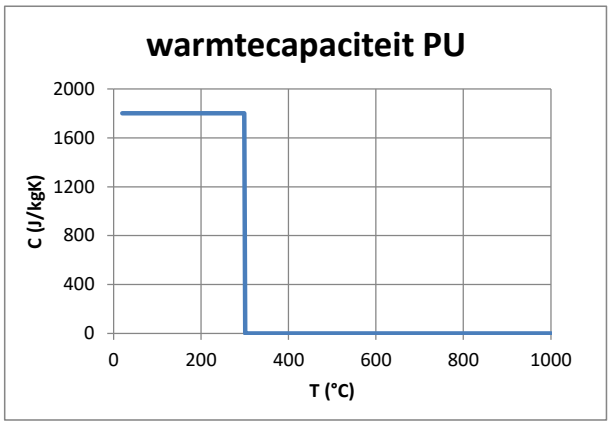


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,12
250	0,15
350	0,07
500	0,09
603	0,18
605	1000
800	1000
1200	1000

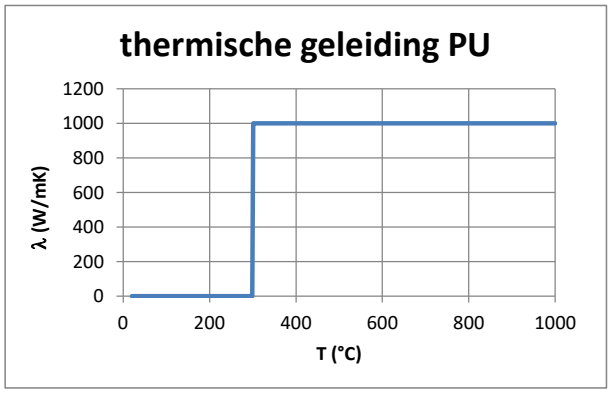
BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 6

VARIATIE TEMPERATUURBESTENDIGHEID LIJMLAAG

Uitgangspunten polyurethaanlijm



T (°C)	c (J/kgK)
20	1800
299	1800
301	0,99
1000	0,99

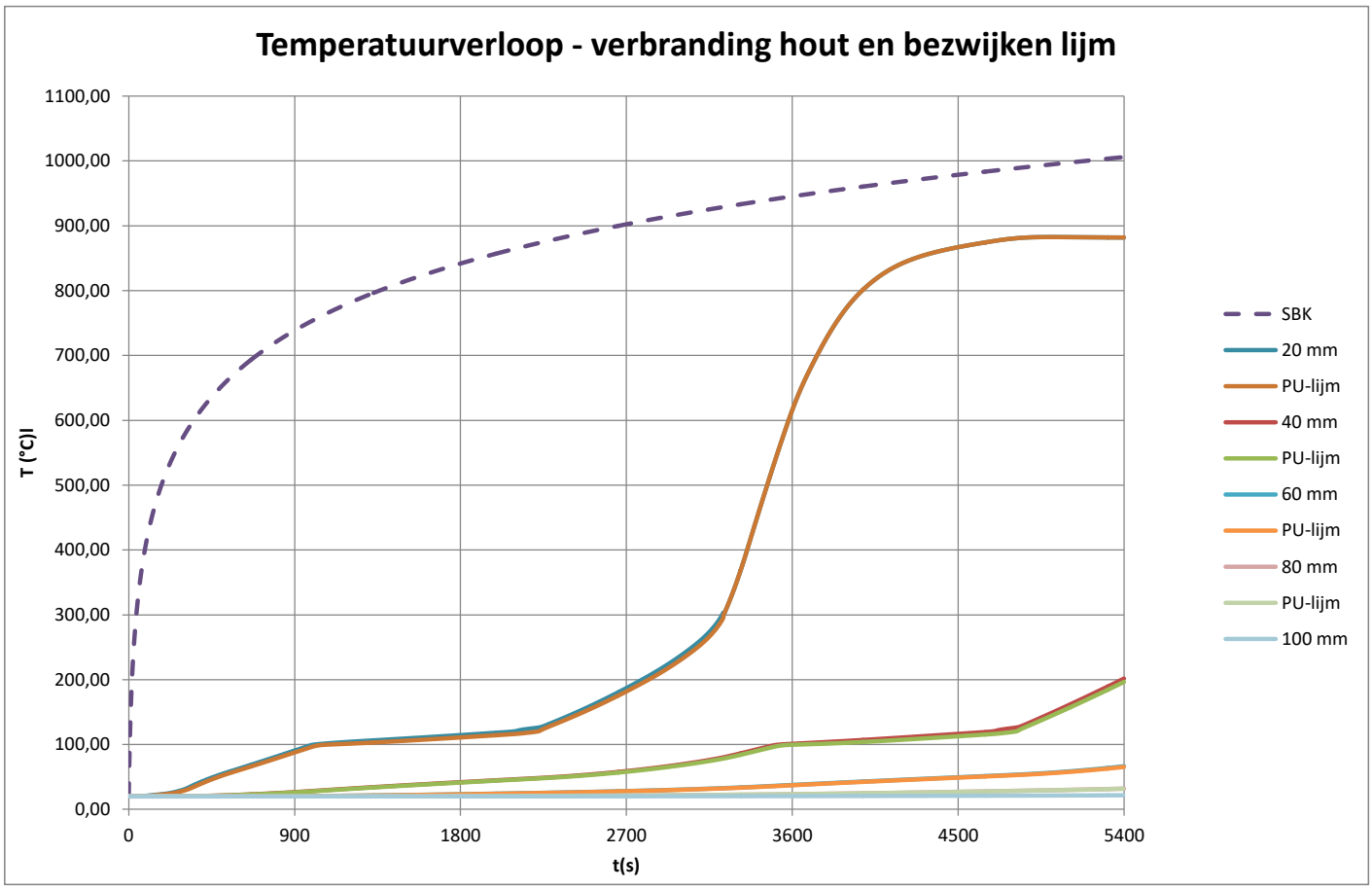


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,25
299	0,25
301	1000
1000	1000

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 6a

VARIATIE TEMPERATUURBESTENDIGHEID LIJMLAAG

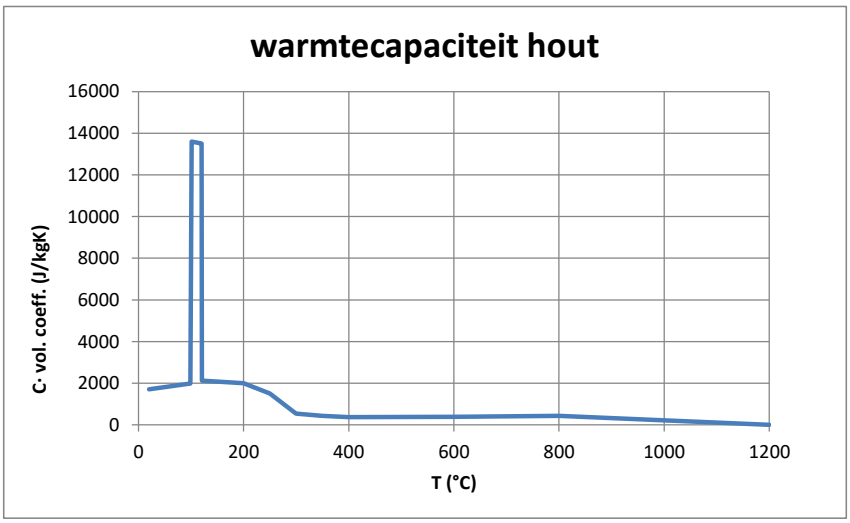
Resultaten: verbranding hout en bezwijken lijm



lijm: $T_{bezwijken}$ = 300 °C

$t_{bezwijken}$ = 53 min (eerste lijmlaag)

Uitgangspunten naaldhout



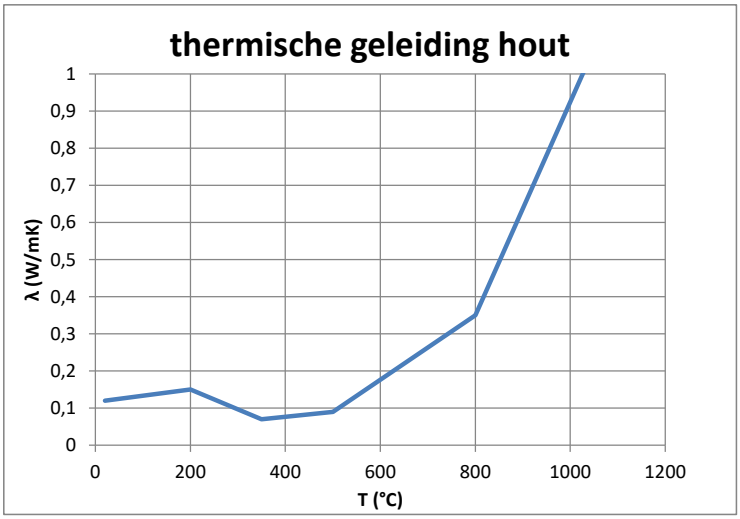
T (°C)	c (J/kgK)	vol. coeff* -	c · vol. coeff. (J/kgK)
20	1530	1,12	1714
99	1770	1,12	1982
101	13600	1	13600
120	13500	1	13500
121	2120	1	2120
200	2000	1	2000
250	1620	0,93	1507
300	710	0,76	540
350	850	0,52	442
400	1000	0,38	380
600	1400	0,28	392
800	1650	0,26	429
1200	1650	0	0

* volumieke massa coëfficiënt

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 6a

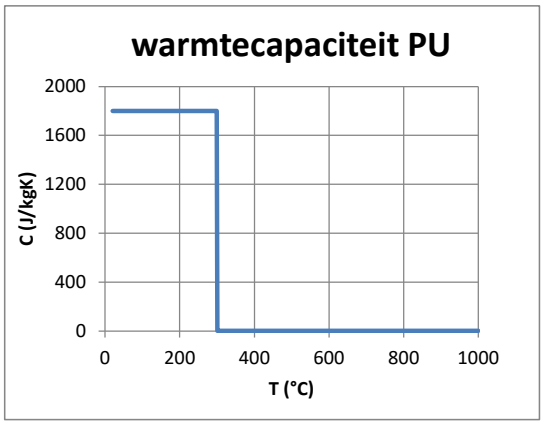
VARIATIE TEMPERATUURBESTENDIGHEID LIJMLAAG

Resultaten: verbranding hout en bezwijken lijm

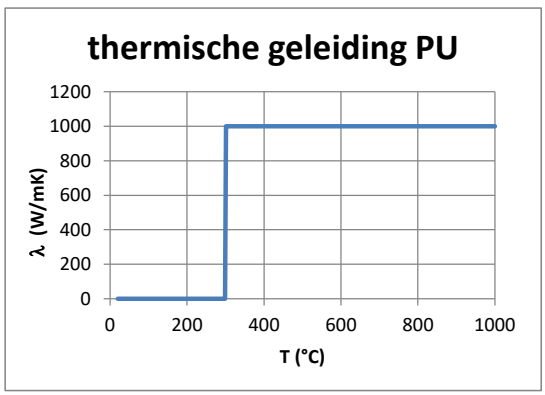


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,12
200	0,15
350	0,07
500	0,09
800	0,35
1200	1,5

Uitgangspunten polyurethaanlijm



T (°C)	c (J/kgK)
20	1800
299	1800
301	0,99
1000	0,99

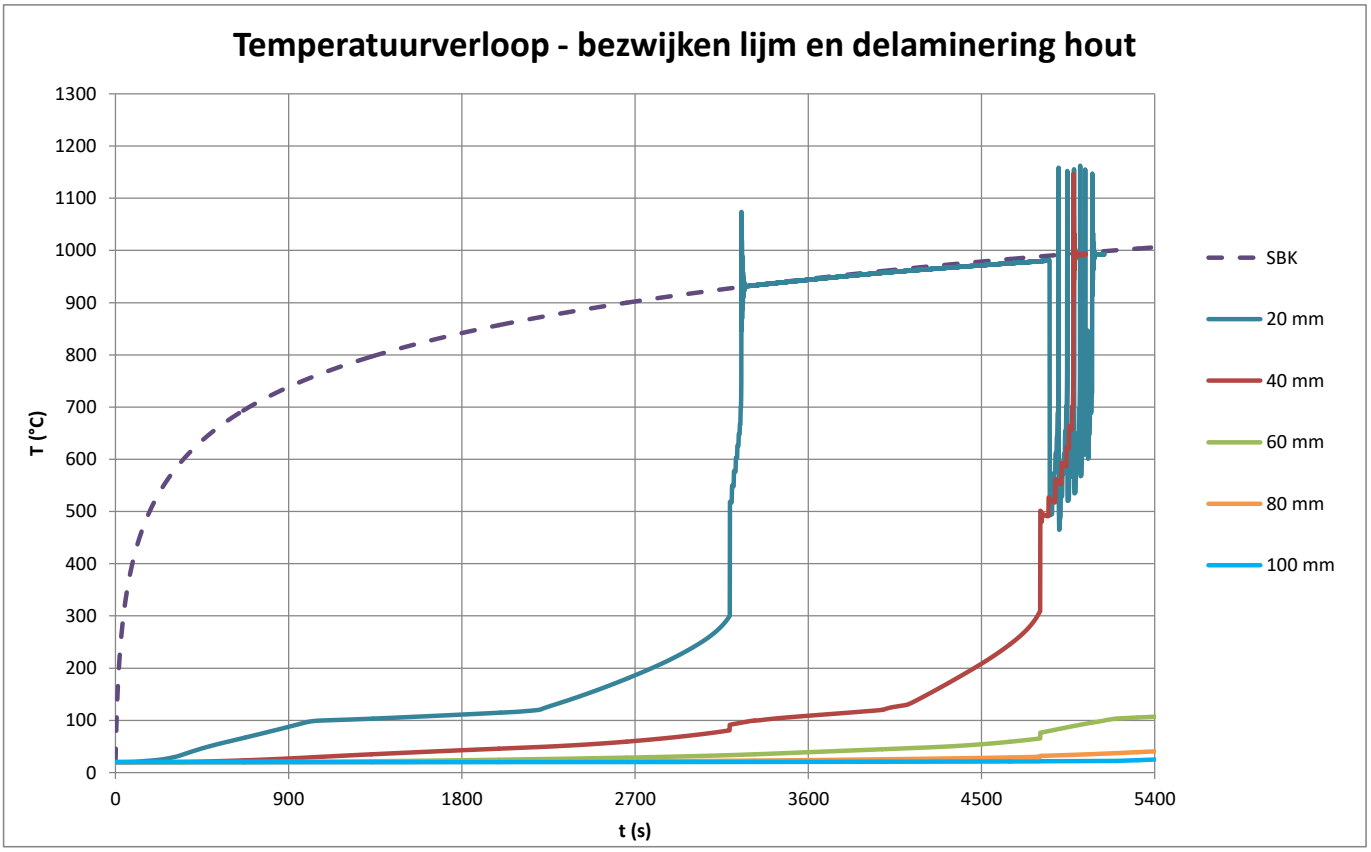


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,25
299	0,25
301	1000
1000	1000

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 6a

VARIATIE TEMPERATUURBESTENDIGHEID LIJMLAAG

Resultaten: delaminering hout en bezwijken lijm



lijm: $T_{bezwijken}$ = 300 °C

$t_{bezwijken}$ = 53 min (eerste lijmlaag)

hout: $T_{bezwijken}$ = 603 °C (gemiddelde temperatuur 1e lamel op t = 59 minuten)

Inbrandsnelheid en inbranddiepte

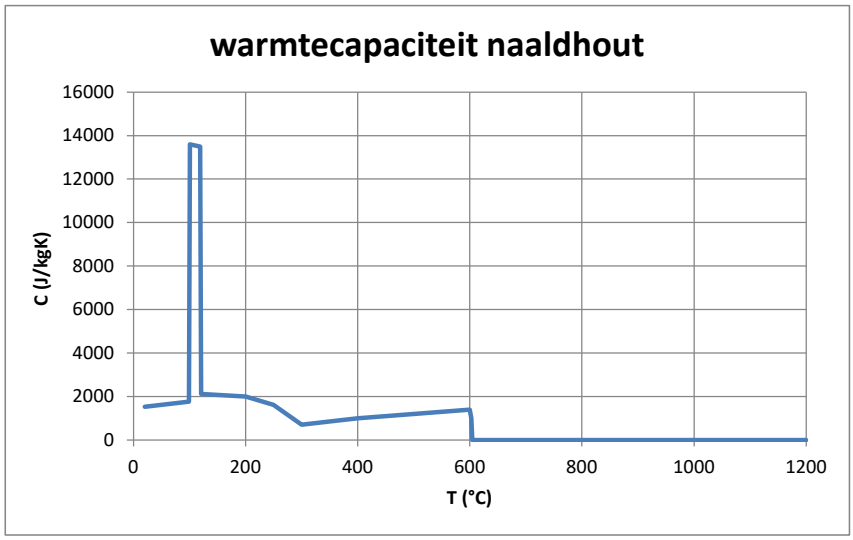
Element opbouw	20 mm	40 mm	60 mm	80 mm	100 mm	t (min)	36 min	44,5 min	90 min
d_{char} (mm)	20	40	60	80	100		15,5	16,9	55,7
$t_{300°C}$ (min)	53	80	-	-	-		36	44,5	90
β_{0laag} (mm/min)	0,38	0,74	-	-	-		-	-	-
$\beta_{0element}$ (mm/min)	0,38	0,50	-	-	-		0,43	0,38	0,62

Inbranddiepte			
t (min)	36,0	44,5	90
d_{char} (mm)	15,5	16,9	55,7

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 6a

VARIATIE TEMPERATUURBESTENDIGHEID LIJMLAAG

Uitgangspunten naaldhout



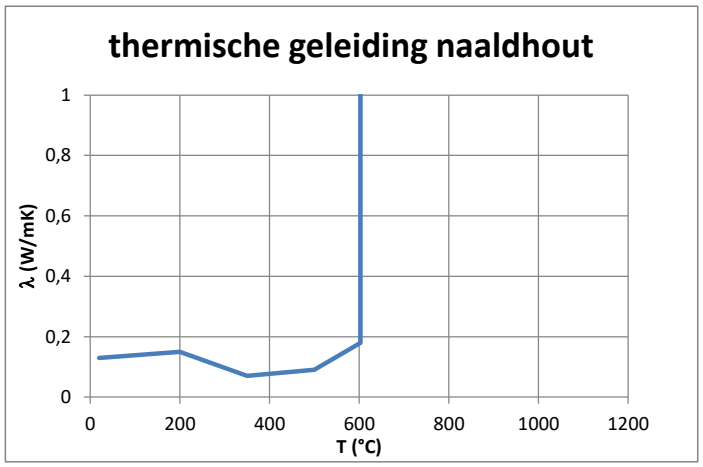
T (°C)	c (J/kgK)	vol. coeff* -	c · vol. coeff. (J/kgK)
20	1530	1,12	1714
99	1770	1,12	1982
101	13600	1	13600
119	13500	1	13500
121	2120	1	2120
200	2000	1	2000
250	1620	0,93	1507
300	710	0,76	540
350	850	0,52	442
400	1000	0,38	380
600	1400	0,28	392
603	1006	0,28	281
605	0,99	0	0
800	0,99	0	0
1200	0,99	0	0

* volumieke massa coëfficiënt

BIJLAGE I-8 TEMPERATUURVERLOOP ANALYSE 6a

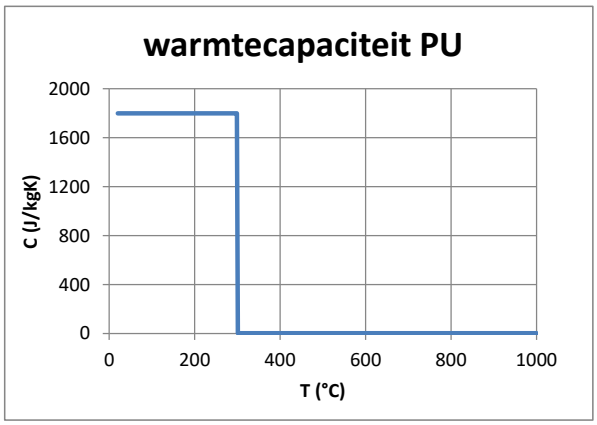
VARIATIE TEMPERATUURBESTENDIGHEID LIJMLAAG

Uitgangspunten naaldhout

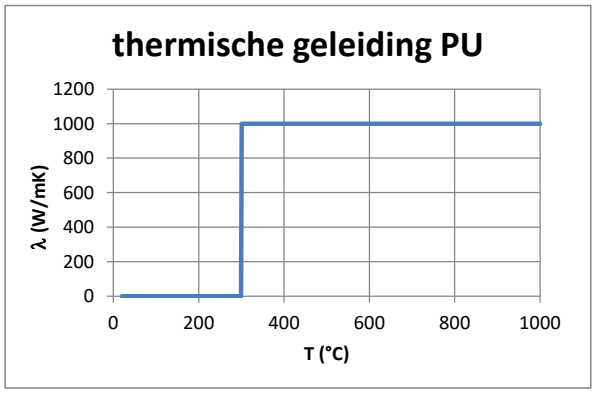


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,13
200	0,15
350	0,07
500	0,09
603	0,18
605	1000
800	1000
1200	1000

Uitgangspunten polyurethaanlijm



T (°C)	c (J/kgK)
20	1800
299	1800
301	0,99
1000	0,99

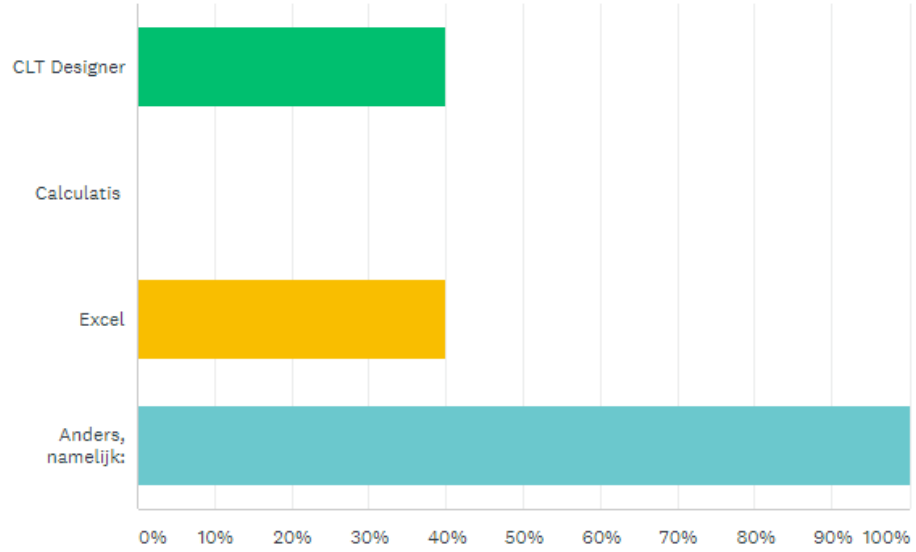


T (°C)	λ (W/mK)
20	0,25
299	0,25
301	1000
1000	1000

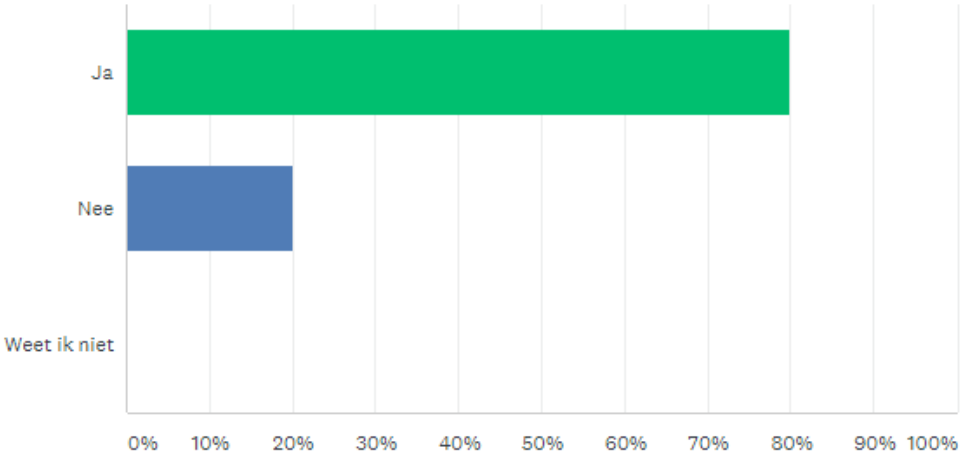
Bijlage I-9

RESULTATEN ENQUETE

V2 Met welke rekenmethode/welk rekenprogramma werkt u om CLT houtconstructies te dimensioneren?



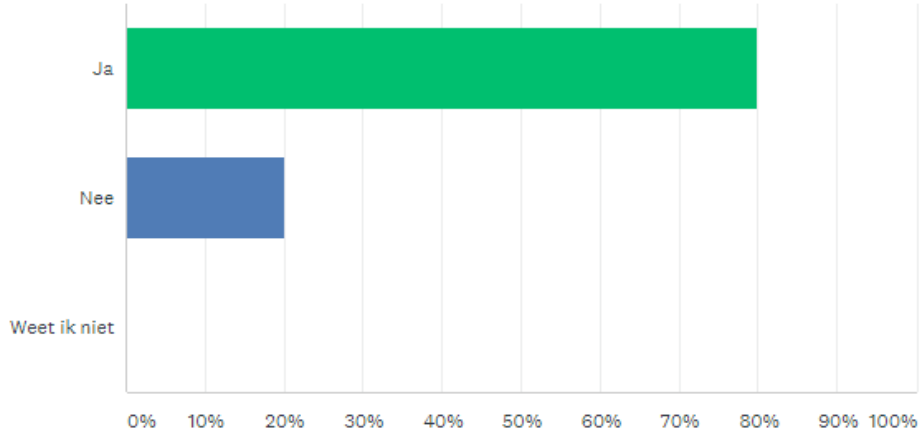
V3 Houdt u in uw statische berekening rekening met brand?



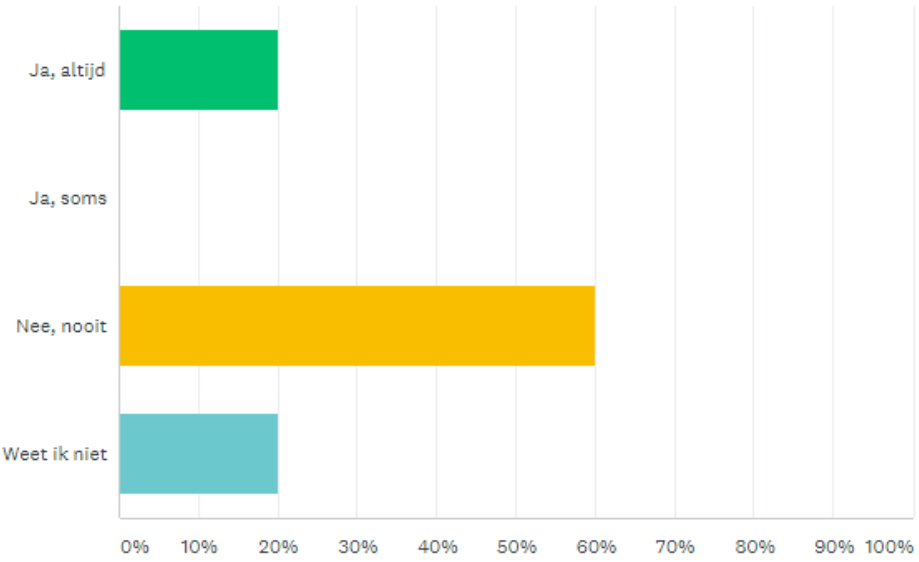
Bijlage I-9

RESULTATEN ENQUETE

V4 Zou brand maatgevend kunnen zijn voor de constructieve veiligheid van CLT houtconstructies?



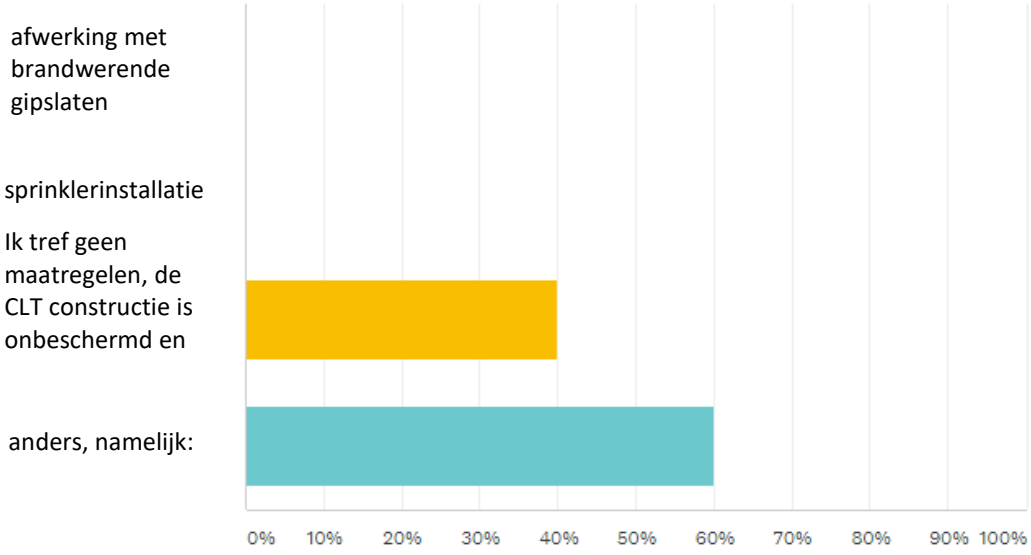
V6 Rekent u wel eens met een natuurlijke brand in plaats van de standaard brandkromme volgens Bouwbesluit 2012 voor het dimensioneren van CLT houtconstructies?



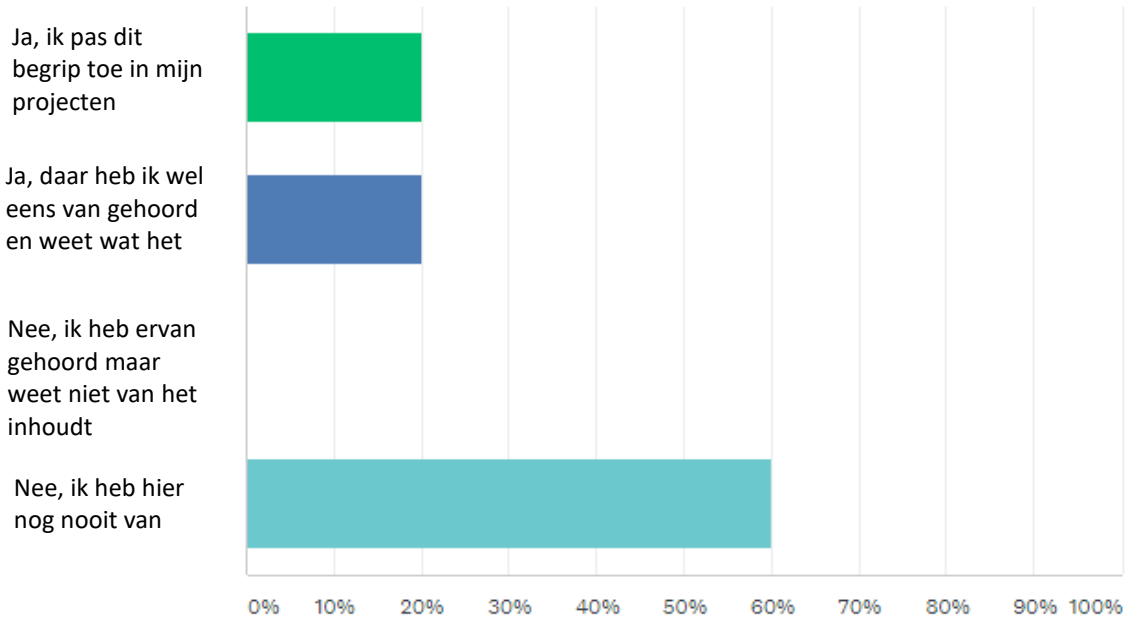
Bijlage I-9

RESULTATEN ENQUETE

V7 Welke brandpreventie-maatregelen treft u gewoonlijk bij projecten waarbij de draagconstructie wordt uitgevoerd in CLT?



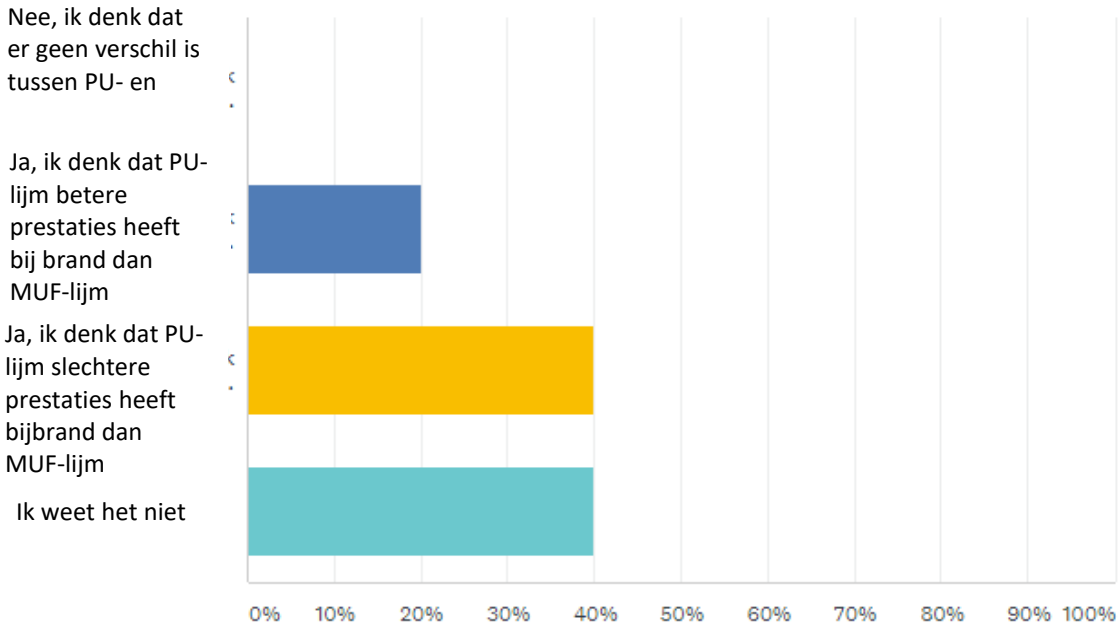
V8 Bent u bekend met het begrip Fire Resilience?



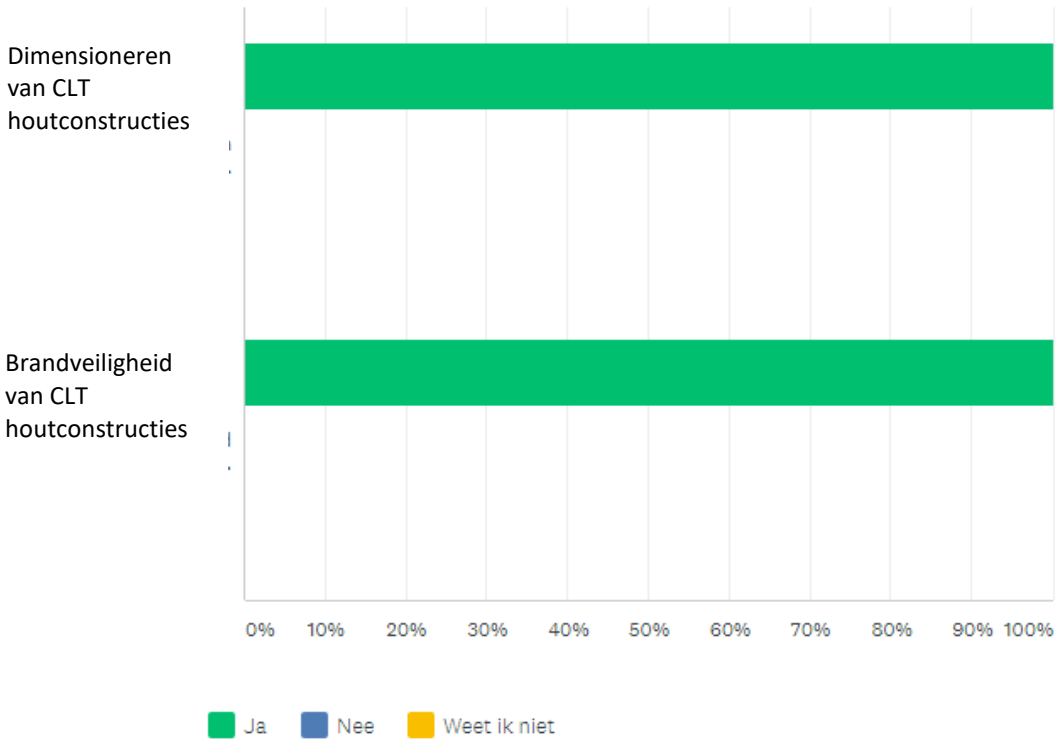
Bijlage I-9

RESULTATEN ENQUETE

V9 Leiden verschillende lijmsoorten (PU- en MUF-lijmen) tot andere prestaties van de CLT constructie bij brand?



V10 Heeft u behoefte aan een universele richtlijn (opgenomen in Eurocode 5) om de volgende aspecten te beoordelen en/of te toetsen?



Bijlage I-9

RESULTATEN ENQUETE - Respondent nr. 1

V1	Wat is uw functie?
	Constructeur
V2	Met welke rekenmethode/welk rekenprogramma werkt u om CLT houtconstructies te dimensioneren?
	Excel
	Anders, namelijk: Statcon structures, RFEM/RF-LAMINATE
V3	Houdt u in uw statische berekening rekening met brand?
	Ja
	Waarom wel / niet?
	Omdat aan de brandeisen voldaan dient te worden. De effectieve dikte tijdens brand wordt berekend en vervolgens een knikberekening uitgevoerd, rekening houdend met excentriciteiten en stijfheid van de 'nieuwe' opbouw van de lamellen.
V4	Zou brand maatgevend kunnen zijn voor de constructieve veiligheid van CLT houtconstructies?
	Ja
	Kunt u uw keuze toelichten?
	Met name bij wanden al dan niet bekleed met gipsplaten.
V5	Hoe reëel acht u de kans dat bij brand delaminering van het hout optreedt? Met delaminering wordt bedoeld dat het verkoolde hout ter plaatse van de lijmlaag loslaat bij blootstelling aan brand.
	niet reëel
V6	Rekent u wel eens met een natuurlijke brand in plaats van de standaard brandkromme volgens Bouwbesluit 2012 voor het dimensioneren van CLT houtconstructies?
	Nee, nooit
V7	Welke brandpreventie-maatregelen treft u gewoonlijk bij projecten waarbij de draagconstructie wordt uitgevoerd in CLT?
	anders, namelijk: Zowel gipsplaten (indien een minimale dikte gewenst is) als overdimensionering van het CLT paneel.
V8	Bent u bekend met het begrip Fire Resilience?
	Nee, ik heb hier nog nooit van gehoord
V9	Leiden verschillende lijmsoorten (PU- en MUF-lijmen) tot andere prestaties van de CLT constructie bij brand?
	ja, ik denk dat PU-lijm slechtere prestaties heeft bij brand dan MUF-lijm
	Kunt u uw keuze toelichten?
	maar niet alle MUF-lijmen zijn per definitie beter dan PU-lijmen.

V10	Heeft u behoefte aan een universele richtlijn (opgenomen in Eurocode 5) om de volgende aspecten te beoordelen en/of te toetsen?	
	Dimensioneren van CLT houtconstructies:	Ja
	Brandveiligheid van CLT houtconstructies:	Ja

Bijlage I-9

RESULTATEN ENQUETE - Respondent nr. 2

V1	Wat is uw functie?
	Projectleider innovaties
V2	Met welke rekenmethode/welk rekenprogramma werkt u om CLT houtconstructies te dimensioneren?
	Anders, namelijk: Dat laat ik aan onze constructeur over
V3	Houdt u in uw statische berekening rekening met brand?
	Ja
	Waarom wel / niet?
	Eis vanuit regelgeving
V4	Zou brand maatgevend kunnen zijn voor de constructieve veiligheid van CLT houtconstructies?
	Ja
	Kunt u uw keuze toelichten?
	Wanneer er een brandeis is voor de hoofddraagconstructie dient de constructie hier aan te voldoen. Dat kan middels "brandhout" bekleden of sprinkler etc.
V5	Hoe reëel acht u de kans dat bij brand delaminering van het hout optreedt? Met delaminering wordt bedoeld dat het verkoolde hout ter plaatse van de lijmlaag loslaat bij blootstelling aan brand.
	reëel
V6	Rekent u wel eens met een natuurlijke brand in plaats van de standaard brandkromme volgens Bouwbesluit 2012 voor het dimensioneren van CLT houtconstructies?
	Weet ik niet
V7	Welke brandpreventie-maatregelen treft u gewoonlijk bij projecten waarbij de draagconstructie wordt uitgevoerd in CLT?
	anders, namelijk: Geen vastgestelde weg. Afhankelijk van de situatie.
V8	Bent u bekend met het begrip Fire Resilience?
	Nee, ik heb hier nog nooit van gehoord
V9	Leiden verschillende lijmsoorten (PU- en MUF-lijmen) tot andere prestaties van de CLT constructie bij brand?
	Ik weet het niet
	Kunt u uw keuze toelichten?
	Zou uit testen moeten blijken. Op basis van gevoel zeg ik dat niet elke thermohardende lijm dezelfde prestatie hoeft te hebben bij brand

V10	Heeft u behoefte aan een universele richtlijn (opgenomen in Eurocode 5) om de volgende aspecten te beoordelen en/of te toetsen?	
	Dimensioneren van CLT houtconstructies:	Ja
	Brandveiligheid van CLT houtconstructies:	Ja

Bijlage I-9

RESULTATEN ENQUETE - Respondent nr. 3

V1	Wat is uw functie?
	Constructeur
V2	Met welke rekenmethode/welk rekenprogramma werkt u om CLT houtconstructies te dimensioneren?
	CLT Designer
	Anders, namelijk: Dlubal RFEM
V3	Houdt u in uw statische berekening rekening met brand?
	Ja
V4	Zou brand maatgevend kunnen zijn voor de constructieve veiligheid van CLT houtconstructies?
	Ja
V5	Hoe reëel acht u de kans dat bij brand delaminering van het hout optreedt? Met delaminering wordt bedoeld dat het verkoolde hout ter plaatse van de lijmlaag loslaat bij blootstelling aan brand.
	reëel
V6	Rekent u wel eens met een natuurlijke brand in plaats van de standaard brandkromme volgens Bouwbesluit 2012 voor het dimensioneren van CLT houtconstructies?
	Nee, nooit
V7	Welke brandpreventie-maatregelen treft u gewoonlijk bij projecten waarbij de draagconstructie wordt uitgevoerd in CLT?
	Ik tref geen maatregelen, de CLT constructie is onbeschermd en blijft in het zicht.
V8	Bent u bekend met het begrip Fire Resilience?
	Ja, ik pas dit begrip toe in mijn projecten.
V9	Leiden verschillende lijmsoorten (PU- en MUF-lijmen) tot andere prestaties van de CLT constructie bij brand?
	Ja, ik denk dat PU-lijm betere prestaties heeft bij brand dan MUF-lijm
V10	Heeft u behoefte aan een universele richtlijn (opgenomen in Eurocode 5) om de volgende aspecten te beoordelen en/of te toetsen?
	Dimensioneren van CLT houtconstructies: Ja
	Brandveiligheid van CLT houtconstructies: Ja

Bijlage I-9

RESULTATEN ENQUETE - Respondent nr. 4

V1 Wat is uw functie?

Houtconstructeur/eigenaar CAG

V2 Met welke rekenmethode/welk rekenprogramma werkt u om CLT houtconstructies te dimensioneren?

CLT Designer, Excel

Anders, namelijk: Dlubal

V3 Houdt u in uw statische berekening rekening met brand?

Ja

Waarom wel / niet?

Natuurlijk, omdat het van belang is voor het constructief ontwerp.

V4 Zou brand maatgevend kunnen zijn voor de constructieve veiligheid van CLT houtconstructies?

Ja

Kunt u uw keuze toelichten?

Jazeker, bij de dunnere wanden en vloeren regelmatig maatgevend.

V5 Hoe reëel acht u de kans dat bij brand delaminering van het hout optreedt? Met delaminering wordt bedoeld dat het verkoolde hout ter plaatse van de lijmlaag loslaat bij blootstelling aan brand.

reëel

V6 Rekent u wel eens met een natuurlijke brand in plaats van de standaard brandkromme volgens Bouwbesluit 2012 voor het dimensioneren van CLT houtconstructies?

Nee, nooit

V7 Welke brandpreventie-maatregelen treft u gewoonlijk bij projecten waarbij de draagconstructie wordt uitgevoerd in CLT?

Anders, namelijk: Soms gips, soms onbeschermd.

V8 Bent u bekend met het begrip Fire Resilience?

Nee, ik heb hier nog nooit van gehoord.

V9 Leiden verschillende lijmsoorten (PU- en MUF-lijmen) tot andere prestaties van de CLT constructie bij brand?

Ja, ik denk dat PU-lijm slechtere prestaties heeft bij brand dan MUF-lijm

Kunt u uw keuze toelichten?

Ik denk dat beide thermohardende lijmen zijn, niet goed brandwerend dus. Maar de MF is iets beter dan de PU. Hiervan ben ik niet zeker. Ik hou rekening met delaminering ongeacht de lijm.

V10	Heeft u behoefte aan een universele richtlijn (opgenomen in Eurocode 5) om de volgende aspecten te beoordelen en/of te toetsen?	
	Dimensioneren van CLT houtconstructies:	Ja
	Brandveiligheid van CLT houtconstructies:	Ja

Bijlage I-9

RESULTATEN ENQUETE - Respondent nr. 5

V1 Wat is uw functie?

Raadgevend ingenieur

V2 Met welke rekenmethode/welk rekenprogramma werkt u om CLT houtconstructies te dimensioneren?

Anders, namelijk: handberekeningen

V3 Houdt u in uw statische berekening rekening met brand?

Nee

Waarom wel / niet?

Voor het vaststellen van het constructief ontwerp neem ik dat nog niet in overweging mee.

V4 Zou brand maatgevend kunnen zijn voor de constructieve veiligheid van CLT houtconstructies?

Nee

Kunt u uw keuze toelichten?

Ik verwacht dat de indringen door brand voldoende is om de brandwerend te realiseren.

V5 Hoe reël acht u de kans dat bij brand delaminering van het hout optreedt? Met delaminering wordt bedoeld dat het verkoolde hout ter plaatse van de lijmlaag loslaat bij blootstelling aan brand.

Weet ik niet

V6 Rekent u wel eens met een natuurlijke brand in plaats van de standaard brandkromme volgens Bouwbesluit 2012 voor het dimensioneren van CLT houtconstructies?

Ja, altijd

V7 Welke brandpreventie-maatregelen treft u gewoonlijk bij projecten waarbij de draagconstructie wordt uitgevoerd in CLT?

Ik tref geen maatregelen, de CLT constructie is onbeschermd en blijft in het zicht.

V8 Bent u bekend met het begrip Fire Resilience?

Ja, daar heb ik wel eens van gehoord en weet wat het inhoudt.

V9 Leiden verschillende lijmsoorten (PU- en MUF-lijmen) tot andere prestaties van de CLT constructie bij brand?

Ik weet het niet

Kunt u uw keuze toelichten?

Geen ervaring met lijmsoorten.

V10 Heeft u behoefte aan een universele richtlijn (opgenomen in Eurocode 5) om de volgende aspecten te beoordelen en/of te toetsen?

Dimensioneren van CLT houtconstructies: Ja

Brandveiligheid van CLT houtconstructies: Ja

BIJLAGE II



Hanzehogeschool Groningen
University of Applied Sciences

Nieman RAADGEVENDE INGENIEURS In 't Hart van de Bouw

AUTEUR: PAULA ZEE
IN OPDRACHT VAN: NIEMAN RAADGEVENDE INGENIEURS B.V.

Bijlage II

Auteur	Paula Zee Studentnummer 329604 Bouwkunde, specialisatie Structural Engineering e-mail: p.c.zee@st.hanze.nl
Groepsnummer	32
Onderwijsinstelling	Hanzehogeschool Groningen Academie voor Architectuur, Bouwkunde en Civiele Techniek Zernikeplein 7 9747 AS Groningen Tel: 050 – 595 55 55 Studiejaar 2017-2018 *Afstudeerbegeleider:* *ing. Jan de Haan* *Afstudeerlezer:* *ir. R. Ovbiagbonhia*
Opdrachtgever	Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V. Dr. van Lookeren Campagneweg 16 8025 BX Zwolle Postbus 40147 8004 DC Zwolle Tel: 038 – 467 00 30 *Bedrijfsbegeleider:* *ir. Ruud van Herpen*
Plaats, datum	Zwolle, 28 mei 2018

Hanzehogeschool Groningen
University of Applied Sciences

Nieman RAADGEVENDE INGENIEURS In't Hart van de Bouw

Bijlage II

Bijlage II-1	Projectplan
Bijlage II-2	Reflectieverslag
Bijlage II-3	Logboek
Bijlage II-4	Aangepaste planning
Bijlage II-5	Verslaglegging overlegmomenten

Bijlage II-1

DEFINITIEF PROJECTPLAN

Dragende verticale panelen in verlijmd kruislaaghout (CLT) en brandveiligheid

Een verkennend onderzoek naar de constructieve veiligheid van een kruislaaghout constructie bij blootstelling aan brand

Auteur:	Paula Zee
Datum:	20-04-2018
Studentnummer:	329605
Groepsnummer:	32
Opdrachtgever:	Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V.
Bedrijfsbegeleider:	ir. R. van Herpen
Afstudeerbegeleider:	Dhr. J. de Haan
Lezer:	Dhr. R. Ovbiagbonhia

Inhoudsopgave

1 Inleiding 3
1.1 Achtergrond van het onderzoek 3
1.1.1 Constructieve veiligheid bij brand 3
1.1.2 Scenario's constructieve veiligheid bij brand 4
1.2 Aanleiding 4
1.3 Opdrachtgever 5
1.4 Probleemstelling 6
1.5 Doelstelling 7
1.6 Vraagstelling 7
2 Methode van onderzoek 8
2.1 Onderzoeksvragen 8
2.2 Methode van aanpak 8
2.3 Stroomschema 10
3 Op te leveren producten 11
4 Uitgangspunten en randvoorwaarden 12
5 Relatie met andere afstudeeronderzoeken 13
6 Planning 14
6.1 Externe / interne afhankelijkheid 14
6.2 Globale planning 14
6.3 Benodigde hulpbronnen 14
6.4 Competentieontwikkeling 14
Literatuurlijst 17

Bijlage 1 – Planning op productniveau

Bijlage 2 – Beoordelingsdossier

Begrippenlijst

Cross Laminated Timber (CLT) / Kruislaaghout: een massief houten paneel opgebouwd uit kruislings verlijmde platen. De platen bestaan uit drie tot zeven lagen.

Durability / Duurzaamheid: het vermogen van een product/constructie om de vereiste functie te behouden gedurende een periode onder gebruikscondities zonder excessief ingrijpen wat betreft onderhoud of reparaties.

Eurocode: constructieve normen voor bepaling van de belasting en respons van draagconstructies.

Equivalente brandduur: de hoeveelheid energie die volgens de standaard brandkromme wordt opgelegd aan de constructie (Quaas, 2017). Wanneer het natuurlijk brandconcept wordt gehanteerd als thermische belasting, maar de thermische en mechanische respons niet rechtstreeks aan de thermische belasting gekoppeld kunnen worden, is het zinvol om het de belasting in equivalente minuten standaard brandkromme uit te drukken (Herpen R. v., 2014).

Fire resistance / Brandwerendheid: vermogen van een constructie met een dragende (of scheidende) functie, een gedeelte of een element daarvan om de vereiste functies te vervullen bij een bepaald belastingsniveau, een bepaalde blootstelling aan brand en gedurende een bepaalde tijdsduur.

Fire resilience / Incasseringsvermogen bij brand: geeft de veerkracht aan van een gebouw om een brand te doorstaan.

Meetniveau: hoogte van het aansluitende terrein, gemeten ter plaatse van de toegang van het gebouw.

Natural fire / Natuurlijke brand: houdt in dat het brandverloop in een brandruimte door brandstof- en gebouwkenmerken wordt bepaald. De temperatuurontwikkeling in de brandruimte wordt daarmee bepaald door project specifieke parameters. Invloeden van buitenaf (zoals brandweerinzet en installaties) blijven buiten beschouwing.

Standard Fire Curve / Standaard brandkromme: nominale temperatuur-tijdrelatie, vastgesteld in NEN-EN 1363-1 voor een volledig ontwikkelde brand in een compartiment.

Sustainability / Duurzaamheid: is de instandhouding of het voortzettingsvermogen van systemen en processen op lange en zeer lange termijn zonder dat dit schadelijke effecten teweegbrengt.

Veiligheidsfactoren: factoren die rekening houden met het feit dat de sterkte van een materiaal een lagere waarde kan hebben dan de voorgeschreven karakteristieke waarde. In 95% van de gevallen zal de sterkte ten minste gelijk zijn aan de karakteristieke waarde, in 5% van de gevallen kan de sterkte van het materiaal lager zijn de karakteristieke waarde.

1 Inleiding

1.1 Achtergrond van het onderzoek

Hout wordt al heel lang toegepast als constructiemateriaal voor verscheidene bouwwerken, maar sinds kort is er ook interesse in hout als constructiemateriaal voor hoogbouw. Onder andere binnen Europa zijn er al menige woontorens gerealiseerd met een houten (hoofd)draagconstructie. Op dit moment wordt het ontwerp voor een woontoren met houten draagconstructie aan de Amstel in Amsterdam uitgewerkt, genaamd HAUT. Deze woontoren heeft een hoogte van 73 meter en zal de hoogste houten woontoren van Nederland worden (Reijn, 2017).

Het is van belang om de brandveiligheid te beoordelen indien een houtconstructie wordt uitgevoerd als massief houten panelen van kruislaaghout (CLT). Hout is een brandbaar materiaal en op dit moment zijn er geen rekenregels om CLT hierop goed te kunnen toetsen. Om bij bouwprojecten de juiste adviezen te kunnen geven ten aanzien van brandveiligheid van CLT, wordt in paragraaf 1.1.2 Scenario's constructieve veiligheid bij brand een aantal scenario's verondersteld waarbij CLT wordt blootgesteld aan een natuurlijke brand.

Vanuit het bedrijfsleven is er de behoefte om richtlijnen te ontwikkelen om CLT houtconstructies goed te kunnen beoordelen op brandveiligheid. Het doel is om de betrouwbaarheid en duurzaamheid te kunnen beoordelen bij brand. Met het bedrijfsleven wordt bedoeld; opdrachtgevers, adviseurs en verzekeraars van bouwprojecten.

1.1.1 Constructieve veiligheid bij brand

Bij hoogbouw, hoger dan 70 meter, gelden volgens Bouwbesluit 2012 de strengste eisen met betrekking tot het bezwijken van de (hoofd)draagconstructie. De (hoofd)draagconstructie hiervan valt onder gevolgklasse 3 volgens NEN-EN 1991 (Eurocode 1). Dit betekent dat het bezwijken van de constructie grote gevolgen heeft ten aanzien van het verlies van mensenlevens, en/of zeer grote economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving. Voor woongebouwen lager dan 70 meter geldt gevolgklasse 2. Dit betekent dat het bezwijken van de constructie minder grote gevolgen heeft ten aanzien van het verlies van mensenlevens en/of aanzienlijke economische of sociale gevolgen of gevolgen voor de omgeving.

De veiligheidsfactoren zijn onder brandcondities kleiner dan de veiligheidsfactoren onder gebruikscondities. Dit komt doordat de belastingduur onder brandcondities relatief kort is. De constructie hoeft dus maar korte tijd weerstand te bieden tegen deze belasting. Belastingen die volgen uit gebruikscondities kunnen altijd optreden. De constructie moet dan gedurende langere tijd weerstand bieden tegen deze belastingen.

Daarnaast gelden volgens Bouwbesluit 2012 eisen ten aanzien van de brandwerendheid voor het bezwijken van de hoofddraagconstructie van een gebouw. Indien een vloer van een woongebouw hoger ligt dan 13 meter boven het meetniveau (hoogte van het aansluitende terrein) dient deze draagconstructie ten minste 120 minuten brandwerend te zijn met betrekking tot bezwijken. Het Bouwbesluit 2012 stelt deze eisen aan de hand van de standaard brandkromme.

Verlijmd kruislaaghout (CLT) is een brandbaar materiaal en kan samen met de inhoud van een brandcompartiment bijdragen aan een brand wanneer het materiaal daaraan wordt blootgesteld. Een CLT houtconstructie kan zelf uitdoven wanneer de convectieve warmteoverdrachten en warmte-uitstraling naar de constructie gering zijn (Crielaard, 2015). Het is echter niet duidelijk of een CLT houtconstructie nog betrouwbaar is nadat deze is blootgesteld aan brand.

Vanwege inbranding is de doorsnede van een CLT houtconstructie na brand gereduceerd en heeft mogelijk onvoldoende draagvermogen in gebruikscondities en is mogelijk ook onvoldoende brandwerend voor een eventuele volgende brand. De CLT houtconstructie kan wellicht voldoende brandwerend zijn, maar dat is geen garantie voor een houtconstructie die voldoende “fire-resilient” is. Een gebouw is fire resilient wanneer na een brand het gebouw nog functioneel en bruikbaar is en is een kenmerk van duurzaamheid. Het gebouw overleeft dan als het ware een calamiteit.

1.1.2 Scenario’s constructieve veiligheid bij brand

Aan het begrip constructieve veiligheid (duurzaamheid en betrouwbaarheid) kunnen, in overleg met Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V., vier scenario’s worden gekoppeld bij blootstelling aan een natuurlijke brand:

1. De constructie bezwijkt binnen de thermische belasting volgens de standaard brandkromme (in minuten) waarin de constructie niet mag bezwijken;
2. De constructie bezwijkt bij overschrijding van de thermische belasting volgens de standaard brandkromme (in minuten);
3. De constructie is bestand tegen bezwijken, constructieve elementen moeten na de brand worden vervangen of versterkt;
4. De constructie is bestand tegen bezwijken, alleen cosmetische ingrepen zijn na de brand nodig.

In het eerste scenario wordt niet aan de gestelde eisen in het Bouwbesluit 2012 voldaan. In dit geval kan worden verondersteld dat de constructie niet duurzaam is en niet betrouwbaar is onder brandcondities. In het tweede scenario wordt wel aan de eisen van het Bouwbesluit 2012 voldaan, maar is de kans dat de constructie bezwijkt door de brand onacceptabel groot. In het derde scenario wordt wel aan het Bouwbesluit 2012 voldaan, maar het op grote schaal vervangen of versterken van constructieve elementen is niet per definitie duurzaam wat betreft materiaalgebruik. Het vierde scenario is het meest duurzaam en betrouwbaar, de draagconstructie is minimaal beschadigd en beschadigingen kunnen relatief eenvoudig worden gerepareerd alvorens het gebouw weer in gebruik kan worden genomen. De constructieve veiligheid is in het laatste scenario het grootst.

1.2 Aanleiding

Tot op heden ontbreken ontwerp- en rekenregels ten aanzien van brandveiligheid voor CLT houtconstructies. Op dit moment wordt gewerkt aan nieuwe regelgeving betreffende dit materiaal. En zal in de nabije toekomst in de vernieuwde norm NEN-EN 1995 (Eurocode 5) beschreven worden hoe de brandwerendheid van CLT houtconstructies berekend dient te worden.

Verder blijkt uit het onderzoek Risicogebaseerde brandveiligheid van draagconstructies (Herpen R. v., 2014) dat de kans $1{\cdot}10^{-6}$ per m² bedraagt op een constructie-bedreigende compartimentsbrand gedurende een ontwerplevensduur van 50 jaar. Dit maakt brand een relatief veelvoorkomende

calamiteit, waar in het ontwerp rekening mee gehouden dient te worden. Momenteel hoeft een gebouw wat betreft brandveiligheid alleen te voldoen aan de wetgeving volgens Bouwbesluit 2012. Indien een gebouw voldoet aan gestelde eisen uit het Bouwbesluit 2012 is een scenario waarbij de CLT houtconstructie bezwijkt door brand denkbaar, wat niet bijdraagt aan de duurzaamheid van een gebouw. Daarom willen brandveiligheid adviseurs fire-resilient gaan ontwerpen.

Uit het afstudeeronderzoek “Self-extinguishment of cross laminated timber” (Crielaard, 2015) is gebleken dat bij blootstelling aan de standaard brandkromme de doorsnede van een CLT houtconstructies behoorlijk gereduceerd wordt door het inbranden van de constructie. Aan de oppervlakte van de CLT houtconstructie vindt dan verkoling plaats. In sommige scenario’s kan de verkoolde laag zelfs afbladderen waardoor nieuw brandbaar materiaal weer blootgesteld wordt aan de brand. Dit principe is afgebeeld in figuur 1.



Figuur 1 Inbranding verticale CLT houtconstructie, afbeelding afkomstig uit “Self-extinguishment of cross laminated timber” (Crielaard, 2015)

De vraag rijst of er voldoende constructieve veiligheid aanwezig is in een verticale CLT houtconstructie bij blootstelling aan een natuurlijke brand. Dit is de aanleiding geweest voor dit afstudeeronderzoek naar de brandveiligheid van massief houten panelen opgebouwd uit verlijmd kruislaaghout (CLT.)

1.3 Opdrachtgever

Dit afstudeeronderzoek wordt uitgevoerd in opdracht van Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V. te Zwolle. Brandveiligheid is een van de vakgebieden waarin zij een adviserende rol bij bouwprojecten hebben. De vakgebieden waarin zij kunnen adviseren zijn:

- Akoestiek
- Bouwfysica
- Bouwregelgeving
- Bouwtechniek- en praktijk
- Brandveiligheid
- Energie en duurzaamheid
- Gevel- en dakadvies
- Installatieadvies
- Juridisch advies
- Kwaliteitsborging
- Luchtdicht bouwen
- Technisch beheer

Het afstudeeronderzoek valt onder de afdeling Brandveiligheid van Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V. Nieman wil graag vooroplopen met innovatieve projecten en wil externe partijen van kwalitatief goed advies voorzien. De uitkomsten van dit afstudeeronderzoek zullen relevant kunnen zijn voor adviseurs op het gebied van brandveiligheid en constructeurs.

1.4 Probleemstelling

Vanuit de bouwpraktijk en de opdrachtgever Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V. is er behoefte aan ontwerp- en rekenregels om deze CLT houtconstructies te kunnen toetsen. Het is niet bekend wat de exacte prestaties zijn van CLT houtconstructies bij brand. Het probleem dat hierdoor ontstaat is dat adviseurs in brandveiligheid zich niet bewust zijn van de mogelijke aanwezige risico's door het ontbreken van ontwerp- en rekenregels.

Uit het afstudeeronderzoek van "Self-extinguishment of cross laminated timber" (Crielaard, 2015) is gebleken dat een verticale CLT houtconstructie kan inbranden, waarbij de koollaag een isolerend en dus vertragend effect heeft op de aantasting door brand. Echter, het is ook mogelijk dat verkoolde lagen van de constructie afvallen omdat de lijmverbinding bezwijkt. Dit wijst erop dat het draagvermogen afneemt door afname van de houtdoorsnede ten gevolge van de blootstelling aan een bepaalde thermische belasting.

Het is gebruikelijk dat er een veiligheidsmarge aanwezig in de capaciteit van het draagvermogen van een draagconstructie. Dit wordt getoetst met een Unity Check (u.c.), in de normen van de Eurocodes staan verschillende toetsingen waaraan constructies moeten voldoen. De u.c. geeft een verhouding aan tussen de optredende belasting en de opneembare sterkte. De opneembare sterkte dient groter te zijn dan optredende belasting, de u.c. is dus als volgt te beschrijven; $u.c. \geq 1$.

Een constructieonderdeel wordt gewoonlijk nooit maximaal belast. Wanneer het draagvermogen, de opneembare sterkte, onbedoeld gaat afnemen ten gevolge van brand, ontstaat een risico met betrekking tot bezwijken van dit constructieonderdeel.

Gebleken is dat er nog geen universele richtlijnen, ontwerp- en rekenregels zijn om CLT houtconstructies te ontwerpen en te toetsen wat betreft brandveiligheid volgens de Eurocodes. Zo is niet bekend of verticaal dragende massief houten panelen van verlijmd kruislaaghout (CLT) bestand zijn tegen bezwijken binnen de gestelde eis in het Bouwbesluit 2012 volgens de standaard brandkromme bij blootstelling aan een natuurlijke brand.

De vraag die dit oproept is of er voldoende constructieve veiligheid in de constructie aanwezig is om, nadat de brand heeft plaatsgevonden, om te voldoen aan de belastingcombinatie behorende bij de gebruikscondities gezien de grotere veiligheidsfactoren, zoals beschreven in paragraaf 1.1 Achtergrond van het onderzoek.

Voorgaande leidt tot het volgende probleem:

Het is op dit moment niet mogelijk om met regelgeving conform Eurocode 5 te achterhalen of er voldoende constructieve veiligheid aanwezig is in verticale massief houten panelen opgebouwd uit verlijmd kruislaaghout (CLT) bij blootstelling aan een natuurlijke brand.

1.5 Doelstelling

Het doel van dit afstudeeronderzoek is de constructieve veiligheid (betrouwbaarheid en duurzaamheid) van CLT houtconstructies bij blootstelling aan een natuurlijke brand inzichtelijk te maken en specifiek voor verticaal dragende massief houten panelen van verlijmd kruislaaghout (CLT). Dit geschied door onder andere de materiaaleigenschappen en het brandgedrag van CLT houtconstructies te onderzoeken.

Het doel is de constructieve veiligheid van verticale massief houten panelen van verlijmd kruislaaghout (CLT) bij blootstelling aan een natuurlijke brand inzichtelijk te maken.

1.6 Vraagstelling

De hoofdvraag die ontstaat, luidt als volgt;

Is er voldoende constructieve veiligheid aanwezig in verticale massief houten panelen opgebouwd uit verlijmd kruislaaghout (CLT) bij blootstelling aan een natuurlijke brand?

2 Methode van onderzoek

2.1 Onderzoeksvragen

Om de hoofdvraag te kunnen beantwoorden wordt de waarschijnlijkheid beschouwd van de vier scenario's die in paragraaf 1.1.2 Scenario's constructieve veiligheid bij brand zijn benoemd. Daaruit volgen een aantal onderzoeksvragen, deze zijn:

1. Welke constructieve eigenschappen heeft een CLT houtconstructie?
2. Wat is het brandgedrag van een CLT houtconstructie?
3. Wat zijn stochastische randcondities bij een natuurlijke brand?
4. Wat is het draagvermogen van een verticale CLT houtconstructie onder gebruikscondities?
5. Wat is de thermische belasting op een CLT houtconstructie uitgaande van een natuurlijke brand rekening houdend met de invloed van stochastische randcondities?
6. In welke mate neemt het draagvermogen van een verticale CLT houtconstructie af onder brandcondities en gebruikscondities uitgaande van een natuurlijke brand?

Het afstudeeronderzoek bestaat uit een literatuurstudie (fase I), waarbij onderzoek is gedaan naar het materiaal en de bijbehorende eigenschappen. Aanvullend daarop zal een enquête (fase II) worden verspreid onder bedrijven om informatie te verzamelen over het materiaal en de eigenschappen . In combinatie met de case-study (fase III) kan een aantal deelvragen dan al worden beantwoordt. Op basis van theoretische gronden en wet- en regelgeving uit de case-study en literatuurstudie wordt een gevoeligheidsanalyse (fase IV) gemaakt om te onderzoeken welke afzonderlijke parameter de grootste invloed heeft op het brandverloop. Een overzicht van de fases waarin de onderzoeksvragen worden behandeld is ook weergegeven in het stroomschema in paragraaf 2.3.

2.2 Plan van aanpak

Hieronder is een verdere toelichting weergegeven van de plan van aanpak per deelvraag.

Onderzoeksvraag 1: Hiervoor wordt een literatuurstudie gedaan naar de constructieve eigenschappen en bestaande rekenmethoden van een verticale CLT houtconstructie. Hiervoor zal voornamelijk gebruik worden gemaakt van publicaties van leveranciers en andere instanties. Hierbij wordt ook een enquête verspreid onder een aantal bedrijven om inzichtelijk te maken van welke rekenmethoden zij gebruik maken.

Onderzoeksvraag 2: Het brandgedrag is materiaalafhankelijk, om de mate van inbranding te kunnen bepalen is inzicht nodig in de thermische respons van de CLT houtconstructie. Dit wordt gedaan middels een literatuurstudie. Hiervoor zal voornamelijk gebruik worden gemaakt van publicaties van leveranciers en andere instanties. Hierbij wordt ook een enquête verspreid onder bedrijven, de enquête speelt in op de verwachting van bedrijven van het brandgedrag van CLT houtconstructies.

Onderzoeksvraag 3: De invloed van stochastische randcondities kunnen worden gesimuleerd met Ozone. De onzekerheden kunnen als afzonderlijke parameters worden

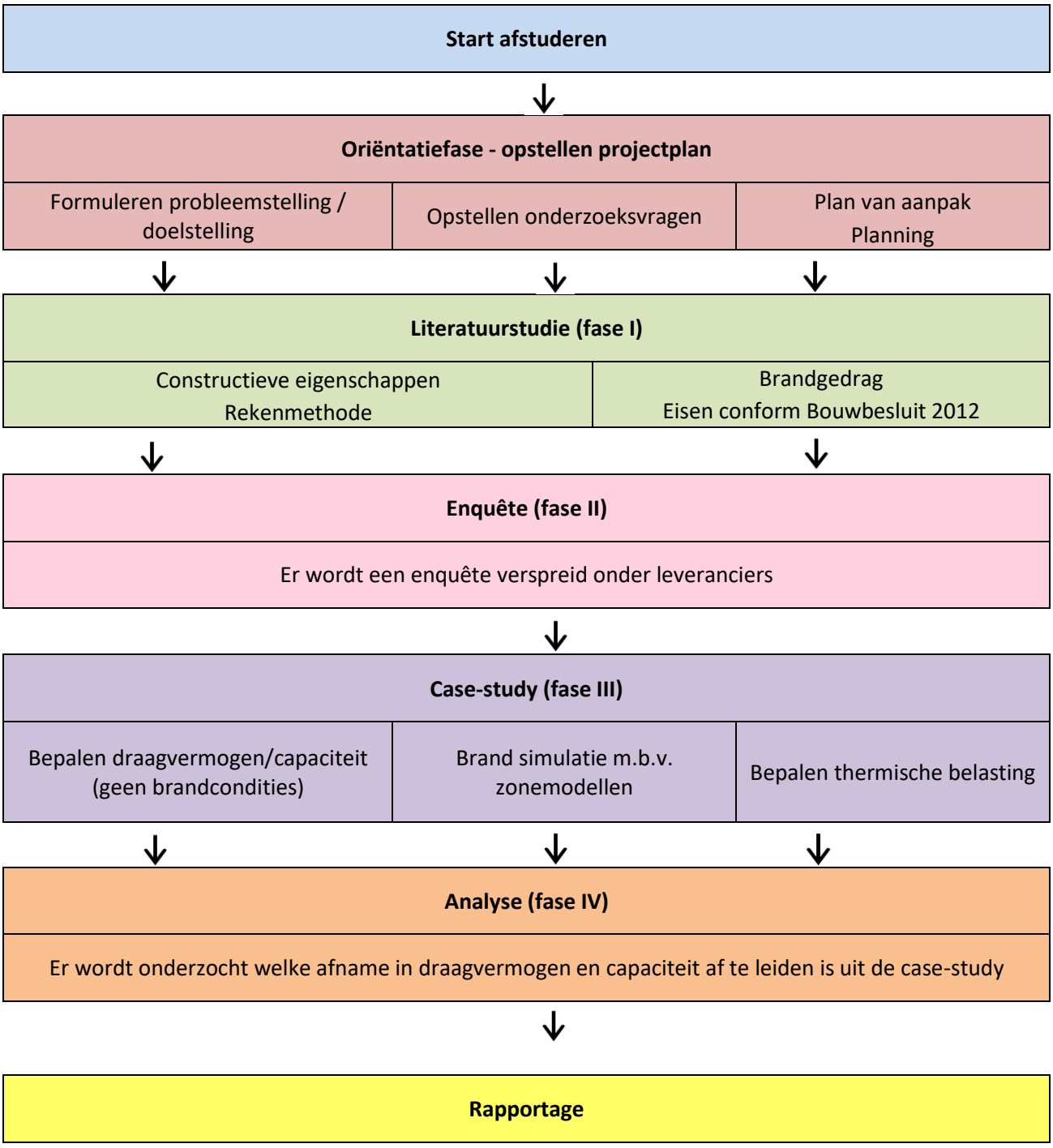
ingevoerd. Door deze parameters te variëren, wordt inzichtelijk welke parameters de grootste invloed hebben op de ontwikkeling van brand.

Onderzoeksvraag 4: Om de constructieve veiligheid van de CLT houtconstructie te kunnen beoordelen moet eerst de draagkracht bepaald worden onder gebruikscondities. Dit wordt onderzocht aan de hand van een statische berekening conform rekenmethoden uit de normen van de Eurocodes en literatuuronderzoek.

Onderzoeksvraag 5: Om de invloed van een natuurlijke brand op het draagvermogen van de verticale CLT houtconstructie te bepalen dient het natuurlijk brandverloop te worden gesimuleerd met het programma Ozone. Dit natuurlijk brandverloop kan vervolgens vertaald worden naar een equivalente brandduur. In deze simulaties zal de invloed van stochastische randcondities worden meegenomen. Om het temperatuurverloop in de doorsnede van de CLT houtconstructie te bepalen wordt gebruik gemaakt van het programma Voltra. De data afkomstig uit de simulaties zal worden verwerkt in overzichtelijke grafieken en tabellen. Deze tabellen en grafieken zullen worden voorzien van een toelichting.

Onderzoeksvraag 6: Om de constructieve veiligheid van de CLT houtconstructie te beoordelen zijn in paragraaf 1.1.2 Scenario's constructieve veiligheid bij brand een aantal scenario's gekoppeld aan constructieve veiligheid (betrouwbaarheid en duurzaamheid). Aan de hand van verkregen resultaten uit voorgaande onderzoeksvragen zal een uitspraak over de constructieve veiligheid van de CLT houtconstructie kunnen worden gedaan.

2.3 Stroomschema



Figuur 2 Stroomschema

3 Op te leveren producten

Per onderzoeksvraag zijn de op te leveren producten om de onderzoeksvragen te kunnen beantwoorden hieronder weergegeven.

Onderzoeksvraag 1:	Schriftelijke uitwerking en verslaglegging van de literatuurstudie naar de eigenschappen van CLT houtconstructies.
Onderzoeksvraag 2:	Schriftelijke uitwerking en verslaglegging van de literatuurstudie naar het brandgedrag van CLT constructies.
Onderzoeksvraag 3:	Schriftelijke uitwerking van het onderzoek naar stochastische randcondities. Deze randcondities zullen overzichtelijk weergegeven met behulp van tabellen.
Onderzoeksvraag 4:	Statische berekening van het draagvermogen van een verticale CLT houtconstructie conform rekenmethoden uit de normen van de Eurocodes en literatuuronderzoek. Hierbij wordt ook een constructief schetsontwerp aangeleverd waarin de casus toegelicht wordt.
Onderzoeksvraag 5:	Grafieken met de rekenresultaten van gemaakte simulaties van het natuurlijk brandverloop met het programma Ozone. De invloed van stochasten zal ook worden weergegeven. Daarnaast zullen de equivalente brandduur en het gesimuleerde temperatuurverloop in de doorsnede van de CLT houtconstructie worden besproken aan de hand van tabellen en grafieken.
Onderzoeksvraag 6:	Statische berekening van het draagvermogen van een CLT wand onder gebruikscondities en brandcondities met bijbehorende belastingcombinaties.

De bevindingen die volgen uit de onderzoeksvragen zullen worden gebundeld in het uiteindelijke verslag, het afstudeeronderzoek. Statische berekeningen, volledige rapporten van het natuurlijk brandverloop, bepaling van de equivalente brandduur en data afkomstig uit Voltra, kortom onbewerkte data zullen als bijlage aan het afstudeeronderzoek toegevoegd worden.

4 Uitgangspunten en randvoorwaarden

Er zijn een aantal uitgangspunten en randvoorwaarden die in dit afstudeeronderzoek gehanteerd worden.

Dit afstudeeronderzoek beperkt zich tot woonfuncties. Woonfuncties hebben doorgaans relatief kleine compartimenten, waarbij de voorgeschreven waarde van de vuurbelasting nauwkeurig is. Er kan dus met enige zekerheid voorspeld worden hoe een brand zich zal ontwikkelen. Tot nu toe is de trend dat CLT houtconstructies vooral worden toegepast in woningbouw. Dit is te verklaren door de grote vraag naar (duurzame) woningen. Daarnaast leent het materiaal zich goed voor wanden-vloeren structuren, een draagstructuur die veel wordt toegepast in woningbouwprojecten.

Dit afstudeeronderzoek beperkt zich ook tot verticale dragende CLT houtconstructies. In het afstudeeronderzoek “Self-extinguishment of cross laminated timber” (Crielaard, 2015) zijn brandproeven gedaan waarbij de inbranding en uitdoving van de wanden van het geteste brandcompartiment, uitgevoerd in verlijmd kruislaaghout, onderzocht werd. Deze brandproeven werden echter uitgevoerd volgens de standaard brandkromme uit Bouwbesluit 2012. De resultaten zouden kunnen verschillen wanneer verticale CLT houtconstructies blootgesteld worden aan een natuurlijke brand.

Als casus wordt er een woning van Finch Buildings gebruikt. Deze woningen zijn volledig uitgevoerd in verlijmd kruislaaghout. De woningen zijn modulair en kunnen gestapeld worden. Wanneer deze woningen over 4 bouwlagen gestapeld zijn dan valt dit woongebouw onder gevolgklasse 2 en dient de (hoofd)draagconstructie te voldoen aan zwaardere eisen met betrekking tot bezwijken in het geval van brand volgens NEN-EN 1991 (Eurocode 1) en Bouwbesluit 2012. De CLT houtconstructie wordt namelijk beoordeeld op de brandwerendheidseis met betrekking tot bezwijken van 90 minuten standaard brandkromme. In figuur 3 is te zien hoe deze woningen eruit zien.



Figuur 3 Voorbeeld casus, foto is het eigendom van Finch Buildings

Per bouwproject kan de uitvoeringswijze en constructieve opbouw verschillen wanneer ervoor wordt gekozen om te ontwerpen in massief houten panelen opgebouwd uit verlijmd kruislaaghout. Deze verschillen zouden tot andere resultaten kunnen leiden. Deze mogelijke verschillen in constructieve opbouw worden in dit afstudeeronderzoek niet behandeld. Resultaten en uitkomsten van dit afstudeeronderzoek zijn project specifiek en kunnen in geen geval worden overgenomen voor andere situaties.

5 Relatie met andere afstudeeronderzoeken

Er zijn in Nederland al eerder afstudeeronderzoeken gedaan naar massief houten panelen opgebouwd uit verlijmd kruislaaghout (CLT), onder andere door Roy Crielaard (TU Delft) en Ronald Koets (TU Eindhoven).

Roy Crielaard heeft het zelfdovend vermogen van CLT wandconstructies onderzocht in het afstudeeronderzoek “Self-extinguishment of cross laminated timber” (Crielaard, 2015). Uit dit afstudeeronderzoek is gebleken dat onder brandcondities inbranding optreedt en dat verkoolde lagen hout vervolgens kunnen afbladderen, waardoor er nieuw brandbaar materiaal aan het oppervlak blootgesteld wordt aan de brand.

De uitkomst van dit afstudeeronderzoek is dat een aantal zaken invloed hebben op het zelfdovend vermogen van CLT houtconstructies. Wanneer de toplaag van de CLT constructie voldoende dik is zal deze niet volledig inbranden of afbladderen. Daarnaast heeft de stralingsflux invloed op het zelfdovend vermogen. Als de stralingsflux tijdens het smeulen van de constructie lager is dan 5 tot 6 kW/m² zal de CLT houtconstructie uitdoven. Als laatste heeft luchtstroming ook invloed op het zelfdovend vermogen, de luchtsnelheid mag niet hoger zijn dan 0,5 m/s bij een stralingsflux van maximaal 5 kW/m².

Ronald Koets heeft onderzoek gedaan naar CLT infilled frames in het afstudeeronderzoek “Hoogbouw met Cross Laminated Timber” (Koets, 2012). Hij heeft onderzoek gedaan naar de bijdrage aan de stabiliteit van een bouwsysteem bestaande uit een ligger-kolom structuur van gelamineerd hout in combinatie met CLT panelen. De CLT panelen zijn op een aantal plaatsen verbonden met het gelamineerd hout. Hij heeft vooral onderzoek gedaan naar de sterkte en stijfheid van die verbindingen met ingelijmde draadeinden.

6 Planning

6.1 Externe / interne afhankelijkheid

De uitvoering van het literatuuronderzoek is afhankelijk van de informatieverstrekking door leveranciers en andere externe partijen wat betreft materiaaleigenschappen van CLT houtconstructies. Daarnaast is dit afstudeeronderzoek afhankelijk van de deskundigheid binnen de opleiding Bouwkunde. Als laatste is dit afstudeeronderzoek afhankelijk van wet- en regelgeving, omdat er in Nederland nog geen ontwerp- en rekenregels zijn om CLT houtconstructies te ontwerpen en te toetsen. Het zou kunnen dat gedurende het afstudeeronderzoek conflicten worden gesignaleerd wat betreft Europese en internationale wetgeving.

6.2 Globale planning

In de tabel 1 hieronder is een planning in hoofdlijnen weergegeven. In bijlage 1 is een planning op productniveau weergegeven.

Tabel 0-1 Globale planning

Globale planning															
(weeknr.)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21
Projectplan															
Literatuurstudie															
Case-study															
Simulatie brandscenario's															
Analyse															
Conclusie															
Discussie															
Uitwerken afstudeerscriptie															
Reflectie															
Deadline afstudeerscriptie															

6.3 Benodigde hulpbronnen

De benodigde hulpbronnen zijn;

- Zonemodel Ozone en Voltra;
- Excel;
- Advies van leveranciers en constructeurs.

6.4 Competentieontwikkeling

Tijdens het afstuderen zal aan de competenties, zoals weergegeven in tabel 2, gewerkt worden. Deze competenties zullen worden afgerond op competentieniveau drie. Het beoordelingsdossier deel A + B, met hierin een overzicht van de te behalen competenties en de reeds behaalde competenties is te vinden in bijlage 2.

Tabel 0-2 Competenties

Beroeps specifieke competenties		*Algemene HBO-Competenties*	
BWK01	Ontwikkelen projectdefinitie	**BWK09**	Denken in modellen, systemen en processen
BWK04	Organiseren van contractvorming	**BWK10**	Proces beheersen en projectmatig werken
BWK08	Beheer van gebouwen	**BWK15**	Zelfverantwoordelijk leren

BWK01 – Ontwikkelen projectdefinitie

Productindicatoren: Projectplan, uitgangspunten en randvoorwaarden en het vooronderzoek naar de rekenmethode en wetgeving voor CLT constructies.

Handelingsindicatoren: Het formuleren van de probleemstelling, doelen, projectgrenzen vastleggen en onderzoeksvragen formuleren.

BWK04 – Organiseren contractvorming

Productindicatoren: Laat geen ruimte voor meervoudige interpretaties en voldoet aan de relevante normen en voorschriften. Verwerkt informatie vanuit verschillende disciplines in een juiste samenhang.

Handelingsindicatoren: Analyseert het ontwerp, tekeningen en berekeningen en overige informatie en vertaalt deze naar een rapport voor het afstudeerverslag.

BWK08 – Beheer van gebouwen

Productindicatoren: Het plan voldoet aan de wettelijke normen en voorschriften.

Handelingsindicatoren: Beoordeelt het duurzaamheidsniveau van draagconstructies in geval van calamiteiten, toegespitst op brand.

BWK09 – Denken in modellen, systemen en processen

Productindicatoren: Projectplan, onderzoek rekenmethode, onderzoek draagvermogen CLT constructies, onderzoek brandgedrag, rapporten van brand simulaties m.b.v. Ozone en CFAST, onderzoek naar thermische belasting en onderzoek naar afname in draagvermogen.

Handelingsindicatoren: Het onderzoeken van de rekenmethoden en het draagvermogen a.d.h.v. artikelen en wetgeving conform Eurocodes. Onderzoeken van het brandgedrag d.m.v. een case-study. Het simuleren van brand m.b.v. Ozone en CFAST en vastleggen van de thermische belasting. Onderzoek doen naar de relatie tussen de thermische belasting en het draagvermogen/capaciteit van de CLT constructie.

BWK10 – Proces beheersen en projectmatig werken

Productindicatoren: Plan van aanpak (inclusief planning) en projectplan.

Handelingsindicatoren: Analyseert de eigen activiteiten, plant eigen activiteiten en bewaakt de voortgang. Organiseert de eigen activiteiten en voert deze uit volgens planning. Werkt onder tijdsdruk de activiteiten tijden en correct af. Geeft prioriteiten in het werk aan. Kan inspelen op wijzigende omstandigheden.

BWK15 – Zelfverantwoordelijk werken en zelfverantwoordelijk leren

Productindicatoren: Reflectieverslag.

Handelingsindicatoren: Geeft zelfstandig de eigen competentieontwikkeling vorm. Verzamelt competentiebewijzen die de competentieontwikkeling illustreren en presenteert deze gestructureerd d.m.v. portfolio. Kijkt kritisch terug op de wijze waarop zij de beroepstaak heeft uitgevoerd. Neemt verantwoordelijkheid voor haar eigen loopbaan.

Literatuurlijst

Crielaard, R. (2015). *Self-extinguishment of cross laminated timber.* Delft.

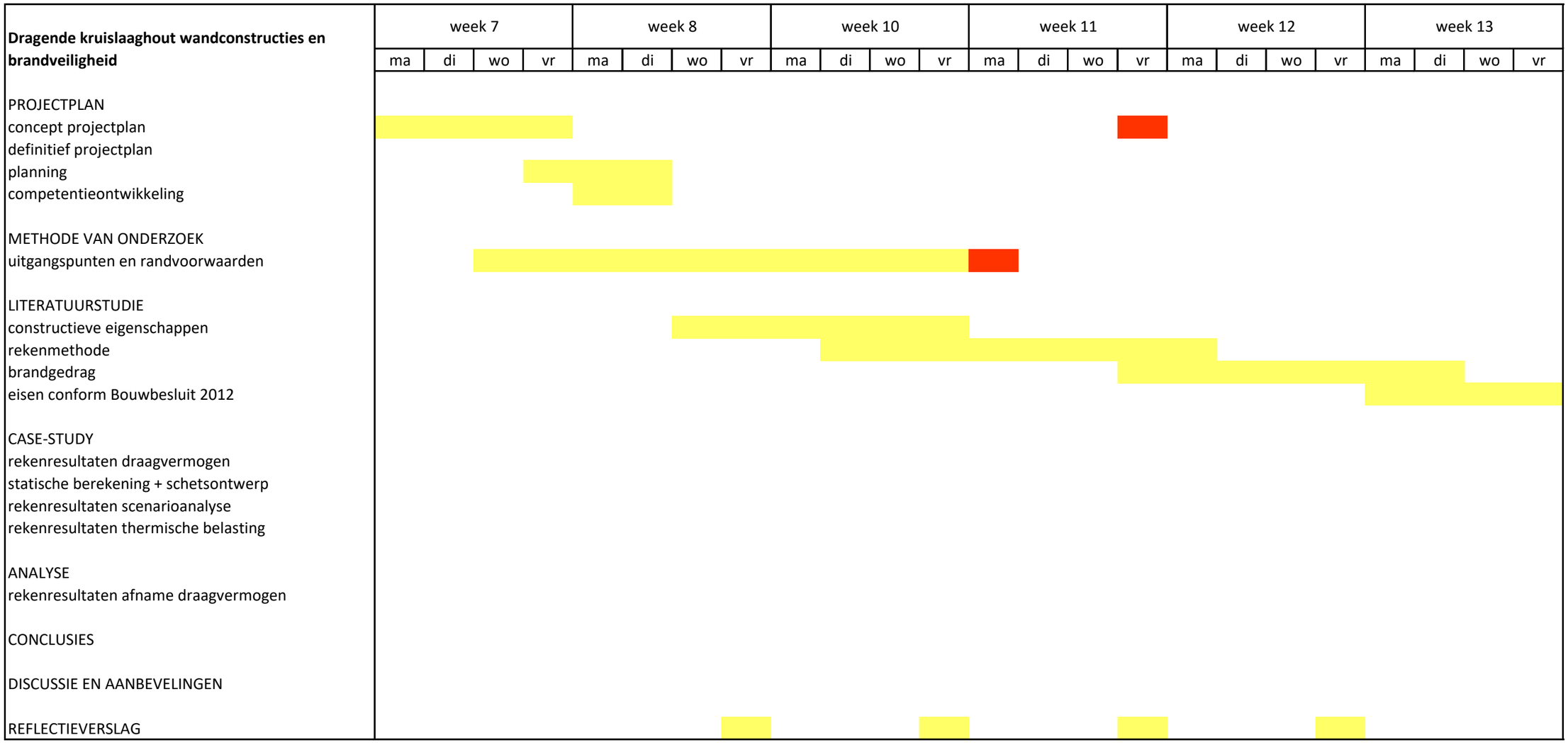
Herpen, R. v. (2014). *Risicogebaseerde brandveiligheid van draagconstructies.*

Koets, R. (2012). *Hoogbouw met Cross Laminated Timber.*

Quaas, L. (2017). *Thermische belasting door brand op scheidingsconstructies.* Eindhoven.

Reijn, G. (2017, november 2). *Amsterdams grootste boomhut*. Opgeroepen op februari 13, 2018, van Volkskrant: https://www.volkskrant.nl/economie/amsterdam-krijgt-op-een-na-hoogste-houten-gebouw-van-europa~a4528291/

Bijlage 1 - Planning op productniveau



Dragende kruislaaghout wandconstructies en brandveiligheid	week 14				week 15				week 16				week 17				week 18				week 19			
	ma	di	wo	vr	ma	di	wo	vr	ma	di	wo	vr	ma	di	wo	vr	ma	di	wo	vr	ma	di	wo	vr
PROJECTPLAN																								
concept projectplan																								
definitief projectplan																								
planning																								
competentieontwikkeling																								
METHODE VAN ONDERZOEK																								
uitgangspunten en randvoorwaarden																								
LITERATUURSTUDIE																								
constructieve eigenschappen																								
rekenmethode																								
brandgedrag																								
eisen conform Bouwbesluit 2012																								
CASE-STUDY																								
rekenresultaten draagvermogen																								
statische berekening + schetsontwerp																								
rekenresultaten scenarioanalyse																								
rekenresultaten thermische belasting																								
ANALYSE																								
rekenresultaten afname draagvermogen																								
CONCLUSIES																								
DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN																								
REFLECTIEVERSLAG																								

Dragende kruislaaghout wandconstructies en brandveiligheid	week 20				week 21				week 22			
	ma	di	wo	vr	ma	di	wo	vr	ma	di	wo	vr
PROJECTPLAN												
concept projectplan												
definitief projectplan												
planning												
competentieontwikkeling												
METHODE VAN ONDERZOEK												
uitgangspunten en randvoorwaarden												
LITERATUURSTUDIE												
constructieve eigenschappen												
rekenmethode												
brandgedrag												
eisen conform Bouwbesluit 2012												
CASE-STUDY												
rekenresultaten draagvermogen												
statische berekening + schetsontwerp												
rekenresultaten scenarioanalyse												
rekenresultaten thermische belasting												
ANALYSE												
rekenresultaten afname draagvermogen												
CONCLUSIES												
DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN												
REFLECTIEVERSLAG												

REFLECTIEVERSLAG



Hanzehogeschool Groningen
University of Applied Sciences

Nieman RAADGEVENDE INGENIEURS In't Hart van de Bouw

AUTEUR: PAULA ZEE

Bijlage II-2 Reflectieverslag

Auteur Paula Zee
Studentnummer 329604
Bouwkunde, specialisatie Structural Engineering
e-mail: p.c.zee@st.hanze.nl

Groepsnummer 32

Onderwijsinstelling Hanzehogeschool Groningen
Academie voor Architectuur, Bouwkunde en Civiele Techniek
Zernikeplein 7
9747 AS Groningen
Tel: 050 – 595 55 55
Studiejaar 2017-2018
Afstudeerbegeleider: *ing. Jan de Haan*
Afstudeerlezer: *ir. Robert Ovbiagbonhia*

Opdrachtgever Nieman Raadgevende Ingenieurs B.V.
Dr. van Lookeren Campagneweg 16
8025 BX Zwolle
Postbus 40147
8004 DC Zwolle
Tel: 038 – 467 00 30
Bedrijfsbegeleider: *ir. Ruud van Herpen*

Plaats, datum Zwolle, 11 juni 2018

Hanzehogeschool Groningen
University of Applied Sciences

Nieman RAADGEVENDE INGENIEURS In 't Hart van de Bouw

Inhoud

1 Inleiding 3
2 Toelichting competentieontwikkeling 4
3 Studiejaar 1-2-3 7
4 Behaalde competenties 9
4.1 Competentieniveau 3 9
4.2 Ontwikkelen projectdefinitie (BWK01) 9
4.3 Organiseren van contractvorming (BWK04) 11
4.4 Beheer van gebouwen (BWK08) 14
4.5 Denken in modellen, systemen en processen (BWK09) 16
4.6 Proces beheersen en projectmatig werken (BWK10) 19
4.7 Samenwerken (BWK14) 21
4.8 Zelfverantwoordelijk werken en zelfverantwoordelijk leren (BWK15) 23
5 Conclusie 26

1 Inleiding

Dit reflectieverslag hoort bij mijn afstudeeronderzoek. In dit verslag is mijn ontwikkeling vastgelegd en zijn keuzes verantwoord. Ik heb gedurende dit proces steeds bijgehouden hoe ik bepaalde zaken heb aangepakt en wat daarvan de consequenties waren.

Ik heb mijn stage afgerond waarbij ik al veel competenties heb mogen afronden op competentieniveau drie. In deze periode van afstuderen wil ik de laatste competenties, zoals besproken in paragraaf 4.1 *Competentieniveau 3* afronden op competentieniveau drie. In dit verslag ga ik vastleggen hoe ik deze competenties heb gehaald. De competenties die ik heb ontwikkeld op niveau drie zijn allemaal besproken in hoofdstuk 2. Hierbij wordt ook verwezen naar het product waarmee wordt aangetoond dat de competentie is behaald.

2 Toelichting competentieontwikkeling

In dit hoofdstuk worden de competenties die ik ontwikkel op competentieniveau drie en mijn leerdoelen nader toegelicht.

Ik kan een projectplan opzetten en het onderzoek afbakenen.

Competentie:	BWK01 – ontwikkelen projectdefinitie
Productindicatoren:	Projectplan, uitgangspunten en randvoorwaarden en het vooronderzoek naar de rekenmethode en wetgeving voor CLT houtconstructies.
Handelingsindicatoren:	Het formuleren van de probleemstelling, doelen, projectgrenzen vastleggen en onderzoeksvragen formuleren.
Toelichting:	Het projectplan moet voldoende specifiek en afgebakend zijn zodat het onderzoek kan worden uitgevoerd.
Bewijsproducten:	Bijlage II-1 Projectplan

Ik kan binnen mijn onderzoek alternatieve modellen beoordelen, ook heb ik inzicht verkregen in de risicoverdeling binnen deze alternatieven.

Competentie:	BWK04 – organiseren van contractvorming
Productindicatoren:	Laat geen ruimte voor meervoudige interpretaties en voldoet aan de relevante normen en voorschriften. Verwerkt informatie vanuit verschillende disciplines in een juiste samenhang.
Handelingsindicatoren:	Analyseert het ontwerp, tekeningen en berekeningen en overige informatie en vertaalt deze naar een rapport en rekenmodellen voor het afstudeerrapport.
Toelichting:	Ik ga een simulatie-onderzoek uitvoeren waarbij de invloed van verschillende onzekerheden wordt onderzocht. Door deze analyse te maken krijg ik inzicht in welke onzekerheden risico's veroorzaken wat betreft brandveiligheid en draagconstructies.
Bewijsproducten:	Bijlage I-5 Resultaten simulatie-onderzoek Ozone (bijlage rapport I) Bijlage I-8 Resultaten simulatie-onderzoek Voltra (bijlage rapport I) Bijlage I-7 Probabilistische benadering thermische belasting en thermische respons

Ik kan binnen mijn onderzoek inspelen op het beheer van een gebouw in de ontwerpfase.

Competentie:	BWK08 – Beheer van gebouwen
Productindicatoren:	Het plan voldoet aan de wettelijke normen en voorschriften.
Handelingsindicatoren:	Beoordeelt het duurzaamheidsniveau in geval van calamiteiten, toegespitst op brand.
Toelichting:	De gevolgen van brand kunnen een grote impact hebben op het beheer van een gebouw. Vanuit het perspectief duurzaamheid is het prettig als na brand geen excessief herstel noodzakelijk is. Vanuit een brandveiligheidsscan waarin het veiligheidsniveau is vastgelegd ontstaat het beheerplan, dit beheerplan moet worden nageleefd.

Bewijsproducten: paragraaf 1.1.2 *Scenario's constructieve veiligheid bij brand* (afstudeerrapport)
paragraaf 8.1 *Conclusies* (afstudeerrapport)

Ik kan zelfstandig zonemodellen opzetten in Ozone. Verder kan ik aangeven hoe het draagvermogen van CLT houtconstructies berekend kan worden en heb ik mij verdiept in het brandgedrag van CLT houtconstructies.

Competentie: BWK09 – Denken in modellen, systemen en processen.
Productindicatoren: Projectplan, onderzoek rekenmethode, onderzoek draagvermogen CLT houtconstructies, onderzoek brandgedrag, rapporten van brand simulaties m.b.v. Ozone, onderzoek naar thermische belasting en onderzoek naar afname in draagvermogen.
Handelingsindicatoren: Het onderzoeken van de rekenmethoden en het draagvermogen a.d.h.v. artikelen en wetgeving conform Eurocodes. Onderzoeken van het brandgedrag d.m.v. een case-study. Het simuleren van brand m.b.v. Ozone en vastleggen van de thermische belasting. Onderzoek doen naar de relatie tussen de thermische belasting en het draagvermogen/capaciteit van de CLT constructie.
Toelichting: Het denken in modellen, systemen en processen is erg belangrijk als het gaat om brandveiligheid en draagconstructies. Door me te verdiepen in zonemodellen krijg ik een veel beter beeld van de ontwikkeling van brand en welke invloed dit heeft op een draagconstructie.
Bewijsproduct: Bijlage I-4 Statische berekening casus (bijlage rapport I)
Bijlage I-5 Resultaten simulatie-onderzoek Ozone (bijlage rapport I)
Bijlage I-8 Resultaten simulatie-onderzoek Voltra (bijlage rapport I)

Ik kan een plan van aanpak opstellen en volgens planning werken.

Competentie: BWK10 – proces beheersen en projectmatig werken
Productindicatoren: Plan van aanpak (inclusief planning) en projectplan.
Handelingsindicatoren: Analyseert de eigen activiteiten, plant eigen activiteiten en bewaakt de voortgang. Organiseert de eigen activiteiten en voert deze uit volgens planning. Werkt onder tijdsdruk de activiteiten tijden en correct af. Geeft prioriteiten in het werk aan. Kan inspelen op wijzigende omstandigheden.
Toelichting: Het volgen van de planning en bewaken van de planning is heel belangrijk tijdens het afstuderen. Ik toon aan dat ik mijn eigen proces stuur aan de hand van de planning.
Bewijsproduct: Bijlage II-3 Logboek
Bijlage II-4 Aangepaste planning

Ik kan samenwerken met collega's in een team.

Competentie: BWK14 – Samenwerken
Productindicatoren: Zie handelingsindicatoren.

Handelingsindicatoren:	Maakt concrete afspraken, houdt zich aan regels en gemaakte afspraken. Is aanwezig gedurende de afgesproken werkuren. Staat open voor feedback. Legt verantwoording af over het eigen handelen. Staat open voor aansturing van anderen. Toont verantwoordelijkheid voor werkzaamheden.
Toelichting:	Ik kan samenwerken in een team. Voor het oplossen van vraagstukken is het vaak noodzakelijk dat beroepsbeoefenaren over de grenzen van hun eigen discipline heen kijken en weten welke vakkennis noodzakelijk is om tot het gewenste resultaat te komen.
Bewijsproduct:	Bijlage 1 Beoordelingsformulier samenwerken

Ik kan reflecteren op de werkzaamheden binnen mijn onderzoek.

Competentie:	BWK15 – zelfverantwoordelijk werken en zelfverantwoordelijk leren
Productindicatoren:	Reflectieverslag.
Handelingsindicatoren:	Geeft zelfstandig de eigen competentieontwikkeling vorm. Verzamelt competentiebewijzen die de competentieontwikkeling illustreren en presenteert deze gestructureerd d.m.v. portfolio. Kijkt kritisch terug op de wijze waarop zij de beroepstaak heeft uitgevoerd. Neemt verantwoordelijkheid voor haar eigen loopbaan.
Toelichting:	Ik kan aan het einde van de periode van afstuderen aantonen dat ik mijn competentieontwikkeling vast heb gelegd in dit verslag.
Bewijsproduct:	Reflectieverslag

3 Studiejaar 1-2-3

In dit hoofdstuk wordt mijn leerproces gedurende gehele opleiding in het kort besproken per studiejaar.

1e studiejaar

Voordat ik aan de opleiding Bouwkunde begon heb ik het VWO afgerond. Ik heb heel bewust voor het HBO gekozen in plaats van een opleiding aan de universiteit. Ik was op zoek naar een doelgerichte opleiding die mij in de breedte kon opleiden, maar wel met een specifiek beroep voor ogen. Ik heb dit in deze opleiding gevonden, dat was voor mij een verassing. Ik had mij nooit verdiept in de bouw, ik was mij er niet van bewust dat mijn interesse ook daar lag. Ik had mij altijd georiënteerd op een opleiding in de zorg en geneeskunde. Ik vond het lastig in te schatten wat ik kon verwachten, ik dacht dat ik het zwaar zou krijgen omdat mijn kennis van de bouwpraktijk minimaal was. Dat was inderdaad zo, maar doordat de moeilijkheidsgraad van de theoretische vakken voor mij vrij laag was kon ik mij goed redden in het eerste jaar.

In het eerste jaar heb ik geleerd dat architectuur niet bij mij en mijn persoonlijkheid past, maar dat ik een affiniteit heb met constructieleer en bouwfysica. Dit heeft ervoor gezorgd dat ik heb doorgezet en mijn propedeuse heb gehaald, omdat ik graag meer wilde weten van deze vakken. Ik heb vooral geleerd om door te zetten en af te wachten wat deze opleiding mij, naast architectuur, nog meer kon bieden.

2e studiejaar

In dit studiejaar ben ik overgestapt naar de studierichting Constructief Ontwerpen. Het gevoel dat deze studierichting beter bij mij zou passen werd bevestigd. Ik vond voldoende uitdaging in de opdrachten en de theoretische vakken. Het ging me wel relatief makkelijk af. De projecten gaven mij ook voldoende uitdaging omdat dit veel samenwerking vereiste. Ik heb hiervan geleerd om geduldiger te zijn, en om anderen te motiveren om gedisciplineerd te werken. Vaak vond ik het frustrerend als ik het gevoel had dat anderen minder gedisciplineerd werkten, maar ik heb geleerd om mijn felheid te temperen om de samenwerking te bevorderen.

Ondanks dat ik op persoonlijk vlak wat tegenslagen te verduren kreeg heb ik keihard gewerkt om alles eruit te halen wat erin zat. Dit kwam vooral terug in mijn stageperiode bij Nieman Raadgevende Ingenieurs, ik reisde hiervoor 3 uur per dag. Ik heb hier een hele positieve ervaring aan overgehouden en heb mijzelf, voor mijn gevoel, bewezen in het bedrijfsleven. Wel bleef ik ontzettend benieuwd naar hoe ik het bedrijfsleven in de tak constructies zou ervaren.

3e studiejaar

Dit studiejaar heb ik als het meest georganiseerd en het minst stressvol ervaren. Ik heb als doel gesteld dat ik efficiënter wilde gaan werken en ik wilde mijn focus verleggen naar het samenwerken. Dit kon ik goed toepassen op de synthese opdracht, waarbij in een grote groep samengewerkt moest worden. Ik heb hier de rol als projectleider naar me toe getrokken, ik heb hiervan geleerd om mijn frustraties los te laten en vooral te zorgen voor een positieve stimulans in de groep. Van mijn medestudenten (en groepsleden) kreeg ik achteraf te horen dat ik streng en gedisciplineerd ben,

maar dat de samenwerking prettig was en dat het ook als prettig werd ervaren dat de deadline probleemloos gehaald werd.

Ik heb veel keuze-stress ervaren bij het kiezen van een minor. Ik kon niet goed kiezen tussen Herontwikkeling bestaand gebouw en Structural Engineering. Ik heb hier veel gesprekken over gevoerd met betrokken docenten en ik heb hier veel aan gehad. Ik heb een tijdje twee minoren gevolgd, maar ik merkte al snel dat dat mij te veel werd. Ik ben dankbaar dat ik de kans kreeg om te ervaren waar mijn hart en passie lag door twee minoren te doen, dit heeft de keuze voor mij makkelijker gemaakt. De minor had van mij nog wat uitdagender mogen zijn, als deze wat georganiseerder in elkaar had gezeten. Ik heb veel geleerd tijdens deze periode, vooral om in teamverband een ontwerp te realiseren. In deze periode heb ik de rol van projectleider heel bewust niet bij elke opdracht naar me toe getrokken, omdat ik me erop wilde concentreren dat ik als mede-groepslid ook goed moet kunnen luisteren naar visies van anderen.

4e studiejaar

In dit laatste studiejaar ben ik begonnen met een afstudeerstage bij Dantuma-Wegkamp. Ook hier heb ik een positieve ervaring aan overgehouden. Ik heb er bewust voor gekozen om bij een relatief kleine organisatie stage te lopen, om te kijken of dit bij mij zou passen. Ik wist dat bij Nieman Raadgevende Ingenieurs ik goed in de organisatie paste, dit is een vrij groot bedrijf. Ik kwam tot de conclusie, samen met mijn toenmalige stagebegeleider, dat ik een grote ontwikkeling doorgemaakt heb tijdens mijn stage en dat ik mijn talenten en mijn zwaktepunten goed heb kunnen ontwikkelen.

Ik kwam in deze periode mijzelf heel erg tegen. Ik had de afgelopen jaren te veel hooi op mijn vork genomen, dit resulteerde in extreme vermoeidheid. Dit heeft ertoe geleid dat ik nog efficiënter ben gaan werken en duidelijke afspraken met mezelf heb gemaakt. Ik kijk er heel erg naar uit om mijn studie af te kunnen ronden en om mijn carrière vorm te gaan geven.

4 Behaalde competenties

In dit hoofdstuk worden de behaalde competenties met bijbehorende leerdoelen omschreven.

4.1 Competentieniveau 3

Competentieniveau 3 is een gevorderd niveau (afstudeerfase: afstudeeropdracht en minor). De student kan een moeilijke taak met geen of weinig sturing uitvoeren, dus zelfstandig uitvoeren. De belangrijkste criteria die het niveau bepalen zijn de complexiteit van de opdracht en de mate van zelfstandig handelen. De complexiteit van de beroepstaak wordt bepaald door:

a. De complexiteit van het werk.
b. De oplossingsstrategie die gekozen moet worden.
c. De transfer: de mate waarin kennis en vaardigheden van vorige werkzaamheden moeten worden toegepast.
d. De mate waarin de student in staat is zijn werkzaamheden theoretisch te verantwoorden.

Op niveau 3 wordt van de student verwacht dat hij/zij zelfstandig kan werken en zelf kan aangeven wanneer hij ondersteuning bij de uitvoering van de beroepstaken nodig heeft.

4.2 Ontwikkelen projectdefinitie (BWK01)

Leerdoel	Ik kan een plan van aanpak opstellen en randvoorwaarden stellen.
Productindicatoren	Projectplan, uitgangspunten en randvoorwaarden en het vooronderzoek naar de rekenmethode en wetgeving voor CLT houtconstructies.
Handelingsindicatoren	Het formuleren van de probleemstelling, doelen, projectgrenzen vastleggen en onderzoeksvragen formuleren.

Aanpak

Het plan van aanpak vormt de basis van het afstudeerrapport. Wanneer het plan goed geformuleerd is hoeft het onderzoek zelf alleen nog uitgevoerd te worden volgens dit plan. Ik heb mijzelf voorgenomen om het plan van aanpak (het projectplan) steeds weer te verbeteren tot het definitieve projectplan ingeleverd moet worden, in overeenstemming met mijn afstudeerbegeleider heb ik hier vrij uitgebreid de tijd voor genomen.

Reflectie

09-03-2018

Het projectplan opzetten ging sneller dan ik had verwacht. Ik kon best snel in grote lijnen mijn plan opzetten en vastleggen wat ik hiervoor moest gaan doen. Wat ik wel lastig vond is het vinden van een geschikte casus waarbij CLT wordt toegepast.

In de eerste week lag mijn projectplan in grote lijnen vast. Daarna heb ik mij gefocust op de competenties die ik nog moest behalen. Tussendoor heb ik mij alvast ingelezen in de nodige documenten over programma's en achtergrondinformatie over CLT constructies.

Ik heb het projectplan besproken met mijn begeleider Ruud van Herpen in de tweede week, daaruit volgden nog een aantal wijzigingen. Daarna heb ik me vooral weer gefocust op het literatuuronderzoek dat ik ga doen naar CLT constructies en brandveiligheid.

Het lastigst vind ik de casus. Ik heb er tot nu toe moeite mee om een geschikte casus te kiezen uit alle informatie die er beschikbaar is. Ik heb hier nog overleg over met een medewerker van Nieman die contact heeft met een bedrijf dat een casus zou kunnen bieden.

Uit het overleg is gebleken dat de Groot Vroomshoop werkt aan modulaire containerwoningen opgebouwd uit CLT. Deze woningen zijn uitermate geschikt om te gebruiken als casus. Ik zal uitgaan van een woongebouw met vier bouwlagen, zodat het gebouw in gevolgklasse 2 zal vallen met bijbehorende eisen vanuit het *Bouwbesluit 2012*.

16-03-2018

Het ontwikkelen van het projectplan gaat de juiste kant op. Het is lastig om de aanpak heel precies vast te leggen omdat er uit het literatuuronderzoek nog wat vraagstukken naar voren komen die ook meegenomen moeten worden, of juist niet. Het vastleggen hiervan in het projectplan vind ik moeilijk. Ik heb het projectplan aangepast naar aanleiding van de feedback die besproken is tijdens de peiling, waarin ik vooral heb gewerkt aan het vastleggen van de relevantie en de probleemdefinitie. Daarnaast heb ik mij geconcentreerd op het literatuuronderzoek, om zo veel mogelijk informatie te verzamelen die relevant zou kunnen zijn voor het projectplan.

Ik verwacht dat ik de methode van onderzoek en het gedeelte waarin ik de aanpak beschrijf nog verder aan zal moeten passen. Ik ben van plan om me hier volgende week op te gaan concentreren om te kijken of ik dit al verder kan herschrijven en eventueel verder kan toelichten. Ik vind het vastleggen van de methode van onderzoek nog best lastig, omdat ik soms zelf nog niet het overzicht heb hoe ik bepaalde dingen ga onderzoeken en hoe ik die resultaten kan verwerken. Dit overzicht had mijn begeleider Ruud van Herpen gelukkig wel, door hierover te overleggen en door handleidingen van programma's door te nemen werd de methode van onderzoek steeds duidelijker.

28-03-2018

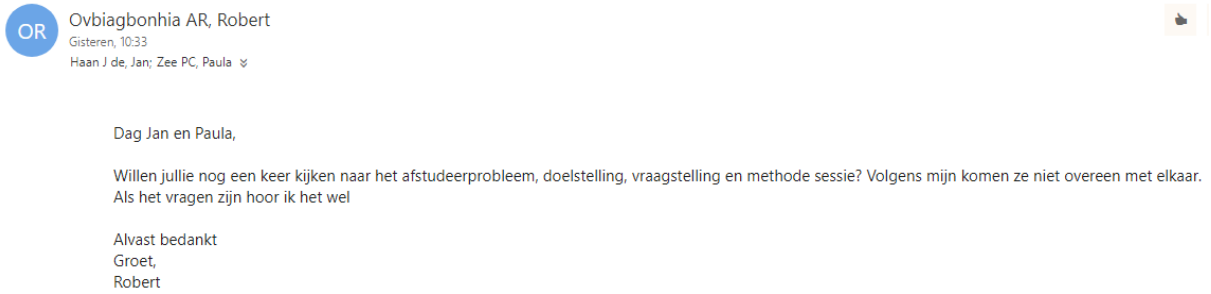
Ik heb na de aanpassingen nog een keer feedback gehad op mijn projectplan waarbij we voornamelijk de schrijfstijl besproken hebben. Ik gebruik nog te vaak spreektaal en beeldspraak. Ik heb mijn projectplan aandachtig doorgenomen en de opmerkingen verwerkt. Bij het herschrijven van de rest van het projectplan heb ik mijzelf steeds de vraag gesteld wat de zin precies toevoegt aan het geheel. Zijn de verwijzingen duidelijk en lopen stukken tekst in elkaar over? Door dit meerdere keren te doen wordt de tekst helderder en prettiger te lezen voor de lezer. Dit moet ik ook gaan toepassen in het uiteindelijke afstudeerrapport.

06-04-2018

Het aanpassen van het projectplan is iets wat ik met veel aandacht heb gedaan. Ik heb het document taalkundig aangepast en daarna heb ik het document uitgeprint en nog een keer aandachtig doorgenomen en waar nodig aangepast.

13-04-2018

Het kennismakingsgesprek heeft afgelopen maandag plaatsgevonden. Het projectplan is goedgekeurd, alleen de lezer heeft nog vraagtekens bij de afstemming van de probleemstelling, vraagstelling en doelstelling. Ook was de methode van onderzoek nog steeds niet goed omschreven zijn. Blijkbaar heb ik toch meer moeite met het formuleren van het probleem dan ik aanvankelijk dacht. Daarom vind ik het zo belangrijk dat ik om voldoende feedback vraag, ik wil dat het eindresultaat goed is. Het mailcontact over deze feedback is hieronder in Figuur 1Figuur 1 weergegeven. Daarnaast heb ik samen met mijn tante nog een keer kritisch naar de probleemstelling, vraagstelling en doelstelling zodat deze op elkaar aansluiten.



Figuur 1 Mailcontact feedback projectplan

20-04-2018

Het projectplan is goedgekeurd na een kleine aanpassing en is ingeleverd en is weergegeven in Bijlage II-1 van bijlage rapport II.

Verantwoording competentie

Het vastleggen van het projectplan vond ik best lastig. Het opzetten van het projectplan ging me goed af, maar het verwoorden van het probleem en het laten aansluiten van het probleem op de vraag- en doelstelling vond ik erg moeilijk. Het heeft mij dan ook behoorlijk wat tijd gekost om dit goed te verwoorden. Ik heb ervan geleerd dat ik kritischer moet lezen en na moet gaan wat ik precies wil vertellen en of de boodschap over komt. Dit heb ik ook gedaan voor het afstudeerrapport. Ik kreeg de feedback van Ruud van Herpen dat het rapport technisch, maar wel goed leesbaar is. Ik heb deze competentie gehaald op niveau 3. Het goedgekeurde projectplan is hiervan het bewijs, bijgevoegd in Bijlage II-1 van bijlage rapport II.

4.3 Organiseren van contractvorming (BWK04)

Leerdoel	Ik kan binnen mijn onderzoek alternatieve modellen beoordelen, ook heb ik inzicht verkregen in de risicoverdeling binnen deze alternatieven.
Productindicatoren	Laat geen ruimte voor meervoudige interpretaties en voldoet aan de relevante normen en voorschriften. Verwerkt informatie vanuit verschillende disciplines in een juiste samenhang.
Handelingsindicatoren	Analyseert het ontwerp, tekeningen en berekeningen en overige informatie en vertaalt deze naar een rapport en rekenmodellen voor het afstudeerrapport.

Aanpak

Het is belangrijk om, wanneer je onderzoek doet, rekening te houden met alternatieven en varianten. Dit is omdat resultaten soms kunnen worden beïnvloed door onzekerheden waarvan je zelf had verwacht dat deze helemaal geen invloed zouden hebben. Natuurlijk is het wel een uitdaging om hierin wel te kunnen limiteren, zodat het onderzoek niet te groot wordt.

Reflectie

16-03-2018

Ik doe veel onderzoek naar bepalingsmethoden voor CLT. Ik bestudeer hiervoor meerdere documenten om te kijken of de verstrekte informatie uit documenten met elkaar overeenkomt. Op die manier weet ik dat het om een gevalideerde bepalingsmethode gaat die door meerdere instanties ondersteund wordt. Dit kost soms wat tijd, maar dan kan ik nauwkeurig nagaan of de informatie klopt.

28-03-2018

Ik heb voor de statische berekening gebruik gemaakt van meerdere rekenprogramma's, maar ik vind het toch prettiger werken om zelf een berekening op te stellen met behulp van Excel. Ik merk dat de programma's allemaal de invoer net iets anders verwerken, ik kan niet altijd achterhalen welke formules het programma toepast. De verschillen zijn uiteindelijk wel minimaal, dit betekent dat de resultaten wel betrouwbaar zijn. Hiermee kan ik mezelf dus ook controleren.

06-04-2018

In Ozone heb ik al simulaties gemaakt van natuurlijke branden. Ik heb hiervoor gemiddelde invoerwaarden (randcondities) gebruikt, maar ik heb ook variaties gemaakt op de randcondities. Ik heb deze variaties later nog uitgebreid, zodat ik echt goed in kaart heb gebracht welke randcondities een grote invloed hebben op het verloop van een natuurlijke brand. Hieruit kwamen toch iets andere resultaten dan ik had verwacht, er waren een paar randcondities waarvan ik dacht dat ze geen invloed hadden maar deze hadden toch een grote invloed. De berekeningen in Ozone heb ik volledig zelfstandig gemaakt, dit was eigenlijk nog vrij gemakkelijk.

Ik heb de gegevens over de temperatuurontwikkeling in de brandruimte in Ozone geanalyseerd en omgezet in grafieken in Excel. Op deze manier is te zien welke variatie op de randcondities maatgevend is voor de temperatuur. Ik heb de grafieken die ik gegenereerd heb uit de gegevens uit Ozone vertaald naar een equivalente brandduur. De equivalente brandduur laat zien hoe lang een brand duurt wanneer deze zich naar verhouding zou ontwikkelen volgens de standaard brandkromme. Hieruit kwam dat de variatie die zorgt voor de hoogste temperatuur niet zorgde voor de grootste brandduur. Dit is interessant, omdat de intensiteit van een brand dus niks zegt over de duur van een brand. Op deze manier krijg ik een beeld van hoe ik alle alternatieven kan beoordelen en welke variatie het meest maatgevend is.

Door deze equivalente brandduur te analyseren met een probabilistische benadering (op basis van de centrale limietstelling) wordt duidelijk welke variaties op de vastgestelde randcondities de grootste risicofactoren zijn op de ontwikkeling van brand. Omdat brand een erg ontastbaar verschijnsel is, is het belangrijk om rekening te houden met de invloed van parameters die mogelijk kunnen variëren. Dit heb ik steeds gedaan bij het bepalen van de equivalente brandduur. Dit ging ook

eigenlijk best wel goed. Ik heb me eerst verdiept in de theorie van de normale verdeling en statistiek door een lesbrief, verstrekt door mijn afstudeerbegeleider, door te nemen. Vervolgens heb ik de berekening in het Excel-blad voor een probabilistische benadering gemaakt en op die manier in kaart gebracht wat de invloed is van alle gemaakt analyses met de variaties.

13-04-2018

Ik heb bij het bepalen van het brandverloop en de probabilistische benadering rekening gehouden met variërende waarden, zo ben ik dus niet uitgegaan van alleen het gemiddelde, maar heb ik ook de standaard deviaties meegenomen in het onderzoek. Op deze manier heb ik een goed beeld gekregen van welke randcondities een grote invloed hebben op het brandverloop in de brandruimte. Door al deze resultaten mee te nemen bij het bepalen van de equivalente brandduur in de probabilistische benadering wordt rekening gehouden met het risico dat het brandverloop niet altijd gemiddeld is. dit wordt uitgedrukt in een betrouwbaarheid en een toelaatbare faalkans. Het is soms wel lastig om vooraf te bepalen welke randcondities invloed zouden kunnen hebben, gelukkig kon ik hierover overleggen met mijn begeleider.

Ik heb bij het simuleren van het temperatuurverloop door de constructie in Voltra ontdekt dat ik de thermische geleiding en warmtecapaciteit volgens Eurocode 5 kan invoeren. Door de thermische geleiding en warmtecapaciteit temperatuurafhankelijk te maken kan ik simuleren dat het hout verkoold en dat de thermische eigenschappen mee veranderen. Ik zocht heel lang naar een manier hoe ik dit kon doen, maar dit is ook voorgeschreven door de Eurocode.

20-04-2018

Het opzetten van het rapport en het vertalen van de randcondities en de casus in een model gaat me steeds beter af. Ik houd me dermate bezig met alle modellen en randcondities die invloed kunnen hebben dat ik vergeet de koppeling naar de casus te maken. Vooral nu de simulaties vorderen is het steeds belangrijker dat ik mezelf de vraag ga stellen: wat betekent dit voor de casus? Ook merk ik dat, gezien de korte tijd, het heel belangrijk is om de afbakening te bewaken. Ik merk dat ik mezelf vaak afvraag wat dit zou betekenen voor een vloer of voor een wand met een andere opbouw, maar dat moet ik echt leren los te laten. Het is belangrijker voor mij om me aan de afbakening te houden, en een goed rapport af te leveren dan dat ik heel veel onderzocht heb, maar niet de tijd heb genomen om dit allemaal netjes uit te werken.

04-05-2018

Ik ben erachter gekomen dat ik een verkeerde aanname heb gedaan in de uitgangspunten van de Voltra simulaties. Dit betekent dat ik snel moet handelen om dit recht te zetten en de resultaten aan te kunnen passen. De lijm en het hout bezwijken tegelijkertijd, ik heb gesimuleerd dat het hout aan de oppervlakte begint te bezwijken wanneer de lijm bezwijkt. Dit ga ik aanpassen naar een bezwijktemperatuur van hout en lijm van 500 °C. Ik had deze fout kunnen voorkomen door iets meer tijd te nemen om de simulatie te bespreken, we hebben dit eigenlijk maar relatief kort doorgenomen. De volgende keer moet ik meer tijd nemen voor overleggen over de resultaten.

13-05-2018

Het vinden van de juiste waarden voor stochastische randcondities voor de simulaties in Voltra vond ik een behoorlijke uitdaging. Ik heb hierbij hulp gevraagd aan mijn afstudeerbegeleider Ruud, omdat ik zelf moeite had met het vinden van afwijkende waarden. Met de hulp van Ruud van Herpen is het

gelukt om afwijkende waarden te vinden bij de gemiddelde waarden die voorgeschreven zijn door normen. Hij heeft me vooral gewezen op verschillende documenten waar ik wat aan zou kunnen hebben, hier heb ik veel aan gehad.

Verantwoording competentie

Het beoordelen en opstellen van alternatieve modellen ging erg goed. De stochastiche randcondities voor de simulaties met Ozone waren voornamelijk afkomstig uit het literatuuronderzoek. Het limiteren hiervan was dan ook geen probleem. Bij het maken van simulaties met Voltra was het lastiger om te limiteren. Dit heb ik samen met mijn begeleider Ruud van Herpen gedaan, zo is besloten om alleen de bezwijktemperatuur van de polyurethaanlijm te laten variëren, omdat de andere thermische eigenschappen van de lijm waarschijnlijk geen of minimale invloed zouden hebben op het temperatuurverloop in de doorsnede vanwege de geringe dikte van de lijmlaag. Ik kan nu zelfstandig simulaties maken en stochastische randcondities opleggen en de risicoverdeling hiervan beoordelen. Daarmee heb ik deze competentie behaald. In Bijlage I-5 en Bijlage I-8 van het bijlage rapport I zijn de resultaten van de gemaakte simulaties weergegeven.

4.4 Beheer van gebouwen (BWK08)

Leerdoel	Ik kan binnen mijn onderzoek inspelen op het beheer van een gebouw in de ontwerpfase.
Productindicatoren	Het plan voldoet aan de wettelijke normen en voorschriften.
Handelingsindicatoren	Beoordeelt het duurzaamheidsniveau in geval van calamiteiten, toegespitst op brand.

Aanpak

Om tot een goede conclusie te kunnen komen in mijn onderzoek is het van belang dat ik voldoende inzicht heb in de wettelijke normen en voorschriften. Ook probeer ik met mijn onderzoek rekening te houden met de beheerfase van het gebouw. Brand is namelijk een verschijnsel dat optreedt in de beheerfase. Ik heb dit gedaan door in overleg met Nieman Raadgevende Ingenieurs vier scenario's op te stellen geldend bij een natuurlijke brand om de constructieve veiligheid te beoordelen. Dit is beschreven in paragraaf 1.1.2 *Scenario's constructieve veiligheid bij brand*. Het doel is om de wettelijke normen en voorschriften te laten aansluiten op de beheerfase van het gebouw met het oogpunt op duurzaamheid.

Reflectie

09-03-2018

Tijdens het opstellen van het projectplan heb ik veel nagedacht over hoe ik de link kan beschrijven tussen duurzaamheid en betrouwbaarheid en mijn onderzoek. Ik vond het erg lastig dit goed onder woorden te brengen en de lappen tekst goed aan elkaar te koppelen.

Mijn begeleider kwam toen met de tip om vier scenario's te koppelen aan de begrippen, zodat niet alleen ik een goed beeld kreeg bij wat duurzaamheid in dit geval precies betekent voor een gebouw, maar dat de lezer ook een beter beeld heeft bij het doel van het onderzoek.

16-03-2018

Ik heb ook onderzocht wat precies de eisen zijn vanuit het *Bouwbesluit 2012* en de Eurocode wat betreft brandveiligheid met betrekking tot bezwijken. Het *Bouwbesluit 2012* was mij eigenlijk al wel

duidelijk, maar de regels in de Eurocode nog niet helemaal. Het schijnt dat de Eurocode dus een hele andere, nauwkeurigere, benadering heeft bij brand. Dat ga ik nader bestuderen.

Ik heb hiervoor ook gebruik gemaakt van het rapport *Risicogebaseerde brandveiligheid van draagconstructies.* Hier staat heel duidelijk in omschreven wat een probabilistische benadering zou zijn voor allerlei gebruiksfuncties. Dit rapport is ook onderdeel van de bijlage E van *NEN-EN 1991-1-2* (Eurocode 1).

06-04-2018
Ik ben erachter gekomen dat de toegepaste lijmsoorten helemaal niet getest zijn op temperaturen die optreden bij brand. De meeste lijmsoorten zijn getoetst volgens voorschriften uit de *EN 15425*. Ook zijn de prestaties van toegepaste lijmsoorten niet getest of vastgelegd wat betreft de thermische eigenschappen. Het is niet goed mogelijk om deze informatie te achterhalen, in meerdere onderzoeken is aangetoond dat de chemische samenstelling van de lijm van grote invloed is op het thermische gedrag van de lijm, maar is niet te achterhalen wat de samenstelling van de onderzochte lijmen dan is geweest.

Ik moet erop letten dat ik mij niet te veel ga verdiepen in alle voorschriften. Het zijn er ontzettend veel, maar niet alle voorschriften zijn relevant voor mijn onderzoek. Ik heb wat tijd verspild aan het zoeken naar prestaties van lijmsoorten, terwijl ik dit uiteindelijk niet verwerk in mijn onderzoek.

20-04-2018
Het valt mij op dat maar weinig bouwkundigen denken aan calamiteiten in de beheerfase. Meestal gaat het beheer over onderhoud, maar calamiteiten als brand blijven een ondergeschoven kindje. In mijn afstudeerrapport zal ik dit aandachtspunt zeker aanstippen.

04-05-2018
Pas in de conclusie kan ik een uitspraak doen over de beheerfase en de duurzaamheid van de constructie bij brand. Ik probeer hier wel zo veel mogelijk al over na te denken bij het analyseren van rekenresultaten.

13-05-2018
Ik heb nog gegevens opgevraagd over het beheer- en onderhoudsplan van de casus die ik gebruik voor mijn afstudeerscriptie bij Finch Buildings B.V. en De Groot Vroomshoop Groep B.V.. Het zou kunnen dat hierin iets is opgenomen over brandveiligheid. Uit de opgevraagde gegevens blijkt dat brandveiligheid niet is opgenomen in het Meerjaren Onderhoudsplan (MJOP).

16-05-2018
De constructieve veiligheid van CLT wanden is beoordeeld in hoofdstuk 8 *Conclusies en aanbevelingen* van het afstudeerrapport aan de hand van de vastgestelde scenario's. Het gaat hierbij om de constructieve veiligheid bij brand in de beheerfase van de casus. Het is heel interessant om de eindresultaten hierop te beoordelen/toetsen. Het is gebleken dat de scenario's voldoende nauwkeurig beschreven zijn. Het is wel lastig om te beoordelen wanneer alleen cosmetische ingrepen nodig zullen zijn of onderdelen vervangen of versterkt moeten worden aan de hand van simulaties omdat schade niet zichtbaar of tastbaar is.

Verantwoording competentie

Er zijn geen eisen, anders dan de eisen voorgeschreven uit het *Bouwbesluit 2012* en Eurocode, om de constructieve veiligheid bij het natuurlijk brandconcept in de beheerfase te beoordelen. Daarom zijn, met het oogpunt op duurzaamheid en betrouwbaarheid (constructieve veiligheid), scenario's opgesteld waaraan de constructie getoetst kan worden en de mate van constructieve veiligheid beoordeeld kan worden. Ik heb geleerd om buiten kaders te denken en volgens Fire Safety Engineering de constructieve veiligheid te beoordelen in de beheerfase van de casus. De bewijsproducten hiervan (de opgestelde scenario's en de conclusie) zijn vastgelegd in paragraaf 1.1.2 *Scenario's constructieve veiligheid bij brand* en paragraaf 8.1 *Conclusies* van het afstudeerrapport.

4.5 Denken in modellen, systemen en processen (BWK09)

Leerdoel	Ik kan zelfstandig zonemodellen opzetten in Ozone en Voltra. Verder kan ik aangeven hoe het draagvermogen van CLT houtconstructies berekend kan worden en heb ik mij verdiept in het brandgedrag van CLT houtconstructies.
Productindicatoren	Projectplan, onderzoek rekenmethode, onderzoek draagvermogen CLT constructies, onderzoek brandgedrag, rapporten van brand simulaties m.b.v. Ozone en, onderzoek naar thermische belasting en onderzoek naar afname in draagvermogen.
Handelingsindicatoren	Het onderzoeken van de rekenmethoden en het draagvermogen a.d.h.v. artikelen en wetgeving conform Eurocodes. Onderzoeken van het brandgedrag d.m.v. een case-study. Het simuleren van brand m.b.v. Ozone en vastleggen van de thermische belasting. Onderzoek doen naar de relatie tussen de thermische belasting en het draagvermogen/capaciteit van de CLT constructie.

Aanpak

Als je simulaties gaat maken zal je een ontwerp moeten vertalen in invoergegevens en een ontwerp. Het resultaat moet altijd gecontroleerd worden en er zal moeten worden nagegaan of het resultaat strookt met het ontwerp. Dit principe geldt ook voor statische berekeningen. De invoergegevens moeten overeen komen met het ontwerp, het model moet de werkelijkheid vertegenwoordigen. Dit doe ik door steeds zelf resultaten te controleren, maar ook door mijn begeleider Ruud van Herpen de resultaten te laten controleren en te overleggen en vragen te stellen aan externe contacten.

Reflectie

09-03-2018

Ik heb me verdiept in de tweede week in hoe het draagvermogen van een CLT wand constructie berekend kan worden. Ik dacht dat dat heel erg lastig zou gaan worden, omdat er nog geen wetgeving is wat betreft rekenmethoden voor CLT houtconstructies. Ik heb daarom gemaild met een aantal leveranciers van CLT houtconstructies, die verwezen mij door naar allerlei verschillende documenten.

Een leverancier wees mij op het bestaan van het *CLT Handbook,* een Canadees handboek voor het berekenen van CLT houtconstructies. Hierin beschrijven zij meerdere methoden, maar de gamma methode, ofwel de methode voor mechanisch verbonden liggers sprak mij wel aan. Aan de hand van een aantal rekenvoorbeelden zag ik dat tussen de uitkomsten van de verschillende methoden erg

weinig verschil zat. De methode voor mechanisch verbonden liggers is onderdeel van *NEN-EN 1995* (Eurocode 5), dus in Nederland een gevalideerde rekenmethode.

Verder is het mogelijk om met het programma CLT Designer een ontwerpberekening te maken. Dit programma is ontwikkeld door leveranciers en de TU Graz. Het nadeel van een programma vind ik dat je niet goed kunt nagaan wat het programma precies doet met de invoergegevens.

Verder heb ik mij verdiept in de eerste weken in het programma Ozone. Dit programma genereert het brandverloop van een natuurlijke brand met bijbehorende rekenresultaten. Het werken met deze programma's is soms best lastig, maar als je de handleiding volgt dan is het best gemakkelijk. Straks, wanneer ik mijn eigen casus zal invoeren zal het wel wat lastiger worden omdat ik dan niet aan de hand van een voorbeeld zal kunnen werken.

16-03-2018

Ik heb vandaag nog verder geoefend met Ozone door de woning uit de casus in te voeren. Dit ging nog niet zo gemakkelijk, het programma gaf een aantal foutmeldingen en moest opnieuw worden geïnstalleerd. Ik heb hierbij wat hulp gevraagd omdat ik zelf niet wist waarom het programma aangaf dat er iets fout ging.

Uiteindelijk is het me wel gelukt om de woning in te voeren volgens met de eisen volgens de Eurocode. De temperatuurontwikkeling viel mij eigenlijk heel erg mee. Nu is de woning ook erg klein dus dit komt wel aardig overeen met het oppervlak en volume van de ruimte. Ik wil deze resultaten volgende week bespreken met mijn begeleider, hiervoor ga ik nog een afspraak inplannen. Ik had de simulatie eigenlijk helemaal goed ingevoerd. We hebben nog een aantal onduidelijkheden besproken, zoals welk "combustion model" ik het beste kon toepassen en wat de invloed is van de risicofactoren. Ook bespraken we de resultaten wat mij hielp bij het vastleggen van de analyse in het afstudeerrapport.

23-03-2018

Ik heb definitieve simulaties gemaakt met Ozone, dit vond ik soms nog best lastig. Ik had van te voren bepaald welke waarden per analyse ingevuld moesten worden. De resultaten verrasten mij behoorlijk. Sommige parameters hadden totaal geen invloed, terwijl andere parameters juist een enorme invloed hadden. Wat ik ook niet verwacht had was dat analyse waarbij ik voorgeschreven waarden uit de *NEN-EN 1991-1-2* had ingevuld de laagste temperatuurontwikkeling gaf. Ik ben daarom ook gaan uitzoeken wat deze resultaten betekenden en waarom sommige parameters een grotere invloed hebben dan andere.

Ik kwam erachter dat bij de voorgeschreven waarden uit de *NEN-EN 1991-1-2* alleen gesimuleerd kan worden in Ozone wanneer er risicofactoren worden toegepast binnen het programma. Omdat ik niet met risicofactoren reken bij de andere analyses laat ik deze analyse achterwege zodat er geen vertekend beeld kan optreden.

Het is ontzettend leerzaam om de verschillen in temperatuurontwikkeling te verklaren. Het verschil is te wijten aan het veranderen van de betreffende parameter, maar nu moet ik ook nagaan waarom een verschil in parameter leidt tot een andere temperatuurontwikkeling. Dit ging mij eigenlijk vrij goed af nadat ik de *NEN 6055* bestudeerd had. Ik heb hierna de resultaten en mijn

bevindingen/conclusies besproken met Ruud van Herpen, hij had een paar opmerkingen en aanvullingen.

Bij het simuleren kwam in eerste instantie naar voren dat de branden brandstof beheerst waren. Meestal zijn woningenbranden juist ventilatie beheerst. Om een ventilatie beheerste verbranding aan te kunnen houden moeten de openingen verkleind worden. Door hiermee te variëren kwam ik erachter dat ik de openingen erg drastisch moest verkleinen om een ventilatie beheerste brand te creëren. Dit zou helemaal niet meer realistisch zijn gezien de casus die ik hanteer. Daarom wordt toch uitgegaan van een brandstof beheerste brand.

28-03-2018

Tijdens het maken van de statische berekening van de CLT wand kwam ik erachter dat in de statische berekening van de leverancier, die ik had opgevraagd als referentie, gerekend werd een erg grote vergrotingsfactor. Ik vond dit zelf niet realistisch en heb hier navraag naar gedaan. Toen werd mij duidelijk dat ik inderdaad in dat geval beter een lagere vergrotingsfactor kon toepassen. Als gevolg van het verlagen van deze factor kan ik een kleinere wanddikte toepassen.

20-04-2018

Ik denk dat simuleren met Voltra het grootste struikelblok was voor mij. Ik vond het heel erg moeilijk om te begrijpen wat het programma precies doet. Ik heb geen stappenplan gemaakt voor het invoeren van het rekenmodel, dit had ik beter wel kunnen doen. Ik heb ontzettend vaak berekeningen moeten afbreken en opnieuw starten omdat ik een stap was vergeten. Dit zou ik de volgende keer zeker anders doen, dat had me een hoop tijd bespaard.

04-05-2018

Ik moet kritisch blijven wat betreft de modellen in Voltra. Ik heb een fout gemaakt in mijn aannamen waardoor het experiment voor een groot gedeelte opnieuw moet worden uitgevoerd. Daarom moet ik van te voren de uitgangspunten beter vastleggen en onderbouwen voordat ik het experiment al ga uitvoeren, ik denk dat ik in het vervolg daarmee een hoop fouten kan voorkomen.

13-05-2018

De simulaties die ik heb gemaakt in Voltra zijn voorzien van kritische voetnoten, nu moet ik dit goed zien te verwoorden in de discussie. Deze week ga ik me daarop focussen, zodat alle randvoorwaarden en uitgangspunten duidelijk vastgelegd zijn en daarover geen verwarring kan ontstaan. De resultaten van de simulaties zijn namelijk minder nauwkeurig dan ik vooraf had gedacht door beperkingen van het simulatiepakket Voltra en gebrek aan kennis van het gedrag van de materialen hout en polyurethaanlijm.

16-05-2018

Doordat de iteraties die Voltra maakt niet nauwkeurig zijn bij relatief lage bezwijktemperaturen zijn de resultaten niet betrouwbaar. Daarom is een analyse toegevoegd waarbij een handmatige schatting is gedaan van het temperatuurverloop. Dit heb ik gedaan door de uitvoergegevens van de analyse bij een bezwijktemperatuur van 500 °C handmatig aan te passen naar een bezwijktemperatuur van 300 °C. Hierdoor is in elk geval de verwachting dat delaminering eerder optreedt inzichtelijk gemaakt. De resultaten zullen echter niet overgenomen kunnen worden voor de casus. Om gevalideerde resultaten te verkrijgen zal een brandproef moeten worden gedaan.

Verantwoording competentie

Ik heb geleerd om simulaties te maken van de temperatuurontwikkeling in brandruimten en doorsneden van materialen met de programma's Ozone en Voltra. Ik heb geleerd welke parameters invloed hebben op de ontwikkeling van brand en welke materiaalparameters temperatuur afhankelijk zijn. Ik heb hierdoor geleerd om te denken in modellen en in alternatieven. Ik heb immers best veel alternatieven opgesteld. Ook heb ik geleerd om constructies te toetsen en te beoordelen op brandveiligheid conform Eurocodes. Ik vond het best lastig, vooral het simuleren van het temperatuurverloop in Voltra, maar uit de resultaten blijkt dat ik dit onder de knie heb gekregen. De bewijslast is vastgelegd in Bijlage I-4, Bijlage I-5 en Bijlage I-8 van het bijlage rapport I.

4.6 Proces beheersen en projectmatig werken (BWK10)

Leerdoel	Ik kan een plan van aanpak opstellen en volgens planning werken.
Productindicatoren	Plan van aanpak (inclusief planning) en projectplan.
Handelingsindicatoren	Analyseert de eigen activiteiten, plant eigen activiteiten en bewaakt de voortgang. Organiseert de eigen activiteiten en voert deze uit volgens planning. Werkt onder tijdsdruk de activiteiten tijden en correct af. Geeft prioriteiten in het werk aan. Kan inspelen op wijzigende omstandigheden.

Aanpak

Om een goed plan van aanpak te hebben is één ding, maar dat plan vervolgens uitvoeren volgens planning is een tweede. Het is gemakkelijk om de projectgrenzen te verliezen en af te dwalen, maar hierdoor wordt de deadline niet gehaald. Ik heb van te voren ruim gepland, zodat ik mezelf de ruimte geef om af en toe een beetje af te dwalen. Daarnaast probeer ik zo veel mogelijk beslissingen direct te maken nadat ik voldoende informatie verzameld heb of navraag heb gedaan bij een of meerdere specialisten om te voorkomen dat ik afdwaal.

Reflectie

09-03-2018

Het projectplan opzetten ging geheel volgens planning. Ik heb dit vrij snel kunnen doen. Ik had verwacht dat ik wel ruim twee weken kwijt zou zijn aan het concept en dat ik in de derde week nog aanpassingen zou moeten doen. Binnen twee weken was ik klaar met het projectplan, had ik dit overlegd met mijn begeleider en diens wijzigingen doorgevoerd. In de weken erna wijzigden nog een aantal kleine dingetjes, waardoor in de aangepaste planning uitloop heb aangegeven. Gelukkig was hier voldoende ruimte voor in de planning.

Hierdoor kon ik wat eerder beginnen met het literatuuronderzoek. Dit is wel prettig, aangezien het literatuuronderzoek best veel tijd vergt. Ik heb veel documenten doorgenomen voordat ik ben begonnen met het uitwerken van de onderzoeksvragen.

Ik moet erop letten dat ik wel de planning steeds bekijk en mezelf controleer wat er moet gebeuren. Ik maak elke ochtend een lijstje waar ik dingen op zet die die dag moeten gebeuren, maar ik moet er goed op blijven letten dat ik het geheel niet uit het oog verlies.

16-03-2018

Tot nu toe loop ik behoorlijk voor op de planning. Ik merk dat ik in het literatuuronderzoek vrij snel veel bruikbare en betrouwbare informatie heb kunnen vinden. Hierdoor ben ik al snel aan het

finetunen gegaan. Ik heb van een aantal dingen, zoals eigenschappen van de toegepaste PU-lijm, die ik nog niet heb kunnen vinden Stora Enso benaderd voor extra informatie.

Ook heb ik gevraagd om een voorbeeld wat betreft de constructieberekening van de casus, bij de Groot Vroomshoop wilden ze die informatie wel verstrekken. Voor mij is dit erg fijn, omdat ik dan alvast informatie kan bestuderen en waar nodig mijn onderzoeksmethode alvast kan aanpassen. Mijn projectplan is nog niet af, maar ik vind het wel heel leuk om hier al mee bezig te zijn. Het schept ook veel duidelijkheid over hoe mijn onderzoek eruit gaat zien en hoe ik gegevens ga verwerken. Ik moet er wel op letten dat ik, hoewel ik voorloop op mijn planning wel regelmatig kijk in het document om te zien hoe het ervoor staat. Ik merk dat ik dat nu nog niet doe en daardoor mijn planning niet echt beheer.

06-04-2018

Hoewel ik de planning uit het projectplan niet echt bewaak en beheer, beheer ik wel mijn agenda. Ik zorg ervoor dat al mijn afspraken ingepland staan in de agenda, ik plan ook zelf mijn overlegmomenten met mijn begeleider in. Daarnaast maak ik wel elke ochtend een lijstje met dingen die ik die dag wil doen. Op die manier werk ik gestructureerd en weet ik wat er elke dag moet gebeuren. Wat ik wel moet gaan doen is mijn overlegmomenten met mijn begeleider op school vastleggen. Ik wil van elk overleg een klein verslagje gaan maken waarin ik de besproken zaken aanstip.

Ik heb vanaf deze week de planning beter in de gaten gehouden. Ik heb dit keer de planning halverwege de week bekeken, maar tot nu toe loop ik nog goed op schema. Wel is het zaak dat ik de berekeningen met Voltra volgende week goed af krijg, anders dan komt er druk op de planning te staan. Dan kan ik daarna de statische berekening na de brand maken om te bekijken wat voor invloed de brand heeft gehad op het draagvermogen van de CLT houtconstructie.

13-04-2018

In aanvulling op het voorgaande ben ik deze week ook begonnen met het precies bijhouden van een logboek. Ik noteerde eerder alleen maar in mijn notitieboekje wat de geplande werkzaamheden per dag zijn, maar ik vind het ook prettig als dit inzichtelijk is om bij te voegen aan het verslag. Dit is ook van belang als bewijsmateriaal voor BWK15.

20-04-2018

De afgelopen week maakte ik me zorgen over de planning, omdat de Voltra simulatie veel meer tijd kostte dan ik had gedacht. Gelukkig heb ik deze week de basis correct ingevoerd en heb ik meteen de stochastische randcondities bepaald waardoor ik volgende week ook meteen de rest van de analyses kan maken en de gegevens kan analyseren. Ook heb ik, omdat het simuleren van een model vrij veel tijd kost, alvast een begin gemaakt met het analyseren van de respons van de constructie. Zo heb ik een model gemaakt dat de resterende draagkracht kan berekenen indien er een gedeelte van het hout bezwijkt. Op die manier zorg ik ervoor dat de planning bewaakt wordt en de deadline gehaald kan worden en speel ik in op wijzigende omstandigheden

13-05-2018

Mijn planning begint in het gedrang te komen doordat het simuleren in Voltra tegenviel en de feedback komt later dan verwacht. Ik los dit op door zo veel mogelijk contact te leggen en te vragen aan familieleden of zij mijn scriptie van feedback willen voorzien. Wat ook een goede oplossing is

geweest is dat ik de controle op druk en buiging van de gereduceerde doorsnede alvast heb voorbereid terwijl ik nog simulaties van Voltra aan het maken was. Dit is een bewuste keuze geweest met het oog op de planning.

16-05-2018

Door goed te overleggen heb ik het probleem in de planning goed op kunnen lossen. Het probleem nu is dat mijn aandacht verlegd was door de tegenvallende resultaten in Voltra en dat ik nu vastloop wat betreft het krijgen van feedback. Ik heb dit opgelost door de resultaten zo snel mogelijk te verwerken en het concept verslag in elkaar te zetten en dit meteen te versturen naar mijn docentbegeleider Jan de Haan en Ruud van Herpen.

Verantwoording competentie

Het is gebleken dat ik mijn werkzaamheden vooraf goed in kan schatten en in weet te plannen. Wel is het zaak om de planning goed te bewaken en bij te werken waar nodig. Ik vind het wel lastig om alles vooral te plannen, de hoofdzaken inplannen lukt mij goed, maar ik vind het lastig om vooraf ook alle bijzaken in te plannen. Daardoor plan ik vrij ruim en is er voldoende ruimte voor tegenslagen binnen de afstudeerperiode. Doordat de simulaties in Voltra in eerste instantie niet goed lukten werd ik gedwongen om mijn planning goed te bewaken, dit is mij goed gelukt. Ik heb op de juiste momenten ingegrepen en mijn planning bewaakt en aangepast waar nodig. De aangepaste planning is bijgevoegd als bijlage in Bijlage II-3 van bijlage rapport II. Het logboek is bijgevoegd in Bijlage II-3 van bijlage rapport II.

4.7 Samenwerken (BWK14)

Leerdoel	Ik kan samenwerken met collega's in een team.
Productindicatoren	Zie handelingsindicatoren.
Handelingsindicatoren	Maakt concrete afspraken, houdt zich aan regels en gemaakte afspraken. Is aanwezig gedurende de afgesproken werkuren. Staat open voor feedback. Legt verantwoording af over het eigen handelen. Staat open voor aansturing van anderen. Toont verantwoordelijkheid voor werkzaamheden.

Aanpak

Het is belangrijk om goed te kunnen samenwerken, zowel met medestudenten als met collega's uit het bedrijfsleven. Hoewel ik individueel afstudeer, werk ik wel samen met collega's bij Nieman gedurende de afstudeerperiode. In dit afstudeerproject verleg ik de grenzen van mijn eigen discipline (namelijk constructies) en daarbij zal ik moeten samenwerken om inzicht te verkrijgen in welke vakkennis benodigd is.

Reflectie

09-03-2018

Ik maak duidelijke afspraken met Ruud van Herpen over begeleidingsmomenten tijdens het afstudeertraject. Op die manier kunnen we goed samenwerken en de resultaten en producten afstemmen. Ik heb een vaste werkplek geregeld bij Nieman zodat ik veel aanwezig kan zijn en gemakkelijk collega's aan kan spreken en kan vragen om hulp indien nodig. Ik zorg ervoor dat ik zelf het initiatief neem om overleggen in te plannen en draag zelf inhoudelijk ook bij aan die overleggen.

20-04-2018

Ik heb contact gezocht met meerdere externe partijen die mij kunnen helpen met mijn onderzoek. Met die externe partijen is veelvuldig mailcontact geweest. Dit mailcontact heeft mij verder geholpen met mijn afstudeeronderzoek. Hiervoor heb ik alle partijen ook telkens bedankt wanneer zij mij konden voorzien van informatie.

Ook vraag ik bij het maken van simulaties Niek Spijkerboer om hulp, omdat hij mij goed kan helpen met het maken van simulaties in Ozone. Hij werkt zelf namelijk ook veel met dat programma. Ook werk ik veel samen met mijn docentbegeleider Jan de Haan om het projectplan intussen verder af te stemmen en optimaliseren.

Voor de enquête heb ik Maaike van Bussel benaderd om de vragen te bespreken voordat ik ze zou versturen. Zij heeft namelijk goed contact met de partij waar ik onder andere mijn enquête naar wil versturen. Ik merkte dat zij een goed beeld had van hoe externe partijen tegen bepaalde vraagstukken aan kijken. Daarnaast kon zij mij goed helpen met het contact naar de leverancier toe toen ik een fout ontdekte in de statische berekening die zij mij hebben aangeleverd. Ik vond het best moeilijk om dit met de contactpersoon van de leverancier te communiceren, maar zij heeft me wat tips gegeven waardoor dit contact beter verlopen is.

04-05-2018

Bij het bepalen van stochastische randcondities heb ik Ruud om hulp gevraagd omdat ik dit best lastig vond. Ik had niet het overzicht om te kunnen weten welke parameters aanzienlijke gevolgen zouden hebben. Daarna heb ik met Ruud de resultaten van de simulaties in Voltra besproken zodat ik voldoende feedback zou krijgen op de uitgangspunten.

13-05-2018

Na verder overleg met Ruud van Herpen heb ik in overleg besloten om de Voltra simulaties aan te passen. Op die manier zorg ik ervoor dat ik aangestuurd of bijgestuurd indien nodig en dat dit in overleg gebeurt zodat Ruud van Herpen ook zicht heeft op de ontwikkelingen van dit afstudeerproject. Ik draag zelf ook bij aan inhoudelijke verbeteringen of geef aan waar nog verbeteringen nodig zijn om zo het proces te sturen. Doordat ik collega's vraag om feedback en visies doe ik ook een beroep op de kwaliteiten van anderen. Hoewel ik niet samenwerk met een partner is het verhelderend om collega's een blik op mijn werk te laten werpen. Over het algemeen vindt men het hartstikke leuk om tussendoor mijn werk even te bekijken en mij van feedback te voorzien.

16-05-2018

Ik heb overleg gehad met Jan de Haan en daar hebben we steeds het verslag en uitgangspunten besproken. Ik heb veel gehad aan de feedback die ik gekregen heb van Jan de Haan. Hierbij ben ik in staat om mijn eigen keuzes toe te lichten en de visie van Ruud van Herpen te verantwoorden. Ook heb ik waar dit mogelijk nuttig was voor mijn afstudeerproject deelgenomen aan zogenaamde expertsessies voor het team brandveiligheid bij Nieman. Daardoor weet ik wat er speelt binnen het bedrijf en kan ik daar op inspelen bij mijn bedrijfspresentatie, ook zorgt dit ervoor dat men op de hoogte is van de ontwikkelingen omtrent mijn afstudeeronderzoek. Ik merk dat iedereen daarin heel betrokken is en graag wil weten hoe het ervoor staat en wat de resultaten zijn.

Competentieverantwoording

Uit de beoordelingsformulieren blijkt dat ik goed met collega's kan samenwerken. Ik durf om hulp te vragen wanneer ik dit nodig heb en daarbij sta ik open voor feedback. Ik heb er heel bewust voor gezorgd dat ik zo veel mogelijk aanwezig was op kantoor zodat het voor collega's zichtbaar was waar ik aan werkte. Doordat ik goed heb aangegeven wat mijn zwakke punten zijn en waar ik aansturing nodig heb is de samenwerking goed verlopen tussen Nieman en mij. Ik vond het erg fijn dat mijn begeleider Ruud van Herpen er voor open stond om mij af en toe aan te sturen wanneer ik niet goed wist hoe ik verder moest. Als laatste heb ik verantwoordelijkheid getoond over mijn eigen werk en heb ik verantwoordelijkheid genomen voor de gemaakte keuzes gedurende de afstudeerperiode. De beoordelingsformulieren waaruit blijkt dat ik deze competentie heb gehaald op competentieniveau drie is bijgevoegd in Bijlage 1 Beoordelingsformulier samenwerken.

4.8 Zelfverantwoordelijk werken en zelfverantwoordelijk leren (BWK15)

Leerdoel	Ik kan reflecteren op de werkzaamheden binnen mijn onderzoek.
Productindicatoren	Reflectieverslag.
Handelingsindicatoren	Geeft zelfstandig de eigen competentieontwikkeling vorm. Verzamelt competentiebewijzen die de competentieontwikkeling illustreren en presenteert deze gestructureerd d.m.v. portfolio. Kijkt kritisch terug op de wijze waarop zij de beroepstaak heeft uitgevoerd. Neemt verantwoordelijkheid voor haar eigen loopbaan.

Aanpak

Het doel is dat ik mijn eigen werk kritisch kan beoordelen. Ik heb tijdens mijn opleiding veel zelfkennis opgedaan. Vaak merk ik in het proces al dat sommige dingen niet altijd goed gaan, en pas ik hier mijn strategie meteen op aan. Ik wil dit vastleggen, maar wel zodanig dat ik dit gestructureerd weer kan geven.

Reflectie

09-03-2018

Het maken van het reflectieverslag gaat goed, ik werk hier elke vrijdag aan. Dit heb ik expres zo ingepland in mijn agenda zodat ik ook hier gestructureerd aan werk. Ik merkte meteen in de eerste week dat ik hier tijd voor moest inplannen omdat het er anders bij in schiet. Door het steeds in te plannen, zo'n 2 uurtjes per week, houd ik dit goed bij.

06-04-2018

Over het algemeen gaat het reflecteren vrij goed, ik moet hier wel echt tijd voor inplannen en in alle rust terugblikken op de week. Het helpt om soms een aantal trefwoorden tussendoor te noteren zodat ik aan het einde van de week nog weet wat ik wilde vastleggen.

Ik merk ook dat ik mijn eigen leerproces goed in de hand heb. Als ik vastloop in mijn onderzoek vraag ik geregeld om hulp aan mijn begeleider, ik werk wel steeds zelf alles uit en zorg ervoor dat ik het probleem goed kan formuleren voordat ik om hulp vraag.

20-04-2018

Ik merk dat ik tot nu toe goed in staat ben geweest om me te houden aan het plan en aan de afbakening. Ik merk dat ik afgelopen week soms toch wat afdwaalde en bedacht dat het vast mogelijk was om nog meer varianten mee te nemen in het onderzoek. Waar ik eerder precies de planning

volgde, hield ik dit deze week niet zo goed in mijn achterhoofd. Dat is jammer, want ik merk dat mijn productiviteit eronder lijdt.

Verder merk ik dat ik het lastig vindt dat ik er niet meer uren aan besteedt gedurende de week. Aan de ene kant merk ik dat mijn productiviteit stukken hoger ligt als ik 8 uur op een dag aan mijn afstudeeronderzoek werk, maar dat ik soms naar huis ga met het idee dat er nog duizend dingen moeten gebeuren. Vooral nu de deadline in zicht komt heb ik hier meer last van. Tegelijkertijd weet ik dat ik het rustiger aan moet doen. Ik heb het afgelopen half jaar iets te hard van stapel gelopen. Ik wil daarom genoeg “rust” inplannen en niet elke avond nog aan het werk zijn.

Verder let ik sinds deze week veel meer op de structuur in het reflectieverslag. Ik merk dat ik een chaotische werkhouding heb en dat het daarom echt belangrijk is dat ik de tijd neem om structuur aan te brengen. Dit wil ik ook in het afstudeerrapport gaan doen, dat begint ook steeds chaotischer te worden.

04-05-2018
Ik heb besloten dat ik vooral in deze laatste weken meer tijd moet besteden aan het afstudeerrapport. De laatste drie weken zijn aangebroken en het komt er nu op aan dat alles netjes verwoord wordt en de experimenten worden afgerond. Ik merk dat ik er daarom meer tijd in moet steken. Vanaf nu ga ik er ook in het weekend mee bezig. Dit is terug te zien in mijn logboek. Ik behoud wel netjes structuur in het onderzoek, dat gaat eigenlijk erg goed. Ik merk ook dat het prettig werkt en dat ik beter in staat ben om resultaten te analyseren.

13-05-2018
Ik probeer zo veel mogelijk om feedback te vragen bij mijn begeleider, bij mijn docent en bij familieleden. Ik merk wel dat ik in de beginfase om meer feedback had moeten vragen en meer tijd had moeten maken voor overleg. Hier herken ik mijzelf niet zo in, in mijn stages had ik hier nooit moeite mee en vroeg ik vaak om feedback in de vorm van overleg.

Ik denk dat het verschil is dat ik nu ook wel veel mondeling overleg inplande, maar dat de schriftelijke feedback er hierdoor bij in schoot. Dit is iets wat ik in het vervolg anders aan wil pakken. Ik vind wel dat ik het goed heb opgelost door daarna steeds delen van het verslag op te sturen waar ik specifiek om feedback voor een bepaald hoofdstuk of bepaalde paragraaf vroeg.

16-05-2018
Het krijgen van feedback verloopt niet heel soepel. Het inplannen van overlegmomenten gaat probleemloos, maar het opvragen van schriftelijke feedback is moeilijker. Ik moet lang wachten op feedback, waardoor ik niet altijd volgens planning kan werken en gedwongen ben om ’s avonds laat nog feedback door te nemen en/of te schuiven in werkzaamheden. Ik merk dat ik dit vervelend vind, omdat ik met mezelf de afspraak had gemaakt om ’s avonds niet of zo min mogelijk te werken. Aan de andere kant wil ik graag mijn best doen en alles geven om de deadline te halen. Daarom maak ik de keuze om wel ’s avonds nog feedback door te nemen en dit zo snel mogelijk te verwerken nadat ik de feedback ontvangen heb.

Verantwoording competentie
Het sturen van mijn eigen leerproces gaat goed, ik heb veel aan de feedback die ik krijg. Ik ben zelf heel kritisch ten aanzien van mijn eigen werk, het is nooit af of goed genoeg. Ik merk dat ik het

hebben van een partner tijdens het afstuderen soms wel mis, ik kan tussendoor niet altijd sparren over het onderwerp. Dat komt ook terug in het feit dat ik soms vastloop op het feit dat ik pas laat feedback krijg. In het vervolg wil ik daar meer op toezien, dat ik hier duidelijkere afspraken over maak. Gelukkig heb ik veel collega's om mij heen die het leuk vinden om gedachten uit te wisselen en af en toe een frisse blik te werpen op mijn onderzoek. Ik vind dat ik de competentie gehaald heb op niveau 3, er is voor mij gewoon altijd ruimte voor verbetering. Dit verslag dient als bewijslast voor deze competentie.

5 Conclusie

Ik heb ontzettend veel plezier beleefd aan het schrijven van mijn afstudeerscriptie. Hoewel de planning soms in het gedrang kwam, heb ik dit telkens op weten te lossen. Ik ben hierom ook erg blij dat ik in het projectplan het onderwerp heb afgebakend, anders had ik wel een probleem gehad met de planning.

Ik ben vooral gegroeid in het opzetten van een projectplan. Ik vond het vrij gemakkelijk om het projectplan in grote lijnen op te zetten, maar ik vond het lastig om de doelstelling op de vraagstelling aan te laten sluiten. Wat ik ook lastig vond is het schrijven van de methode van onderzoek. Ik was bang dat ik er tijdens het onderzoek achter zou komen dat ik de werkzaamheden onvoldoende had omschreven waardoor dit problemen op zou leveren tijdens het afstudeeronderzoek. Dit bleek echter niet het geval te zijn, ik heb de methode van onderzoek eigenlijk heel goed omschreven.

Daarnaast heb ik geleerd om heel gestructureerd het verslag op te zetten en om formeel en zakelijk te schrijven. Hiervoor heb ik vooral reflectieverslagen geschreven die voornamelijk informeel zijn. Ik vind dat ik wat kritischer had moeten zijn en eerder om schriftelijke feedback had moeten vragen aan mijn afstudeerbegeleider. Dan had ik het onderzoek misschien nog iets uit kunnen breiden wat betreft Voltra en was er geen onduidelijkheid geweest over hoe ik de simulatie had opgezet. Ik vind echter wel dat dit in goed overleg is opgelost en dat ik hierin mijn planning goed heb bewaakt. Aan mijn docentbegeleider heb ik wel tijdig om feedback gevraagd.

Ik had niet verwacht dat ik mijn planning zo goed zou kunnen beheren, omdat ik nooit schriftelijke planningen maak, maar vooral reageer en anticipeer op gebeurtenissen naarmate het proces vordert. Ik merk dat ik veel heb gehad aan deze planning, dit is samen met het projectplan een goede houvast geweest gedurende dit onderzoek.

Verder merk ik dat ik veel meer kennis heb gekregen van normen en voorschriften en internationale regelgeving. Daarnaast heb ik ook veel kennis opgedaan over rekenmodellen en vooral van de risicoverdeling van stochasten. Dit zal mij zeker goed van pas komen in mijn verdere loopbaan als aankomend constructeur. Ik wil graag naast mijn baan een opleiding volgen tot allround constructeur.

BEOORDELINGSFORMULIER SAMENWERKEN (BWK14)

Dit formulier is ingevuld door: Sylvia Brandenburg

Functie: specialist Brandveiligheid

(Onvoldoende = <5,0 Matig = 5,0 – 6,0 Voldoende = 6,5 – 7,5 Goed = > 7,5)

Beoordeling samenwerken (BWK14)		**O**	**M**	**V**	**G**
14.3.1	Maakt concrete afspraken				X
14.3.2.	Houdt zich aan de regels en gemaakte afspraken				X
14.3.3	Is aanwezig gedurende de afgesproken werkuren				X
14.3.5	Staat open voor feedback				X
14.3.8.	Legt verantwoording af over het eigen handelen			X	
14.3.10.	Staat open voor aansturing van anderen			X	
14.3.13	Toont verantwoordelijkheid voor werkzaamheden			X	

Eventuele toelichting:.....

.....

.....

BEOORDELINGSFORMULIER SAMENWERKEN (BWK14)

Dit formulier is ingevuld door: Jelle Willens

Functie: Programmeur

(Onvoldoende = <5,0 Matig = 5,0 – 6,0 Voldoende = 6,5 – 7,5 Goed = > 7,5)

Beoordeling samenwerken (BWK14)		O	M	V	G
14.3.1	Maakt concrete afspraken			X	
14.3.2.	Houdt zich aan de regels en gemaakte afspraken				X
14.3.3	Is aanwezig gedurende de afgesproken werkuren				X
14.3.5	Staat open voor feedback				X
14.3.8.	Legt verantwoording af over het eigen handelen				X
14.3.10.	Staat open voor aansturing van anderen			X	
14.3.13	Toont verantwoordelijkheid voor werkzaamheden				X

Eventuele toelichting: Zeer prettig en nee samen te werken. Je weet duidelijk wat je kunt verwachten.

BEOORDELINGSFORMULIER SAMENWERKEN (BWK14)

Dit formulier is ingevuld door: Maaike van Bussel

Functie: Specialist Brandveiligheid

(Onvoldoende = <5,0 Matig = 5,0 – 6,0 Voldoende = 6,5 – 7,5 Goed = > 7,5)

Beoordeling samenwerken (BWK14)		**O**	**M**	**V**	**G**
14.3.1	Maakt concrete afspraken				X
14.3.2.	Houdt zich aan de regels en gemaakte afspraken				X
14.3.3	Is aanwezig gedurende de afgesproken werkuren				X
14.3.5	Staat open voor feedback				X
14.3.8.	Legt verantwoording af over het eigen handelen				X
14.3.10.	Staat open voor aansturing van anderen				X
14.3.13	Toont verantwoordelijkheid voor werkzaamheden				X

Eventuele toelichting:.....

.....

.....

BEOORDELINGSFORMULIER SAMENWERKEN (BWK14)

Dit formulier is ingevuld door: Ruud van Herpen

Functie: Technisch directeur Nieman RI

(Onvoldoende = <5,0 Matig = 5,0 – 6,0 Voldoende = 6,5 – 7,5 Goed = > 7,5)

Beoordeling samenwerken (BWK14)		O	M	V	G
14.3.1	Maakt concrete afspraken				X
14.3.2.	Houdt zich aan de regels en gemaakte afspraken				X
14.3.3	Is aanwezig gedurende de afgesproken werkuren				X
14.3.5	Staat open voor feedback				X
14.3.8.	Legt verantwoording af over het eigen handelen				X
14.3.10.	Staat open voor aansturing van anderen				X
14.3.13	Toont verantwoordelijkheid voor werkzaamheden				X

Eventuele toelichting: Goede eigen verantwoordelijkheid, ideaal gelopen afstudeerproces.
Ondersteuning alleen nodig op technisch vlak voor modellering en interpretatie van de onderzoeksvragen / resultaten.

BEOORDELINGSFORMULIER SAMENWERKEN (BWK14)

Dit formulier is ingevuld door: Niek Spinkenbower

Functie: Specialist behandelingsteid

(Onvoldoende = <5,0 Matig = 5,0 – 6,0 Voldoende = 6,5 – 7,5 Goed = > 7,5)

Beoordeling samenwerken (BWK14)		O	M	V	G
14.3.1	Maakt concrete afspraken				X
14.3.2.	Houdt zich aan de regels en gemaakte afspraken				X
14.3.3	Is aanwezig gedurende de afgesproken werkuren				X
14.3.5	Staat open voor feedback				X
14.3.8.	Legt verantwoording af over het eigen handelen				X
14.3.10.	Staat open voor aansturing van anderen				X
14.3.13	Toont verantwoordelijkheid voor werkzaamheden				X

Eventuele toelichting:.....

.....

.....

Bijlage II-3 Logboek

datum	activiteit	uren	probleem en oplossingen
-	voorbereiding voor start afstuderen	150	
12-2-2018	contract printen en ondertekenen	1	
12-2-2018	alle programma's installeren op werkplek	3	
12-2-2018	deelvragen formuleren	4	
12-2-2018	overleg Ruud	1	
13-2-2018	gesprekken medewerkers over onderzoek	3	
13-2-2018	doornemen studiehandleiding	2	
13-2-2018	doornemen handleiding Ozone en CFAST	3	
14-2-2018	opzetten projectplan	5	
14-2-2018	uitzoeken geschikte casussen	3	
16-2-2018	krachtenafdracht CLT constructies bestuderen	4	
16-2-2018	artikelen verzamelen, opzetten literatuurstudie.	4	
16-2-2018	mailen De Groot Vroomshoop voor casus, overleg intern hierover	2	Ik kon geen passende casus vinden, dankzij overleg wordt De Groot Vroomshoop nu benaderd of zij hun medewerking willen verlenen.
16-2-2018	stroomschema opzetten, globale planning en planning op productniveau	3	
19-2-2018	uitwerken projectplan	2	
19-2-2018	competenties bijwerken	1	
19-2-2018	NEN 6055 doornemen, oefenproject CFAST en Ozone	5	
20-2-2018	Oefenen met CLT Designer, verdiepen in berekening en rekenmethoden	6	
20-2-2018	1e opzet afstudeerverslag	2	
21-2-2018	projectplan controleren	2	
21-2-2018	peiling inplannen	1	
21-2-2018	verder verdiepen in rekenmethoden	5	

23-2-2018	opzetten reflectieverslag	3
23-2-2018	verbeteren projectplan	1
23-2-2018	uitwerken rekenmethoden afstudeerverslag	4
5-3-2018	OnStage bijwerken	1
5-3-2018	presentatie peiling voorbereiden	3
5-3-2018	lezen documenten Ruud	2
5-3-2018	opstellen statische berekening	2
6-3-2018	overleg Maaike	1
6-3-2018	toelichting begrip betrouwbaarheid	3
6-3-2018	doornemen verbeteringen projectplan	3
6-3-2018	opstellen statische berekening	4
7-3-2018	inleveren projectplan per mail en OnStage	4
7-3-2018	voorbereiden inleveren concept projectplan vrijdag a.s.	2
9-3-2018	inleveren concept projecten incl. reistijd	4
9-3-2018	uitwerken rekenmethoden afstudeerverslag, uitwerken zonemodellen	4
12-3-2018	presentatie peiling	4
12-3-2018	verslaglegging peiling	2
12-3-2018	reflecteren	2
13-3-2018	constructieberekening	8
14-3-2018	literatuurstudie	8
16-3-2018	constructieberekening	8
19-3-2018	literatuuronderzoek inbrandsnelheid	4
19-3-2018	De Groot Vroomshoop bellen	1
19-3-2018	literatuuronderzoek	5

20-3-2018	uitzoeken of permanente vuurlast wel of niet meegenomen moet worden, verder uitzoeken welke randcondities wel/niet meegenomen kunnen worden	7	Ik heb de permanente vuurbelasting niet meegenomen, terwijl ik dacht dat dit wel moest. Nu weet ik zeker dat het niet hoeft.
20-3-2018	bespreken resultaten Ozone Ruud	1	
21-3-2018	maken simulaties Ozone	8	
23-3-2018	feedback Ruud verwerken	3	
23-3-2018	reflecteren	2	
23-3-2018	mailen de groot vroomshoop tav fout in berekening	1	
23-3-2018	maken simulaties Ozone	3	
26-3-2018	uitwerken stochastische randcondities verslag, uitwerken grafieken Ozone	7	
26-3-2018	afspraak Jan de Haan: bespreken projectplan	1	
27-3-2018	bespreken feedback projectplan Ruud	1	
27-3-2018	contact opnemen met leveranciers, De Groot Vroomshoop inlichten over resultaten statische berekening	1	Ik heb een fout ontdekt in de statische berekening van de leverancier, ik ga contact opnemen met mijn contactpersoon om dit toe te lichten.
27-3-2018	projectplan aanpassen en feedback doornemen	3	
27-3-2018	equivalente brandduur bepalen	4	
28-3-2018	kennismakingsgesprek inplannen	1	
28-3-2018	voorbereiden mail SolidTimber, definitief maken statische berekening en mailen	4	
28-3-2018	reflecteren	2	
28-3-2018	projectplan aanpassen	2	
3-4-2018	probabilistische benadering van de equivalente brandduur uitwerken en lesbrieven statistiek doornemen	8	
4-4-2018	gesprek met leverancier PU-lijm	2	Ik zocht contact met de leverancier, deze meneer in kwestie wilde langskomen om het een en ander te vertellen in een persoonlijk gesprek.

4-4-2018	gesprek met leverancier PU-lijm verwerken, informatie valideren	3	Het blijkt dat de verklaring die geleverd kan worden om de veiligheid van de lijm bij brand aan te tonen niet in overeenstemming is met andere publicaties van dezelfde professor.
4-4-2018	vragen opstellen voor Ruud ter voorbereiding	1	
6-4-2018	herschrijven verslag	3	
6-4-2018	Reflecteren	2	
6-4-2018	uitwerken equivalente brandduur en probabilistische benadering afstudeerverslag	3	
9-4-2018	bestuderen voltra, invoeren basis berekening	5	Ik heb Niek om hulp gevraagd bij het maken van een simpele voltra berekening wanneer
9-4-2018	kennismakingsgesprek Jan de Haan en Ruud	2	
10-4-2018	verwerken feedback lezer, bellen voor overleg	3	Ik begreep de feedback niet helemaal, daarom heb ik gebeld voor extra toelichting.
10-4-2018	bespreken voltra berekening met Ruud, uitwerken berekening	4	Ik twijfel over hoe ik de berekening het beste volledig kan maken. Ik moet eerst de verkoling van het hout invoeren, daarna het bezwijken van de lijm. Als laatste kan ik dan proberen het bezwijken van het hout weer te geven.
11-4-2018	aanpassen projectplan	2	Ik heb het probleem aangepast, ik heb dit ter bevestiging naar Jan de Haan verstuurd.
11-4-2018	controleren voltra berekening	1	De berekeningen kloppen tot nu toe, alleen het bezwijken van het hout moet nog toegevoegd worden.
11-4-2018	opstellen interview	3	de feedback die ik gekregen heb 10-4-2018 verwerk ik door een vragenlijst op te zetten voor leveranciers/constructeurs.
11-4-2018	bijwerken logboek	1	
11-4-2018	doornemen documenten Peter Niemz	1	Ik heb Peter Niemz benaderd voor meer informatie over PU-lijm omdat de informatievoorziening niet toereikend is.
11-4-2018	verslaglegging kennismakingsgesprek 9-4-2018	1	
11-4-2018	mailen JVZ en Henkel	1	
13-4-2018	bespreken en uitwerken enquête/vragenlijst	3	Ik heb de vragen doorgenomen met Maaike en heb ze daarna ter controle verstuurd naar Ruud. Ik heb alvast de begeleidende mail klaargezet.

13-4-2018	Voltra berekening bewerken	3	Ik probeer nu het delamineren te simuleren in Voltra door het hout te laten bezwijken. Dit doe ik door de geleiding te laten toenemen wanneer de lijmlaag bezwijkt, dus op t=1720 s. Deze resultaten waren niet helemaal betrouwbaar, het werkelijke bezwijkpunt volgens Voltra vond 16 minuten later plaats dan ingevoerd.
13-4-2018	projectplan aanpassen en printen	1	Ik wil bekijken of het probleem nu goed aansluit en of ik onderzoeksvragen nog aan moet passen op de enquête.
13-4-2018	reflecteren	2	mijn reflectieverslag moet anders worden opgezet zodat het inzichtelijk wordt hoe ik aan een competentie heb gewerkt en hoe ik mijn ontwikkeling heb vastgelegd.
16-4-2018	voltra berekening controleren	1	de houtconstructie bezwijkt nog niet op het aangegeven tijdstip. Ik moet dit bespreken.
16-4-2018	voltra berekening bespreken met Ruud	1	de berekening klopt wel, maar de eerste laag van het CLT reageert te traag. Misschien als ik de warmtecapaciteit en de thermische geleiding nog extremer maak dat de respons dan sneller verloopt.
16-4-2018	aanpassen projectplan	1	
16-4-2018	herschrijven afstudeerverslag	2	ik heb het verslag kritisch doorgenomen naar aanleiding van het overleg 20 april.
16-4-2018	bespreken, aanpassen en versturen van de enquête	3	
16-4-2018	versturen projectplan en afstudeerverslag	1	
16-4-2018	bestuderen uitvoer voltra, gegevens vergelijken met het onderzoek "Experimental analysis of cross-laminated timber"	2	
17-4-2018	voltra berekening aanpassen, meetpunten toevoegen op 1 mm.	5	niet goed liggen. Daarom voeg ik wat meetpunten toe voor de zekerheid. Dit zal hopelijk de traagheid van het CLT verklaren.
17-4-2018	Statische berekening aanpassen	2	
17-4-2018	Ontvangen documenten Andreas Golger doornemen	3	
18-4-2018	Voltra berekening opnieuw starten	3	de voltra berekening rekende niet goed omdat de meetpunten vermoedelijk verkeerd liggen. Dit los ik op door het model helemaal opnieuw in te voeren. Voltra kan wijzigingen niet altijd goed verwerken.
18-4-2018	toetsing gereduceerde doorsnede voorbereiden	3	In excel heb ik alvast geautomatiseerd dat bij een gereduceerde doorsnede de gevolgen opnieuw berekend worden.

18-4-2018	mail bijwerken	1	
18-4-2018	bepalen stochatische randcondities voltra	2	
18-4-2018	uitwerken voltra berekening voor afstudeerverslag	3	
19-4-2018	uitwerken stochastische randcondities Voltra	2	
19-4-2018	reflectieverslag	2	
19-4-2018	overleg Jan de Haan	1	
19-4-2018	uitwerken verslag overleg	1	
19-4-2018	OnStage dossier bijwerken	1	
19-4-2018	herschrijven verslag	2	
23-4-2018	bespreken en aanpassen stochastische randcondities	4	de variaties van de randcondities moeten nog worden vastgelegd.
23-4-2018	aanpassen voltra berekening	3	de voltra berekening rekent nog niet met het verlies van massa. Dit kan worden aangepast.
23-4-2018	uitwerken afstudeeronderzoek	2	
23-4-2018	vastleggen bronnen	1	
24-4-2018	voltra analyses maken en resultaten verwerken	8	
24-4-2018	afstudeerverslag herschrijven	3	
25-4-2018	voltra analyses maken en resultaten verwerken	4	
25-4-2018	overleg Jan de Haan en verslaglegging	3	
25-4-2018	voorbereiden overleg	1	
25-4-2018	toetsing gereduceerde doorsnede voorbereiden	4	
27-4-2018	simulaties variaties voltra	8	
28-4-2018	reflectieverslag	2	
29-4-2018	simulaties variaties voltra, bijlagen uitwerken	3	de laatste simulatie moet opnieuw vanwege een invoerfoutje. In het vervolg moet ik beter vastleggen en de tijd nemen voor het invoeren van gegevens.
29-4-2018	herschrijven verslag n.a.v. overleg Jan de Haan	5	
30-4-2018	herschrijven verslag n.a.v. overleg Jan de Haan	5	
30-4-2018	OnStage portfolio bijwerken	1	
30-4-2018	Resultaten Voltra analyseren	2	
1-5-2018	Resultaten Voltra analyseren en resultaten verwerken	8	
1-5-2018	literatuuronderzoek	2	
2-5-2018	resultaten Voltra verwerken afstudeerverslag en bijlage	8	de tabellen vond ik niet overzichtelijk, die heb ik aangepast.
2-5-2018	resultaten voltra in statische berekening verwerken	3	
4-5-2018	Statische berekening controleren	4	
4-5-2018	overleg Ruud	2	

4-5-2018	aanpassing Voltra berekening	6	de grafieken uit voltra lijken traag te reageren door een beperking in Voltra. Controleren met een aanpassing of dit te verhelpen is
5-5-2018	uitwerken interviews en voltra	8	
6-5-2018	werken aan afstudeerverslag, mensen benaderen voor nakijken, literatuurstudie om resultaten uit voltra te valideren	4	
7-5-2018	Voltra berekening uitwerken	8	
7-5-2018	Overleg Ruud over Voltra	1	De resultaten in Voltra zijn nog niet zoals we die hadden verwacht, we hebben gekeken naar een laatste mogelijke oplossing.
7-5-2018	mailen Bas Boellaard constructieberekening gereduceerde doorsnede	1	Ik heb nog een vraag over met welke belastingcombinatie gerekend mag worden voor de toetsing van de gereduceerde doorsnede
7-5-2018	uitwerken resultaten enquête-onderzoek in bijlage en verslag	4	
8-5-2018	Definitieve voltra berekeningen afmaken, resultaten verwerken	5	De oplossing is om met een relatief hoge bezwijktemperatuur te werken zodat voltra de iteraties af kan maken, anders wordt de simulatie te onnauwkeurig. Kanttekening is dat de inbrandsnelheden aan de lage kant zijn.
8-5-2018	Afstudeerverslag herschrijven	3	
9-5-2018	gereduceerde doorsnede berekenen	5	
9-5-2018	resultaten berekening gereduceerde doorsnede schrijven	3	
9-5-2018	feedback ruud verwerken resultaten voltra	3	
10-5-2018	resultaten berekening gereduceerde doorsnede schrijven	2	
10-5-2018	feedback ruud verwerken, handmatig aanname doen lagere bezwijktemperaturen in Voltra	8	
11-5-2018	bijwerken bijlagen	8	
12-5-2018	bijwerken mail	1	
12-5-2018	tekst resultaten statische berekening herschrijven	4	
12-5-2018	doornemen verslag, waar nodig verbeteringen aangeven	2	
13-5-2018	verbeteringen verwerken in verslag	4	
13-5-2018	Reflectieverslag verder uitwerken	6	
14-5-2018	deelconclusies uitschrijven plus conclusie schrijven	8	
14-5-2018	mail checken en overleg	1	
15-5-2018	conclusies herschrijven en afmaken	6	de conclusies beantwoorden nog niet concreet de onderzoeksvragen.

15-5-2018	bronvermelding bijwerken	1	
15-5-2018	herschrijven verslag	4	
16-5-2018	mail bijwerken, mails versturen	2	
16-5-2018	Reflectieverslag	8	
16-5-2018	Afstudeerverslag herschrijven	2	
17-5-2018	Voorblad ontwerpen	3	
18-5-2018	Feedback doornemen en bespreken met Jan de Haan	3	
18-5-2018	herschrijven conclusie en resultaten toetsing gereduceerde doorsnede	2	Ik heb een foutje gemaakt bij de toetsing onder gebruikscondities. Dit heb ik aangepast.
18-5-2018	overleg Ruud van Herpen over verslag	1	
18-5-2018	aanpassen verslag aan de hand van gekregen feedback	5	
19-5-2018	feedback verwerken in verslag	3	
19-5-2018	voorblad ontwerpen	2	
20-5-2018	feedback Ruud verwerken in verslag hoofdstuk 1 t/m 5	8	
21-5-2018	feedback Ruud verwerken in verslag hoofdstuk 5 t/m 8	8	
22-5-2018	mail bijwerken	1	
22-5-2018	samenvatting schrijven	5	
22-5-2018	planning bijwerken	3	
22-5-2018	voorblad ontwerpen	1	
23-5-2018	voorwoord schrijven	4	
23-5-2018	leeswijzer toevoegen, overzicht bijlagen maken	3	
23-5-2018	bijlagen aanmaken	4	
24-5-2018	feedback Ruud van Herpen verwerken	3	laatste feedback van Ruud verwerken op de conclusies
25-5-2018	probabilistische benadering thermische respons uitwerken en overleg	4	
25-5-2018	bijlagen printen	3	
25-5-2018	verslag herschrijven	2	
TOTAAL:		**715**	

Bijlage II-4 Aangepaste planning

Dragende kruislaaghout wandconstructies en brandveiligheid	week 7				week 8				week 10				week 11				week 12				week 13			
	ma	di	wo	vr	ma	di	wo	vr	ma	di	wo	vr	ma	di	wo	vr	ma	di	wo	vr	ma	di	wo	vr
PROJECTPLAN																								
concept projectplan																								
definitief projectplan																								
planning																								
competentieontwikkeling																								
METHODE VAN ONDERZOEK																								
uitgangspunten en randvoorwaarden																								
LITERATUURSTUDIE																								
constructieve eigenschappen																								
rekenmethode																								
brandgedrag																								
eisen conform Bouwbesluit 2012																								
enquête onderzoek																								
CASE-STUDY																								
rekenresultaten draagvermogen																								
statische berekening																								
rekenresultaten Ozone																								
rekenresultaten Equivalente brandduur																								
rekenresulaten Probabilistiche benadering																								
rekenresultaten Voltra																								
ANALYSE																								
rekenresultaten afname draagvermogen																								
CONCLUSIES																								
DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN																								
REFLECTIEVERSLAG																								

= verwachte werkzaamheden

= verplaatsing werkzaamheden

= uitloop op planning

= deadline

Dragende kruislaaghout wandconstructies en brandveiligheid	week 14				week 15				week 16				week 17				week 18				week 19			
	ma	di	wo	vr	ma	di	wo	vr	ma	di	wo	vr	ma	di	wo	vr	ma	di	wo	vr	ma	di	wo	vr
PROJECTPLAN																								
concept projectplan																								
definitief projectplan																								
planning																								
competentieontwikkeling																								
METHODE VAN ONDERZOEK																								
uitgangspunten en randvoorwaarden																								
LITERATUURSTUDIE																								
constructieve eigenschappen																								
rekenmethode																								
brandgedrag																								
eisen conform Bouwbesluit 2012																								
enquête onderzoek																								
CASE-STUDY																								
rekenresultaten draagvermogen																								
statische berekening																								
rekenresultaten Ozone																								
rekenresultaten Equivalente brandduur																								
rekenresulaten Probabilistiche benadering																								
rekenresultaten Voltra																								
ANALYSE																								
rekenresultaten afname draagvermogen																								
CONCLUSIES																								
DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN																								
REFLECTIEVERSLAG																								

= verwachte werkzaamheden

= verplaatsing werkzaamheden

= uitloop op planning

= deadline

Dragende kruislaaghout wandconstructies en brandveiligheid	week 20				week 21				week 22			
	ma	di	wo	vr	ma	di	wo	vr	ma	di	wo	vr
PROJECTPLAN												
concept projectplan												
definitief projectplan												
planning												
competentieontwikkeling												
METHODE VAN ONDERZOEK												
uitgangspunten en randvoorwaarden												
LITERATUURSTUDIE												
constructieve eigenschappen												
rekenmethode												
brandgedrag												
eisen conform Bouwbesluit 2012												
CASE-STUDY												
rekenresultaten draagvermogen												
statische berekening												
rekenresultaten Ozone												
rekenresultaten Equivalente brandduur												
rekenresulaten Probabilistiche benadering												
rekenresultaten Voltra												
ANALYSE												
rekenresultaten afname draagvermogen												
CONCLUSIES												
DISCUSSIE EN AANBEVELINGEN												
REFLECTIEVERSLAG												

= verwachte werkzaamheden

= verplaatsing werkzaamheden

= uitloop op planning

= deadline

Coaching docentbegeleider Jan de Haan

Betreft:	Kennismakingsgesprek
Afspraak met:	Ruud van Herpen & Jan de Haan
Datum:	09-04-2018
Locatie:	Nieman Zwolle

Jan de Haan wilde graag kennis maken met Ruud van Herpen tijdens het afstuderen zodat het een en ander afgestemd kan worden. Dit is prettig voordat de verdediging van het afstudeeronderzoek plaatsvindt. Het afstudeeronderwerp kwam ook aan bod, er werd nog gevraagd waarom ik alleen maar verticale elementen onderzoek. Dit is ter afbakening van het onderzoek. Het onderzoek moet niet te groot worden.

Het projectplan is wat Jan de Haan en Ruud van Herpen betreft goedgekeurd. Het zal nog worden voorgelegd aan de lezer, als die ook akkoord is kan het definitieve plan ingeleverd worden in OnStage. Ruud gaf nog aan dat er tot nu toe al verassende resultaten naar voren kwamen uit het onderzoek en dat betrokken partijen ook interesse tonen in het onderzoek.

Daarnaast is er een afspraak gemaakt voor het bespreken van het verslag met Jan de Haan. Er is afgesproken dat elke 2 weken op vrijdag er een overleg plaatsvindt. Ik zal hiervoor steeds op de maandag voorafgaand aan het overleg het afstudeerverslag versturen per mail.

Naast Ruud van Herpen is er ook gesproken met een paar medewerkers, namelijk Maaike van Bussel – van Amersfoort en Niek Spijkerboer. Zij zijn, afgezien van Ruud, mijn aanspreekpunten wanneer ik vragen heb aangaande mijn afstudeeronderzoek.

Coaching Jan de Haan

Betreft:	Overlegmoment
Afspraak met:	Jan de Haan
Datum:	20-04-2018
Locatie:	Hanzehogeschool Groningen

In navolging van de gemaakte afspraken tijdens het vorige overlegmoment is er een overlegmoment ingepland. Dit overleg ging nog even kort over het projectplan en over het beoordelingsformulier. Ik heb nog één wijziging aangebracht in het projectplan, namelijk het probleem.

De handtekeningen zijn netjes verwerkt. Verder werd er nog besproken dat het een goed idee zou zijn om de simulaties in Voltra te verifiëren met een warmtestroomberekening met de hand.

Er is afgesproken om voor de meivakantie nog een feedback moment te houden waarbij het verslag inhoudelijk besproken zal worden.

Coaching Jan de Haan

Betreft:	Overlegmoment
Afspraak met:	Jan de Haan
Datum:	25-04-2018
Locatie:	Hanzehogeschool Groningen

In het overleg van vandaag zijn inhoudelijke zaken omtrent het afstudeeronderzoek besproken. Hierbij zijn een tweetal vragen gesteld. De schematische weergave van een CLT houtconstructie riep vragen op vanwege de horizontale richting van het afgebeelde element. Op deze manier is het voor de lezer niet duidelijk dat het over verticale elementen gaat.

Verder is het de vraag of de permanente vuurbelasting bij de variabele vuurbelasting opgeteld dient te worden als er overgedimensioneerd wordt op brand. De gedachte hierachter is dat hout een brandbaar materiaal is en bij draagt aan de ontwikkeling van brand. Enerzijds wordt er een beschermlaag gecreëerd bij brand, anderzijds draagt het brandbare materiaal dat dient als bescherming wel bij aan de ontwikkeling van die brand in de brandruimte.

De lijmsoorten die besproken worden in het afstudeeronderzoek kunnen het beste overzichtelijk worden geïllustreerd met een tabel, zodat de lezer ook weet wat er bedoeld wordt.

Daarnaast zijn er een aantal aandachtspunten besproken wat betreft taalgebruik, bronvermelding, bronverwijzing. De algehele tip is dat ik specifiek ben, officiële namen en titels gebruik, en consequent ben wat betreft de terminologie.

Er zal worden gezocht naar een antwoord op de gestelde vragen, verder zal het voorlopige afstudeeronderzoek worden aangepast en waar nodig herschrijven naar aanleiding van de gemaakte opmerkingen. Daarna zal het aangepaste voorlopige afstudeeronderzoek worden verstuurd voor verdere controle.

ACADEMIE VOOR

ARCHITECTUUR, BOUWKUNDE & CIVIELE TECHNIEK

Toestemmingsformulier tot opname en beschikbaarstelling afstudeerscriptie in een digitale kennisbank

Hanzehogeschool Groningen
University of Applied Sciences

De Hanzehogeschool heeft een digitale kennisbank opgezet waarin de Hanzehogeschool scripties die door studenten in het kader van hun studie aan de Hanzehogeschool hebben geschreven, toegankelijk worden gemaakt voor derden. Hierdoor wordt het proces van creatie, verwerving en deling van kennis binnen het onderwijs mogelijk gemaakt en ondersteund.

De in de kennisbank opgenomen scripties zullen gedurende minimaal zes jaar in de kennisbank worden opgenomen en toegankelijk gemaakt voor potentiële gebruikers binnen en buiten de Hogeschool. Om opname en beschikbaarstelling mogelijk te maken dient dit toestemmingsformulier te worden ingevuld en ondertekend.

Door opname en beschikbaarstelling in de digitale kennisbank wordt het auteursrecht niet overgedragen.

Indien je toestemming wilt geven, vul je naam en de titel van de afstudeerscriptie hieronder in.

Rechten en plichten student indien de afstudeerscriptie wordt gepubliceerd:

Paula Zee verleent aan de Hanzehogeschool kosteloos de niet-exclusieve toestemming om zijn afstudeerscriptie getiteld:

Verticaal dragend verlijmd kruislaaghout en brandveiligheid

op te nemen in de digitale kennisbank en om deze afstudeerscriptie beschikbaar te stellen aan gebruikers binnen en buiten de Hanzehogeschool. Hierdoor mogen gebruikers de afstudeerscriptie geheel of gedeeltelijk kopiëren en bewerken. Gebruikers mogen dit alleen doen en de resultaten publiceren indien dit gebeurt voor eigen studie en/of onderwijs- en onderzoeksdoeleinden en onder de vermelding van de naam van de student en de vindplaats van de afstudeerscriptie.
De toestemming om de afstudeerscriptie aan derden beschikbaar te stellen gaat in vanaf het moment dat hiervoor getekend is.

De student verklaart dat de stagebiedende organisatie dan wel de opdrachtgever van de afstudeerscriptie geen bezwaar heeft tegen opname en beschikbaarstelling van de afstudeerscriptie in de digitale kennisbank.
Verder verklaart de student dat hij of zij toestemming heeft van de rechthebbende van materiaal dat de student niet zelf gemaakt heeft om dit materiaal als onderdeel van de afstudeerscriptie op te nemen in de digitale kennisbank en aan derden binnen en buiten de Hanzehogeschool beschikbaar te stellen.

Indien je geen toestemming geeft omdat de afstudeerscriptie vertrouwelijk is, kun je dat hieronder aankruisen:

- **De afstudeerscriptie is vertrouwelijk en mag niet worden gepubliceerd:** ☐

Rechten en plichten gebruiker indien de afstudeerscriptie word gepubliceerd:

Door dit toestemmingsformulier mag een gebruiker van de digitale kennisbank de afstudeerscriptie geheel of gedeeltelijk kopiëren en/of geheel of gedeeltelijk bewerken. Gebruikers mogen dit alleen doen en de resultaten publiceren indien dit gebeurt voor eigen studie en/of onderwijs- en onderzoeksdoeleinden en onder de vermelding van de naam van de student en de vindplaats van de afstudeerscriptie.

Hieronder tekenen door alle studenten van de afstudeergroep bij al dan niet verlenen van toestemming voor het publiceren van het afstudeerwerk:

Datum 28-05-2018

Naam student	Paula Zee	Opleiding	Bouwkunde
Studentnummer	329605	Afstudeerrichting	Constructief Ontwerpen
		E-mailadres	p.c.zee@st.hanze.nl

Naam student ……	Opleiding ……
Studentnummer ……	Afstudeerrichting ……
	E-mailadres ……

Naam student ……	Opleiding ……
Studentnummer ……	Afstudeerrichting ……
	E-mailadres ……

Dit formulier graag uploaden in OnStage bij de aangegeven stap.
Het formulier hoeft niet geprint te worden.