

Stapelen met houtskeletbouw

Berekenen en modelleren van de schrankstijfheid van
meerlaagse houtskeletbouw.

Afstudeerpresentatie Tunis Hoekstra – 24 april 2012



© Han van Zwieten Architecten

Programma

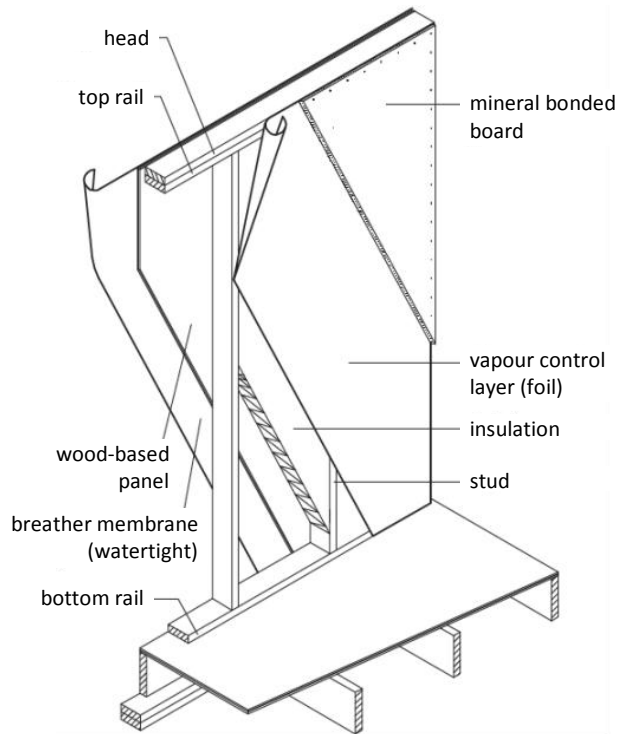
- Presentatie
 - Aanleiding
 - Werkwijze
 - Resultaten

25 minuten
- Vragen  15 minuten
- Beoordeling  15 minuten
- Afsluiting

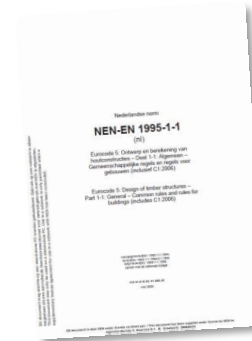
Resultaat van het afstudeerwerk

Analytische berekeningswijze en modelleringsaanpak

Het HSB wandelement:

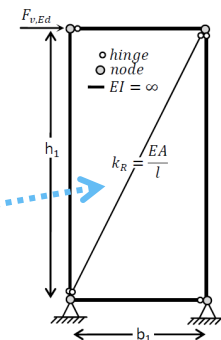
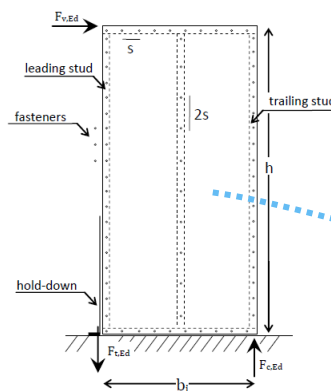


- Sterkte
- Stijfheid
- Stabiliteit



Eurocode 5
(NEN-EN 1995)

Berekeningswijze & aanpak modellering:



Stapelen met houtskeletbouw

Berekenen en modelleren van de schrankstijfheid van
meerlaagse houtskeletbouw.

Afstudeerpresentatie Tunis Hoekstra – 24 april 2012



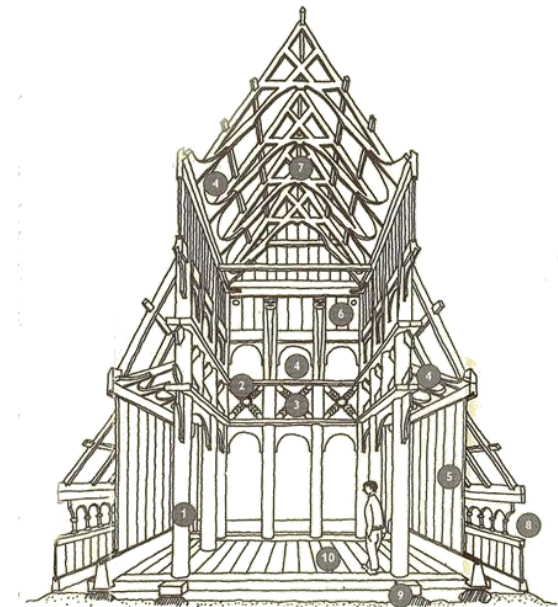
© Han van Zwieten Architecten

Aanleiding tot het onderzoek

Historische houtconstructies



Noors staafkerkje "Borgund"
(± 1180)
(Borgund, Noorwegen)



Aanleiding tot het onderzoek

Historische houtconstructies



Vakwerkhuisen

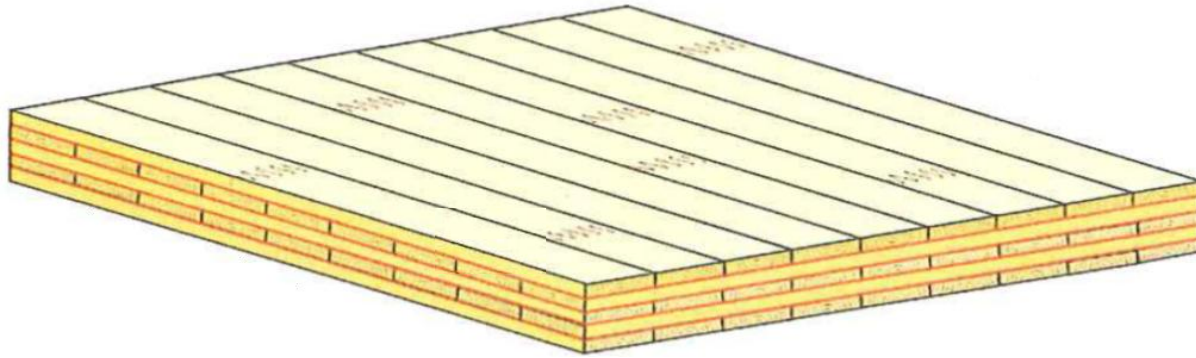
Aanleiding tot het onderzoek

Moderne houtconstructies

- 3 constructie typen voor gebouwen in hout
 - Houtskeletbouw (HSB)
 - Kruislaaghout (CLT)
 - Kolom-ligger structuren

Aanleiding tot het onderzoek

Kruislaaghout (CLT)



Aanleiding tot het onderzoek

Kruislaaghout (CLT)



Aanleiding tot het onderzoek

Kruislaaghout (CLT)



"Stadthaus"
Londen, UK
(©Techniker)

Aanleiding tot het onderzoek

Kolom-ligger draagstructuur



Huis "De Wiers"
(©Oliver Schuh)

Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – constructiewijze



Noord-Amerikaanse
bouwwijze

Aanleiding tot het onderzoek

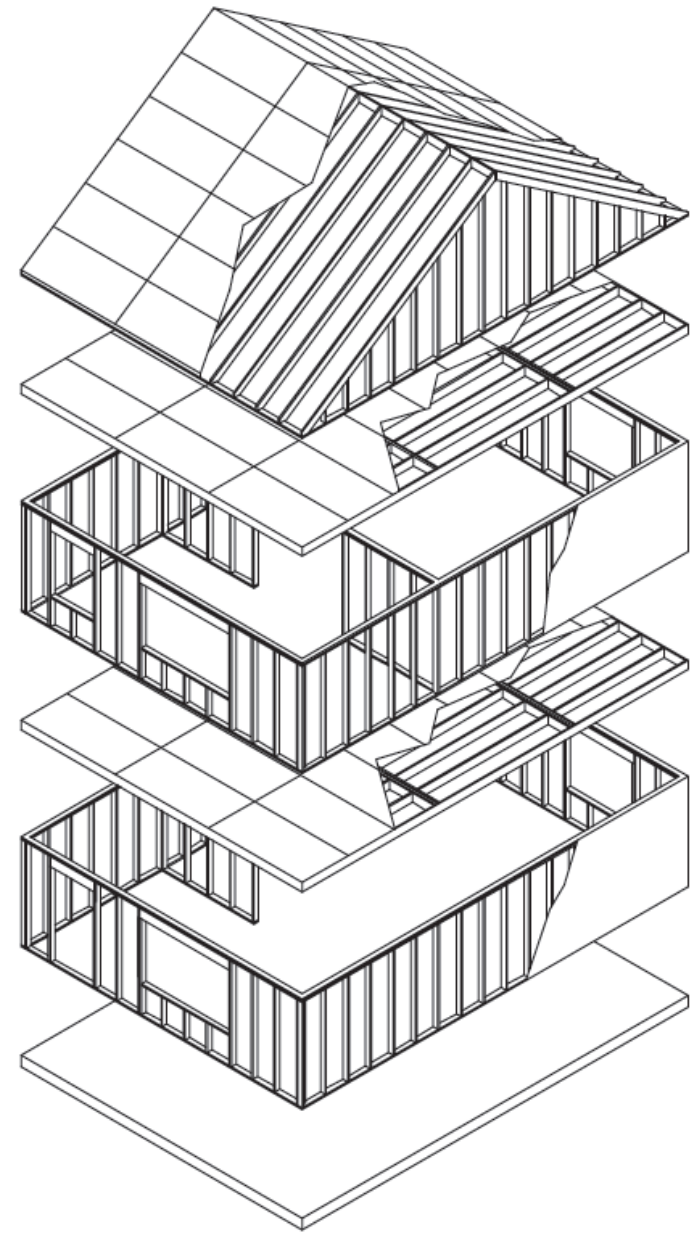
Houtskeletbouw – constructiewijze



Nederlandse bouwwijze

Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – constructiewijze



Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – gerealiseerde projecten



"Ecodus" (Delft, Nederland, 1992)



"Lage Korn" (Buren, Nederland, 2009)



(Aalsmeer, Nederland, 2000)

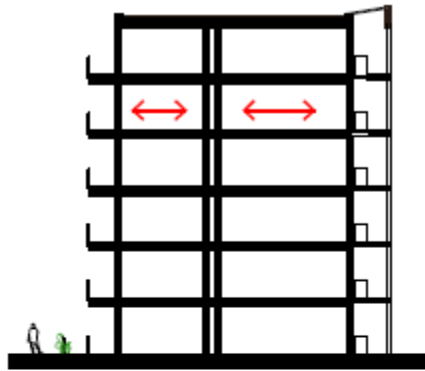
Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – voordelen

- Knelpunten in het verleden
- Groeiende belangstelling
 - Snel en schoon bouwen
 - Energetische prestaties en duurzaamheid
 - Kwaliteitscontrole en prefabricage
- Marktperspectief

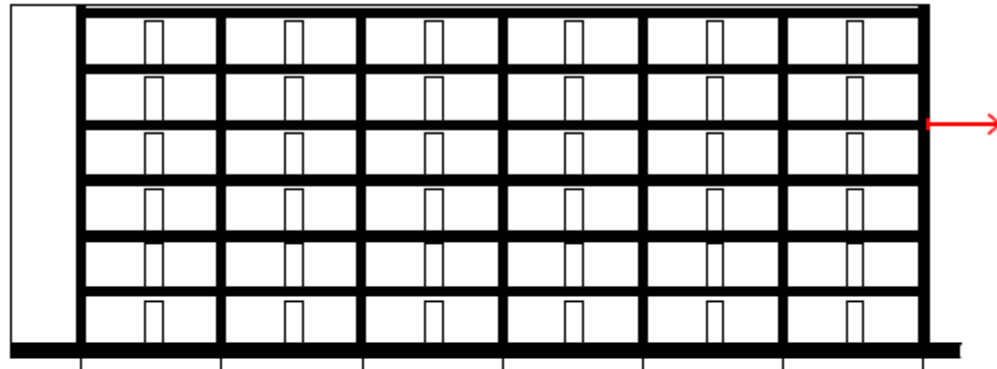
Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – concept zeslaagse HSB

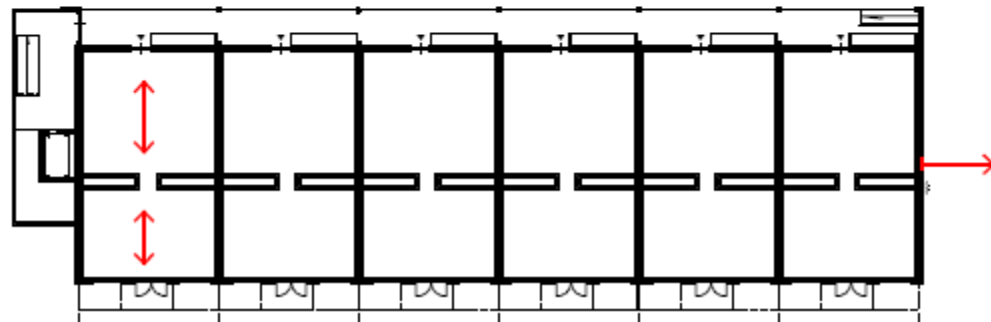


UITGANGSPUNTEN CONCEPT WOONGEBOUW

36 woningen in totaal
6 lagen; 6 woningen per laag
houtskeletbouw constructie



principe
doorsneden



principe
plattegrond

Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – concept zeslaagse HSB



“Stapelen met HSB”

Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – gerealiseerde projecten



“Koninginnehof”
(Zuidwolde, Nederland, 2011)



Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – voorbeeld



“The Reflection Building”
(North Woolwich, Londen, UK, 2002)

Aanleiding tot het onderzoek

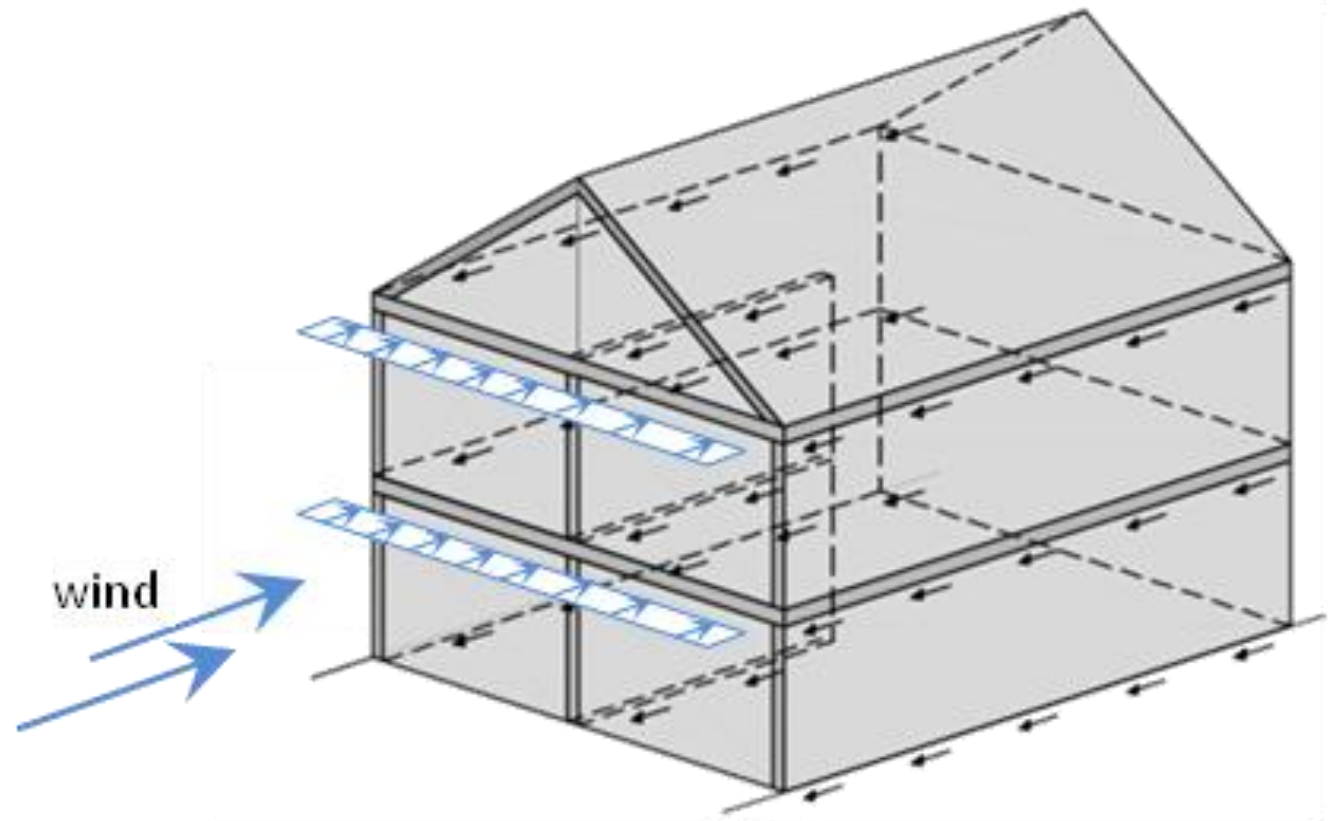
Houtskeletbouw – voorbeeld



"Casa Montarina"
(Lugano, Zwitserland, 2007)

Aanleiding tot het onderzoek

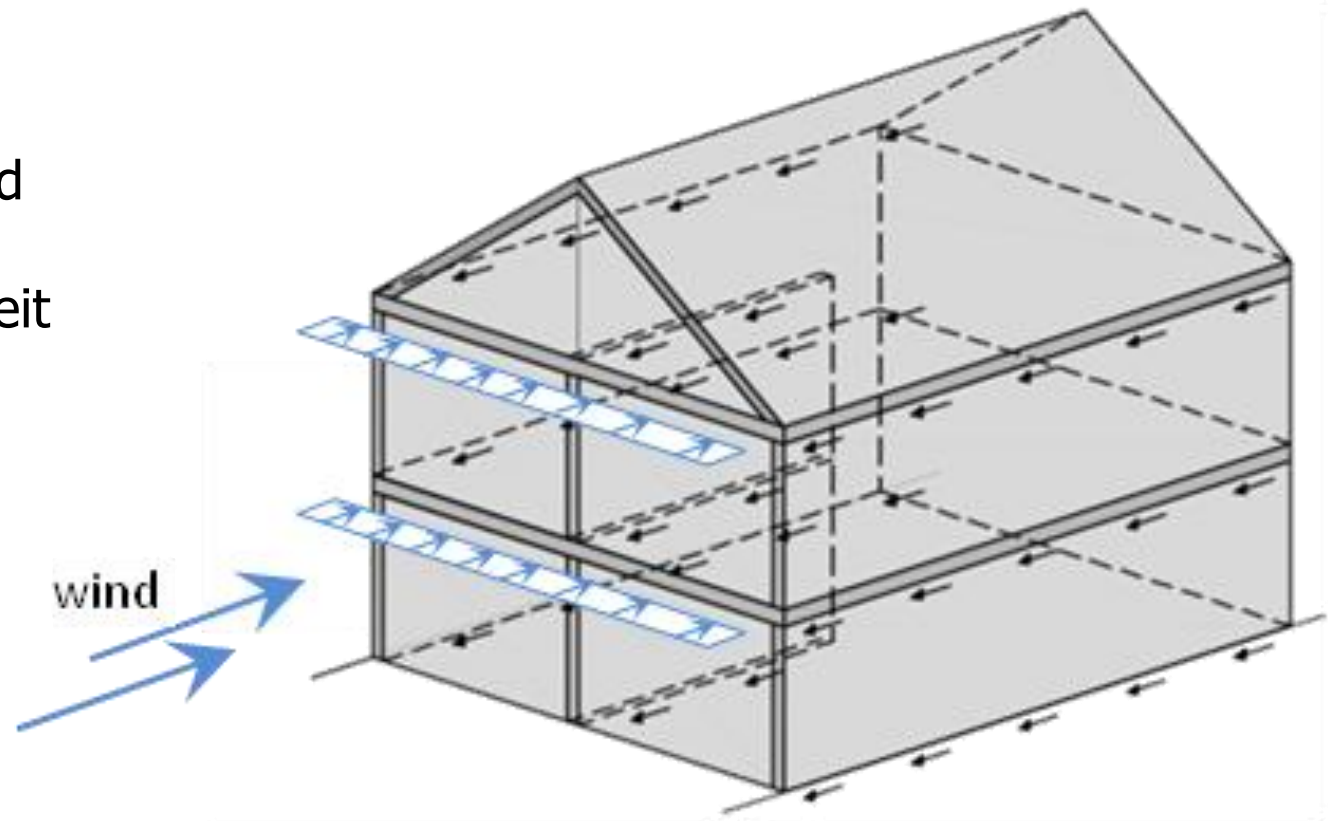
Houtskeletbouw – constructief ontwerp



Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – constructief ontwerp

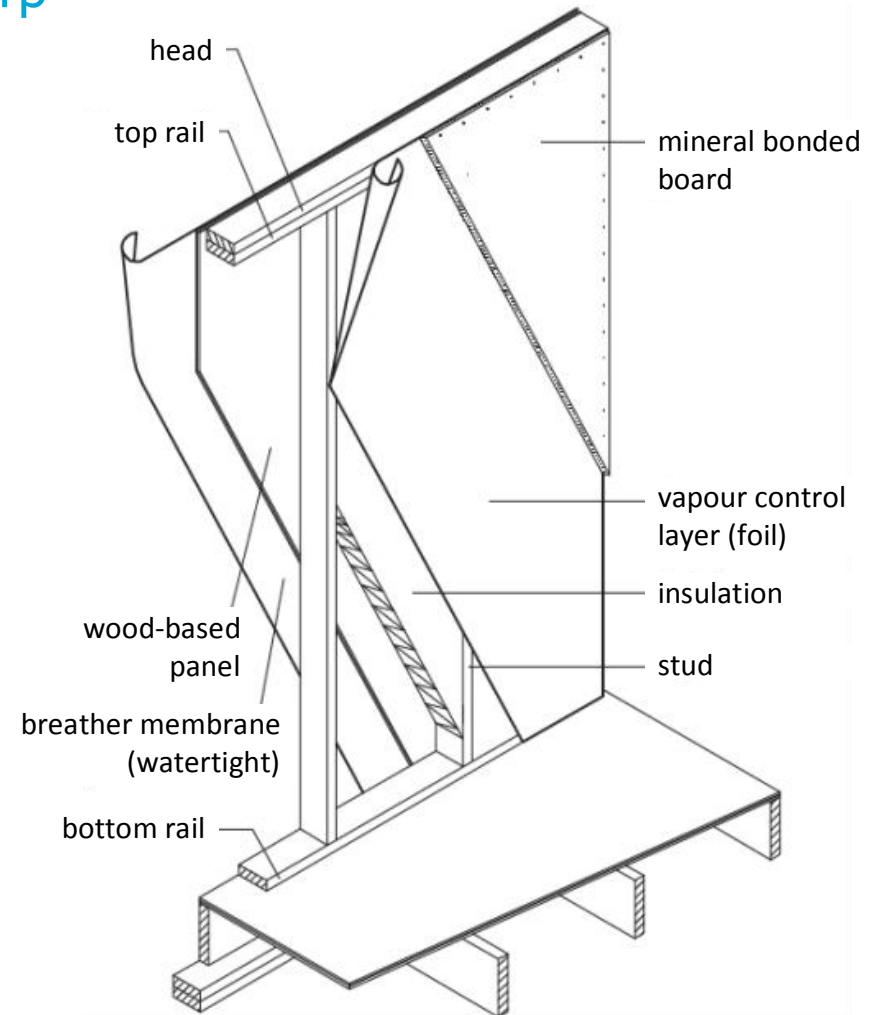
- Sterkte
- Stijfheid
- Stabiliteit



Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – constructief ontwerp

- Sterkte
- Stijfheid
- Stabiliteit

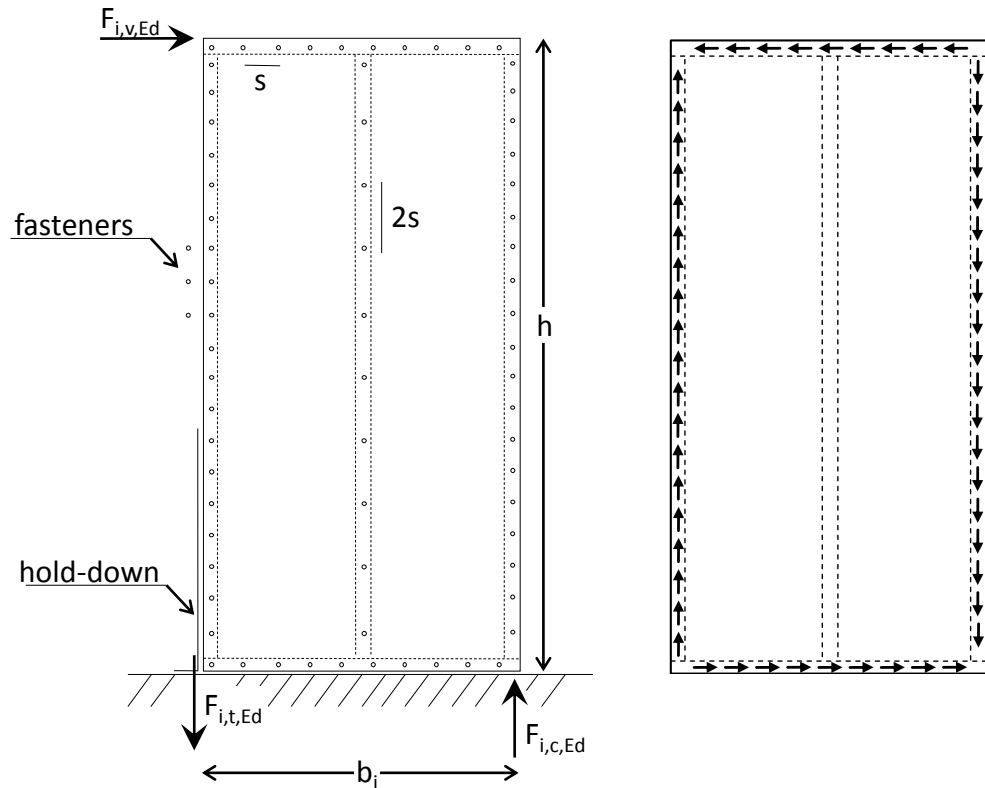


Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – toetsen van het constructief ontwerp

- Sterkte
- Stijfheid
- Stabiliteit

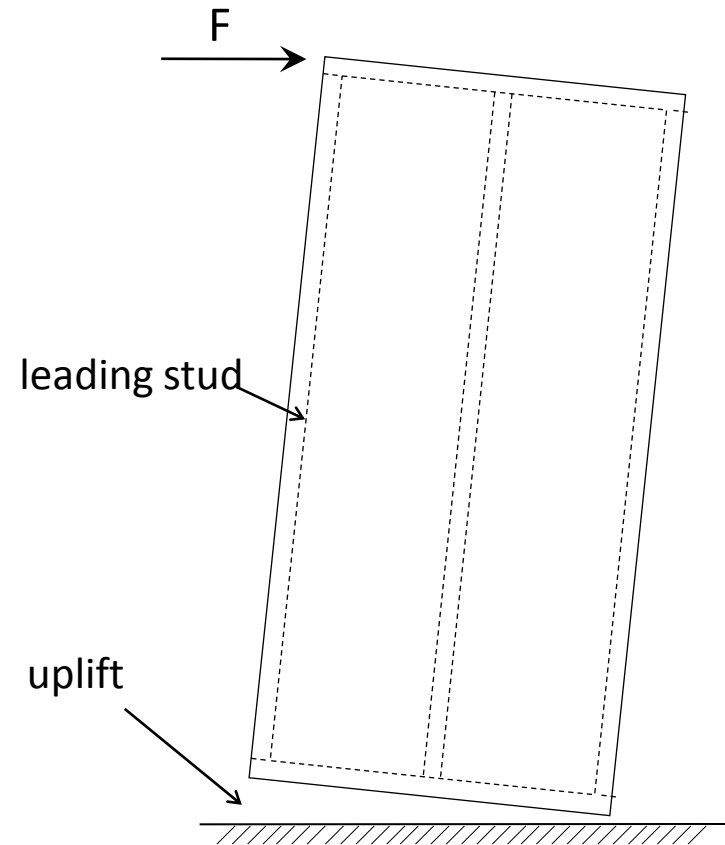
$$F_{v,Ed} \leq F_{v,Rd}$$



Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – toetsen van het constructief ontwerp

- Sterkte
- Stijfheid
- Stabiliteit

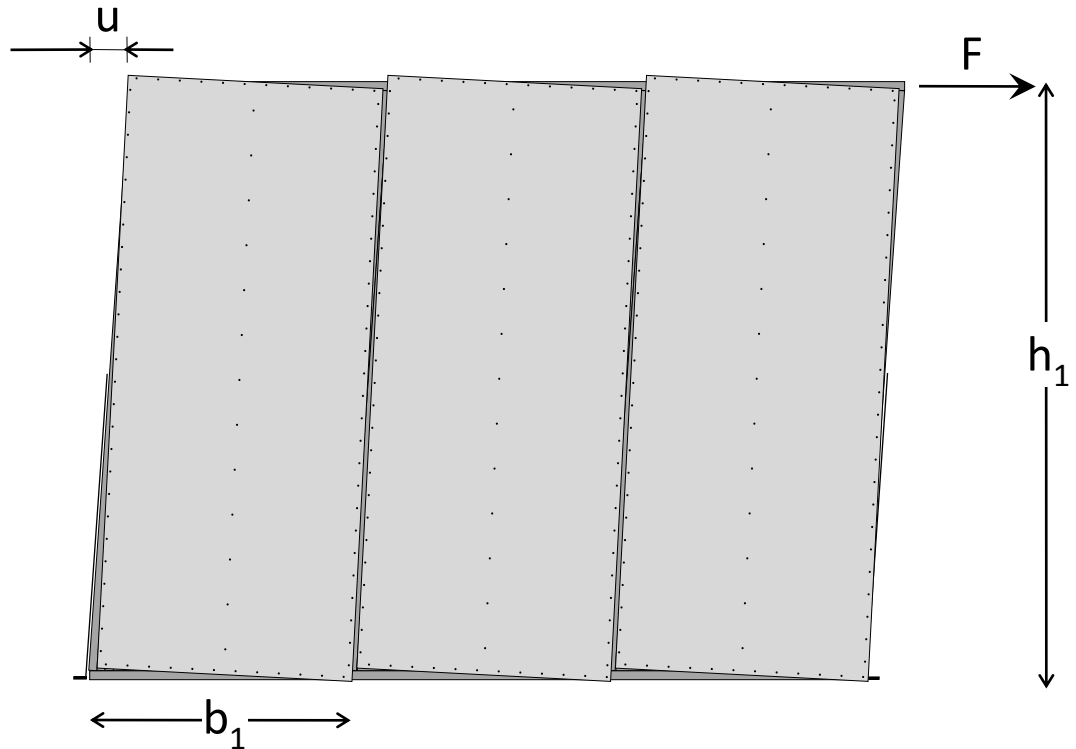


Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – toetsen van het constructief ontwerp

- Sterkte
- Stijfheid
- Stabiliteit

$$R = \frac{F}{u}$$

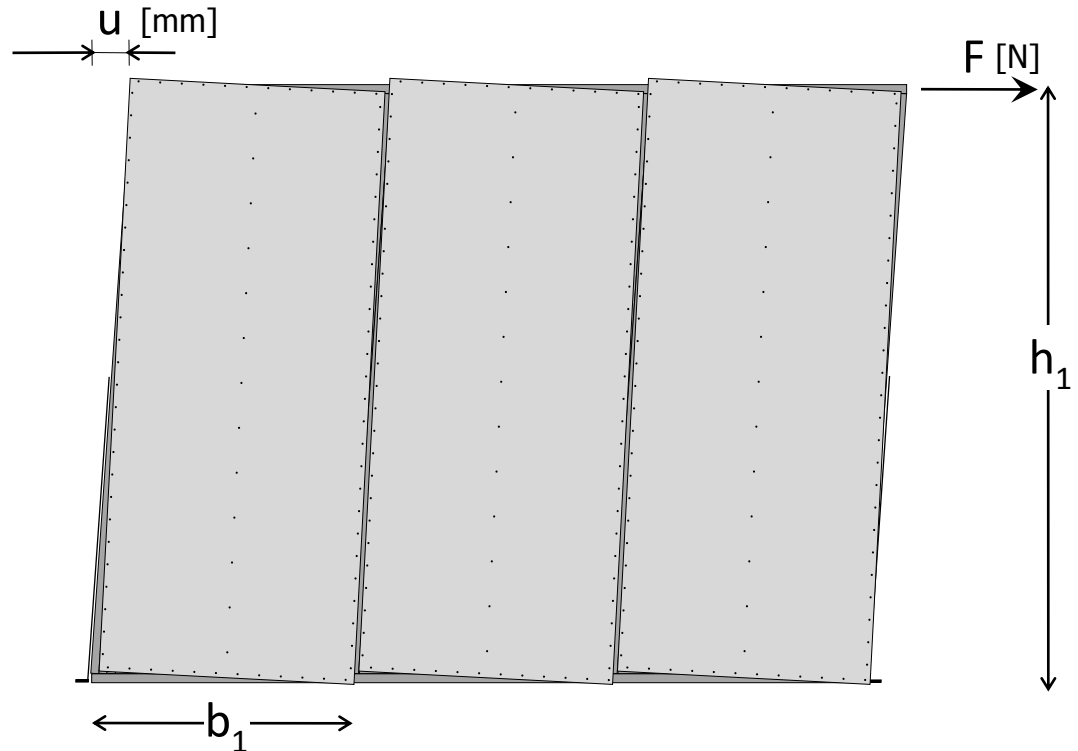


Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – toetsen van het constructief ontwerp

- Sterkte
- Stijfheid
- Stabiliteit

$$R = \frac{F}{u} \quad [\text{N/mm}]$$



Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – toetsen van het constructief ontwerp

- Sterkte
- Stijfheid
- Stabiliteit

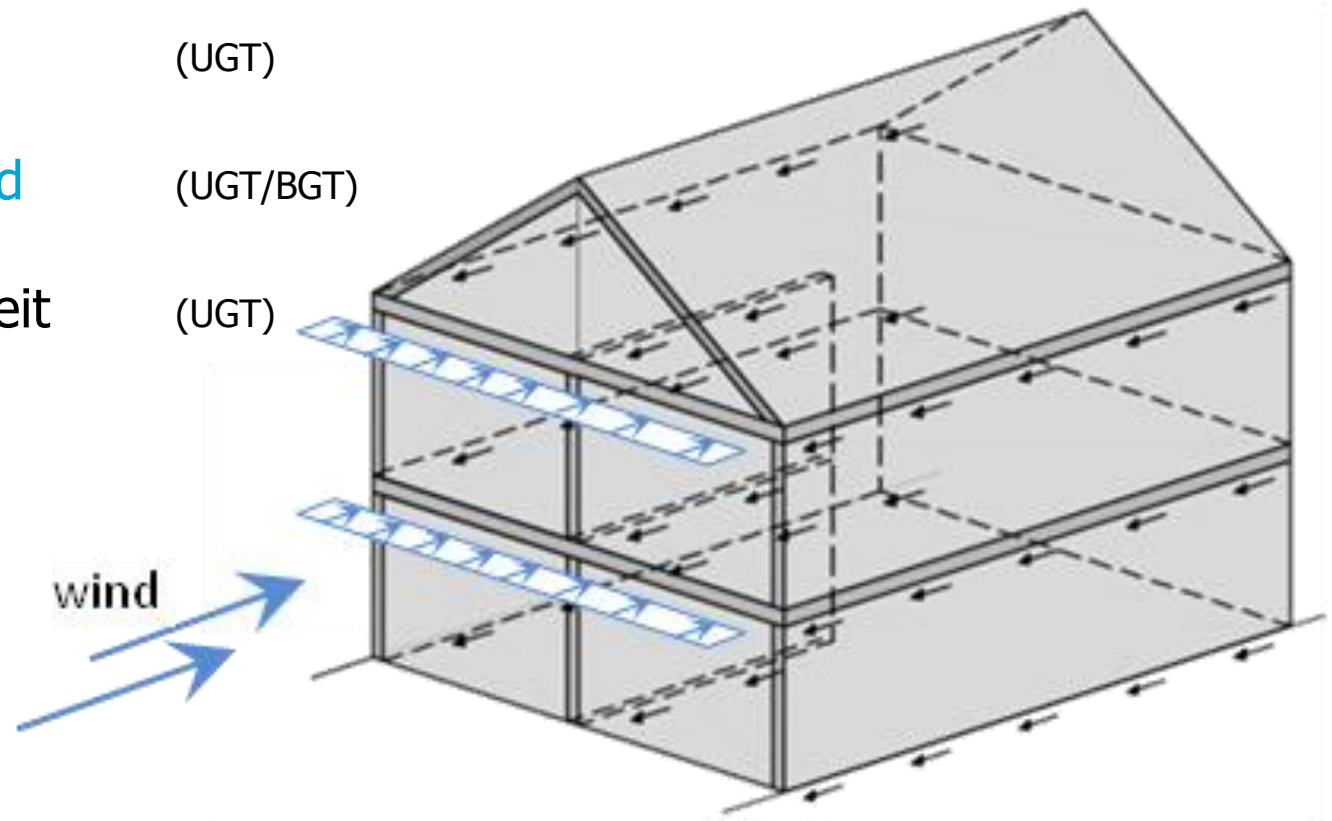
$$R = \frac{F}{u} \text{ [N/mm]}$$



Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – constructief ontwerp

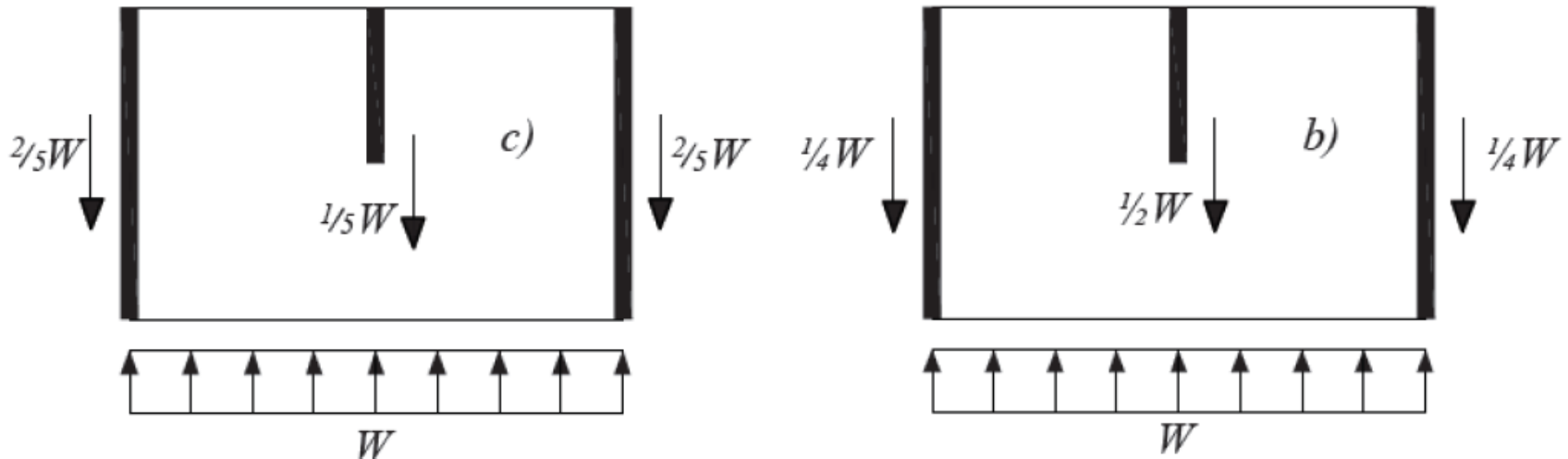
- Sterkte (UGT)
- Stijfheid (UGT/BGT)
- Stabiliteit (UGT)



Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – toetsen van het constructief ontwerp

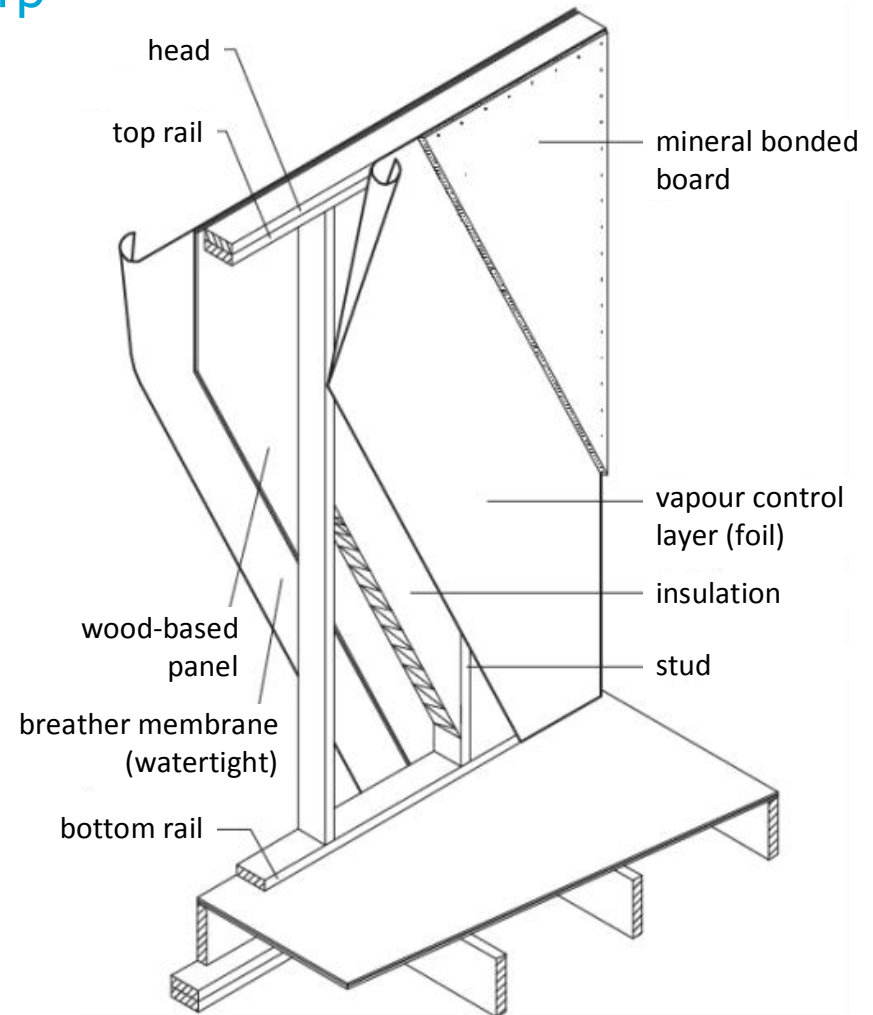
- Vervorming in BGT is, en krachtsverdeling in UGT kan afhankelijk zijn van de wandstijfheid:



Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – constructief ontwerp

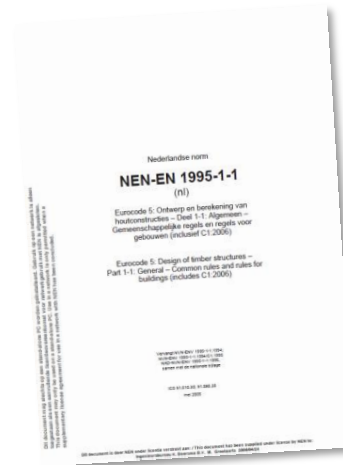
- Sterkte
- Stijfheid
- Stabiliteit



Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – toetsen van het constructief ontwerp

- Sterkte →
- Stijfheid
- Stabiliteit →

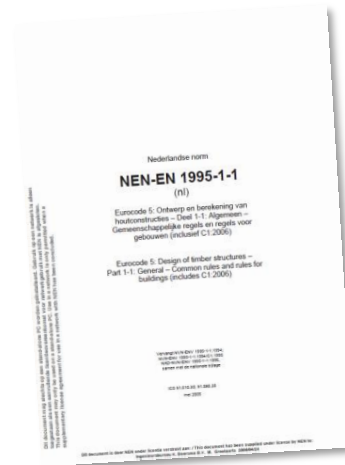


Eurocode 5
(NEN-EN 1995)

Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – toetsen van het constructief ontwerp

- Sterkte →
 - Stijfheid →
 - Stabiliteit →
- ?

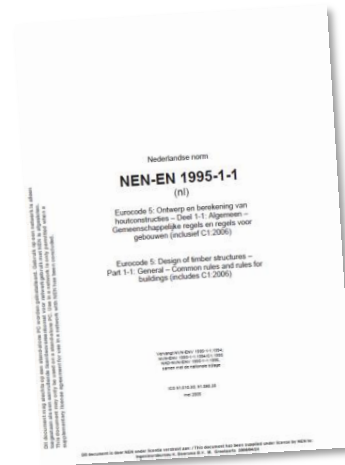


Eurocode 5
(NEN-EN 1995)

Aanleiding tot het onderzoek

Houtskeletbouw – toetsen van het constructief ontwerp

- Sterkte →
- Stijfheid →
- Stabiliteit →



Eurocode 5
(NEN-EN 1995)

Kern van dit afstudeerwerk:
berekenningswijze & aanpak modellering

Onderzoeksvragen

Schrankstijfheid van het houtskeletbouw wand-element

1. Literatuuronderzoek
2. Verbindingsmiddelenstijfheid
3. Stijfheid trek-verankering
4. Analytische berekeningswijze
5. Aanpak modellering
6. Geperforeerde wanden

Onderzoeksvragen

Schrankstijfheid van het houtskeletbouw wand-element

1. Literatuuronderzoek  Startfase
 2. Verbindingsmiddelenstijfheid K_{ser} & k_s
 3. Stijfheid trek-verankering
 4. Analytische berekeningswijze
 5. Aanpak modellering
 6. Geperforeerde wanden
- 
- Uitvoeringsfase

Resultaten van het onderzoek

Literatuuronderzoek

- Capaciteit trek-verankering van groot belang
- Verbindingsmiddelen grootste invloed op wand-stijfheid
- Test-resultaten uit literatuur
 - Verbindingsmiddelen
 - Trek-verankering
 - Wand tests



Resultaten van het onderzoek

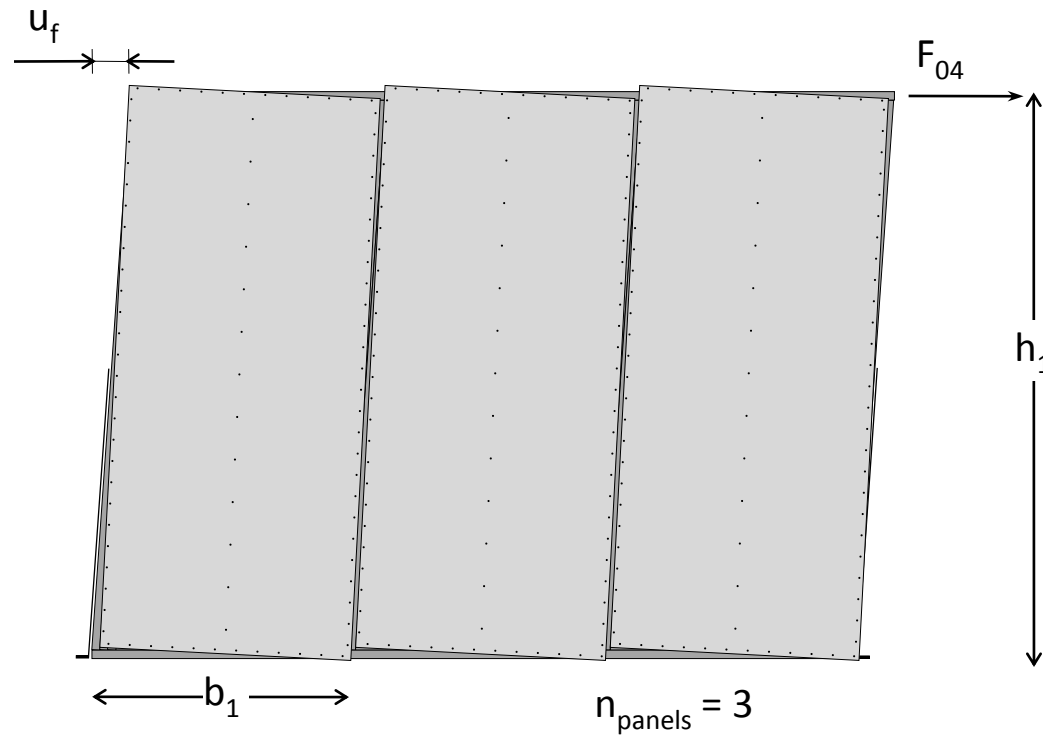
Analytische berekeningswijze schrankstijfheid

- Bijdragen in de vervorming
 - Verbindingsmiddelen-slip
 - Rek in de trek-verankering
 - Druk loodrecht op de vezel
 - Afschuiving in de plaat
 - Rek in de stijlen
 - Verschuiven van de onderregel
- Vergelijk met testen

Resultaten van het onderzoek

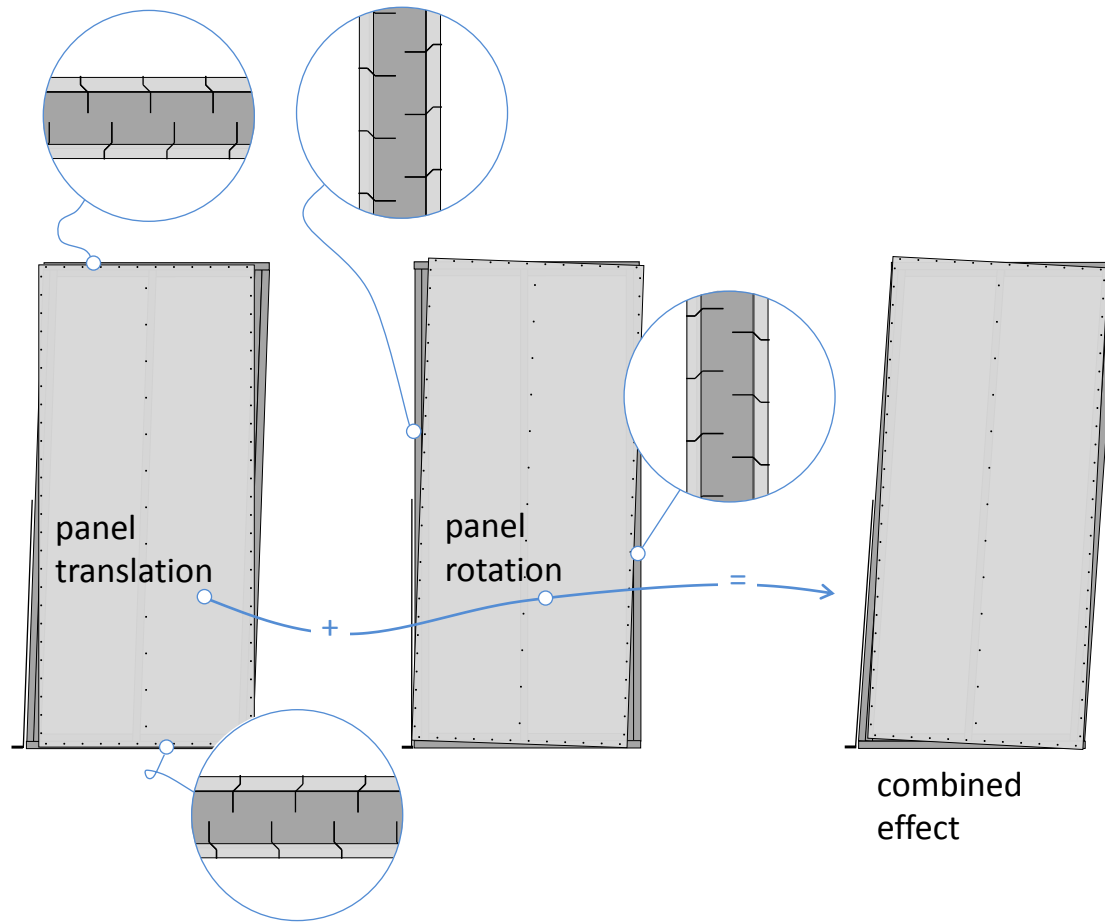
Analytische berekeningswijze schrankstijfheid

- Verbindingsmiddelen-slip



Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid

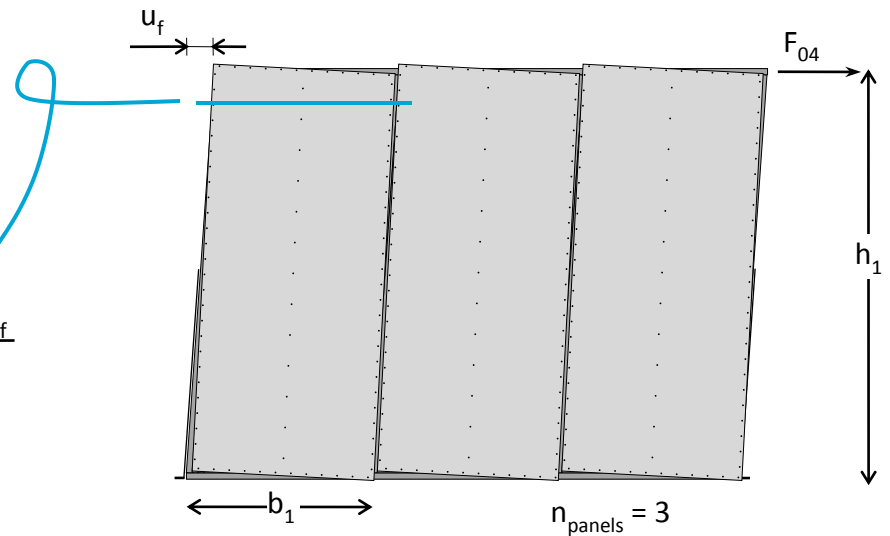
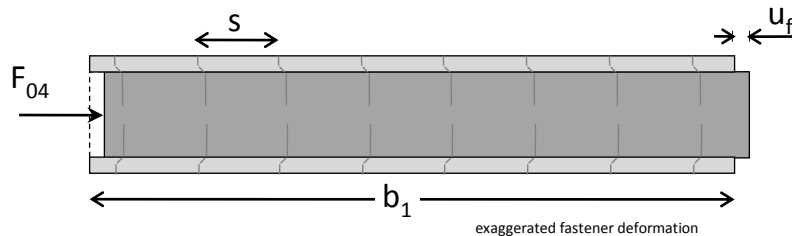


Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid

- Verbindingsmiddelen-slip

$$u_f = \frac{2 \cdot F_{04} \cdot s \cdot \left(1 + \frac{h_1}{b_1}\right)}{n_{panels} \cdot b_1 \cdot K_{ser} \cdot n_{faces}}$$



Resultaten van het onderzoek

Verbindingsmiddelen stijfheid K_{ser} & k_s



OSB (Oriented Strand Board)



Triplex (Plywood)



Spaanplaat (Particleboard)



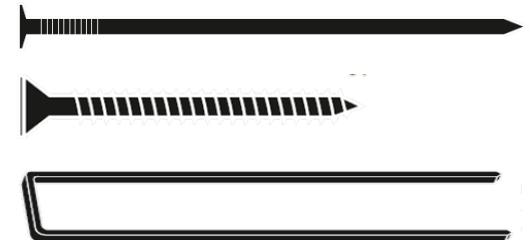
Gipskartonplaat



Gipsvezelplaat

Verbindingsmiddelen:

- nagels
- schroeven
- nieten



Resultaten van het onderzoek

Verbindingsmiddelen stijfheid K_{ser} volgens Eurocode 5

- In Eurocode 5 rekenregels slip-modulus K_{ser} voor gebruik in BGT: bijvoorbeeld nagels in een houtachtige plaat-op-

hout verbinding:
$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} \cdot d^{0,8}}{30}$$

- Voor UGT moet volgens Eurocode 5 gebruik gemaakt worden van $K_u = 2/3 K_{ser}$.

Resultaten van het onderzoek

Verbindingsmiddelen stijfheid K_{ser} & k_s – conclusies

- In geval van hout-achtige platen kunnen vergelijkingen voor K_{ser} uit Eurocode 5 worden gebruikt voor berekenen van de vervormingen in BGT. Voor bepalen krachtsverdeling in UGT, kan slip-modulus tussen K_{ser} en K_u variëren.

Resultaten van het onderzoek

Verbindingsmiddelen stijfheid K_{ser} & k_s – conclusies

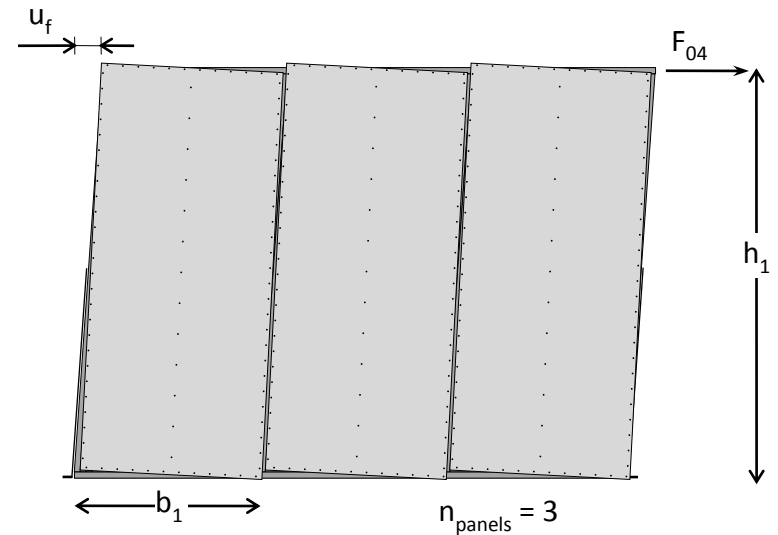
- Voor gips-karton- en gips-vezel-plaat zijn op basis van de gevonden test-gegevens waarden bepaald voor de verbindingsmiddelen slip-modulus k_s

Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid

- Verbindingsmiddelen-slip

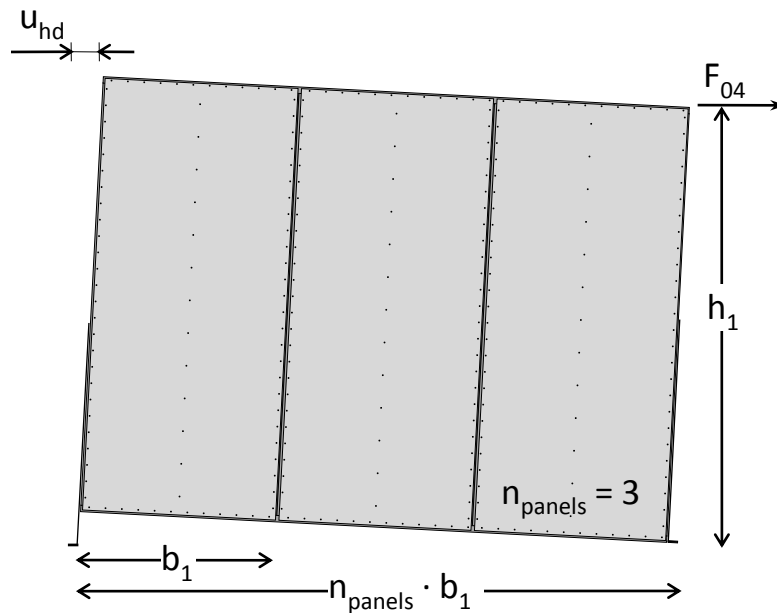
$$u_f = \frac{2 \cdot F_{04} \cdot s \cdot \left(1 + \frac{h_1}{b_1}\right)}{n_{panels} \cdot b_1 \cdot K_{ser} \cdot n_{faces}}$$



Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid

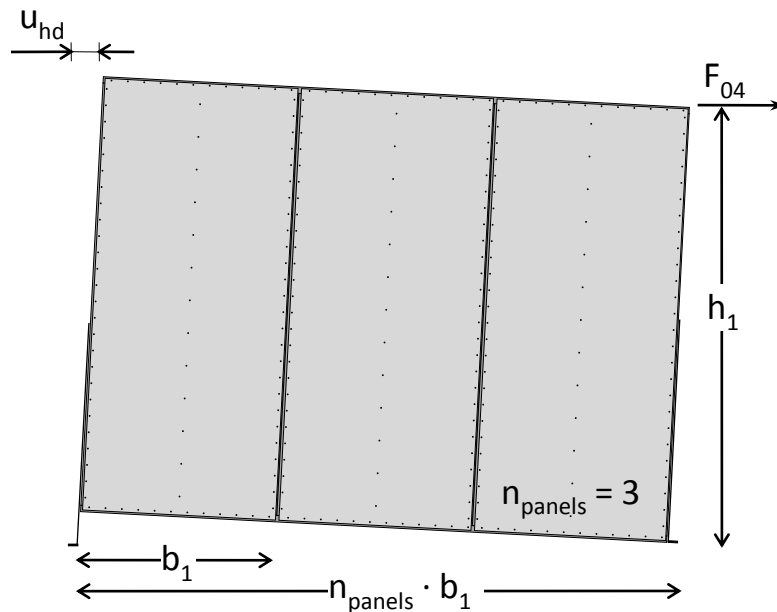
- Rek in de trek-verankering



Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid

- Rek in de trek-verankering



$$u_{hd} = \frac{F_{04} \cdot h_1^2}{K_{hd} \cdot (n_{panels} \cdot b_1)^2}$$

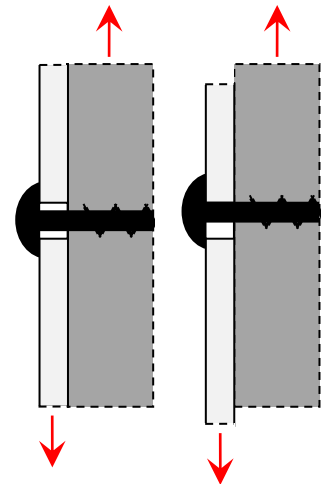
Resultaten van het onderzoek

Stijfheid trek-verankering



Stijfheid van de trek-verankering te bepalen met inachtneming van:

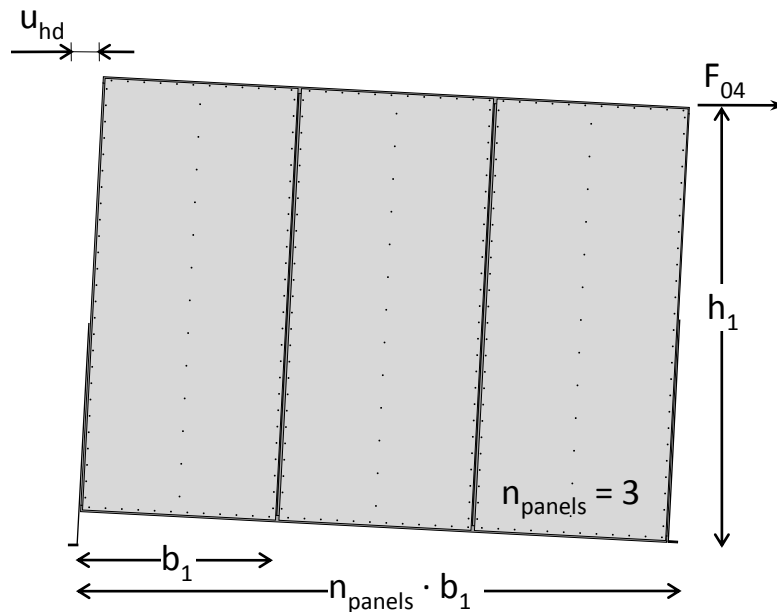
- Staal-doorsnede
- Hout-doorsnede (getrokken stijl)
- Verbindingsmiddelen-groep
- Gatspeling



Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid

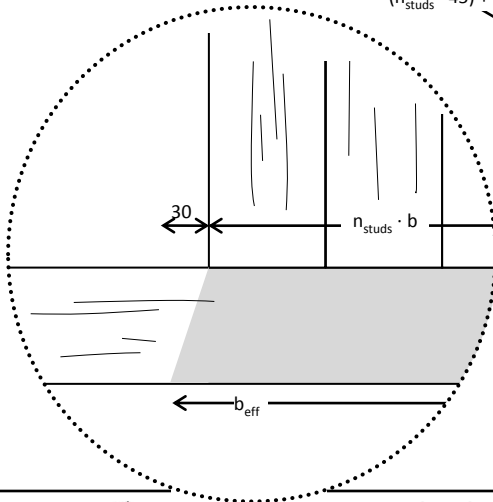
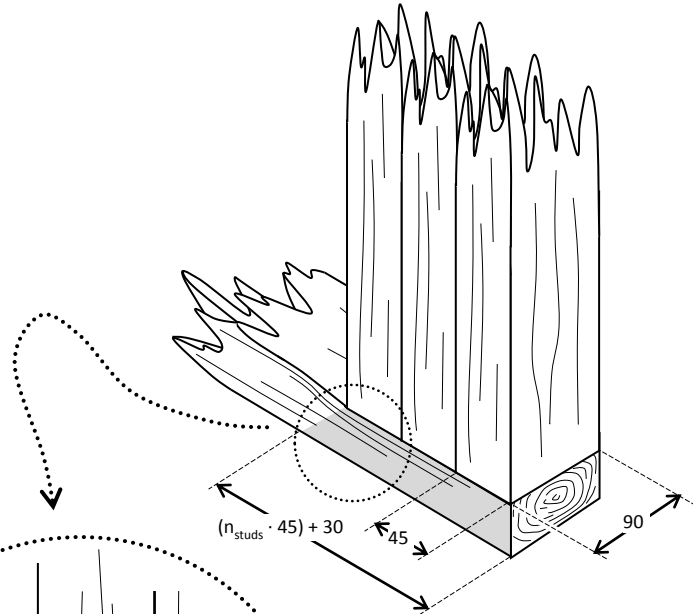
- Rek in de trek-verankering



$$u_{hd} = \frac{F_{04} \cdot h_1^2}{K_{hd} \cdot (n_{\text{panels}} \cdot b_1)^2}$$

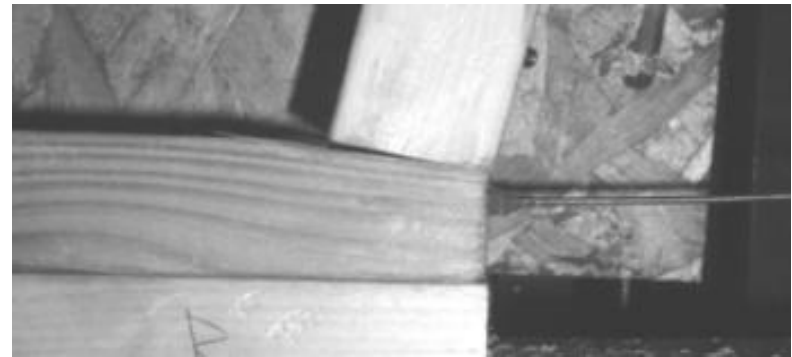
Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid



- Druk loodrecht op de vezel

- $$u_c = \frac{F_{04} \cdot h_1^2}{K_{c,90} \cdot (n_{\text{panels}} \cdot b_1)^2}$$

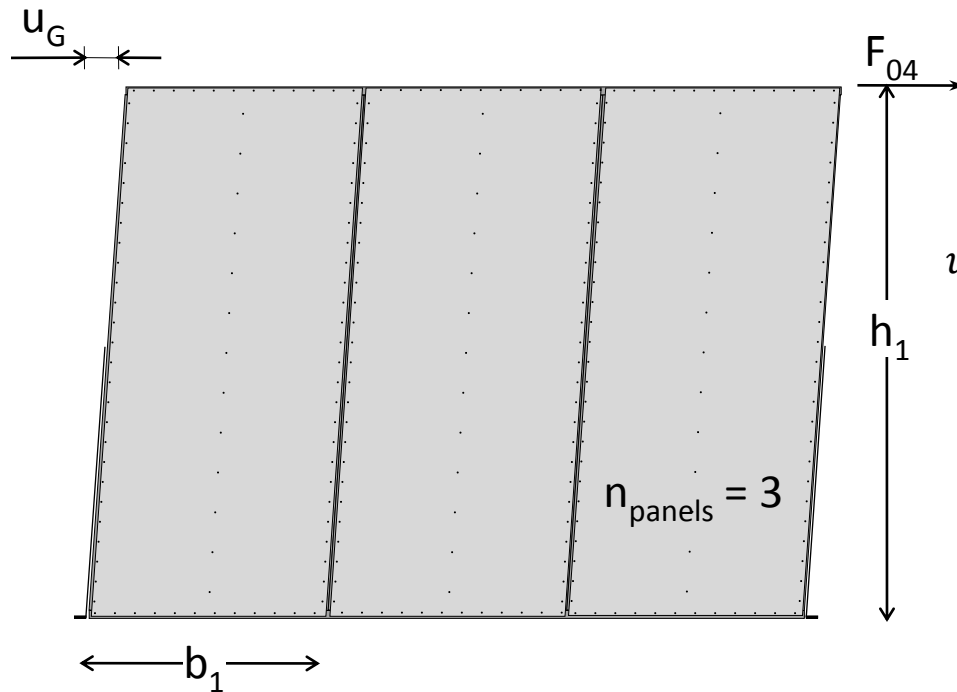


- $K_{c,90} \text{ [N/mm]} = 1,3 \cdot ((n_{\text{studs}} \cdot b_2) + 30) \cdot h_2$

Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid

- Afschuiving in de plaat

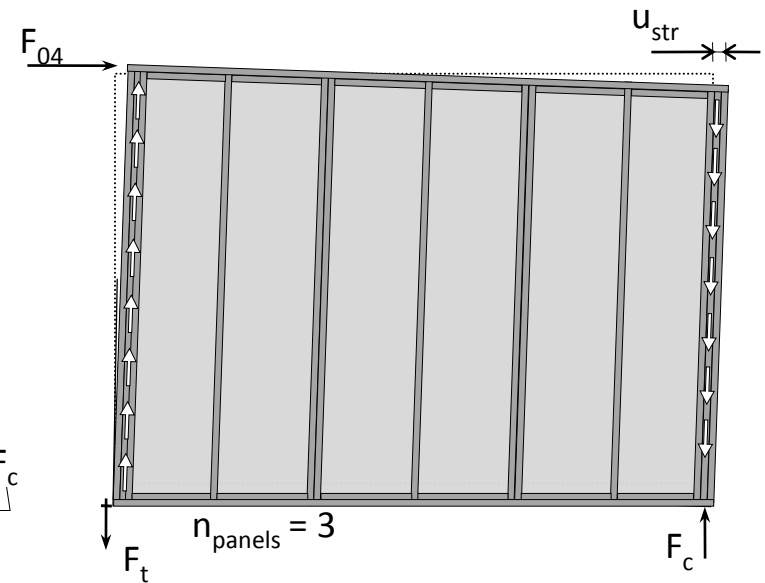
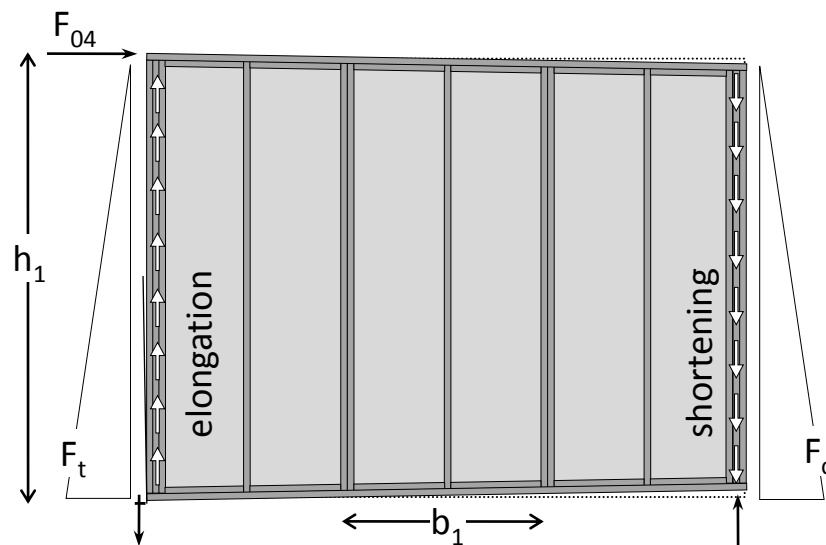


$$u_G = \frac{F_{04} \cdot h_1}{n_{\text{panels}} \cdot n_{\text{faces}} \cdot G_{\text{mean}} \cdot b_1 \cdot t}$$

Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid

- Rek in de stijlen



$$u_{str} = \frac{F_{04} \cdot h_1^3}{E_2 \cdot b_2 \cdot h_2 \cdot n_{studs} \cdot (n_{panels} \cdot b_1)^2}$$

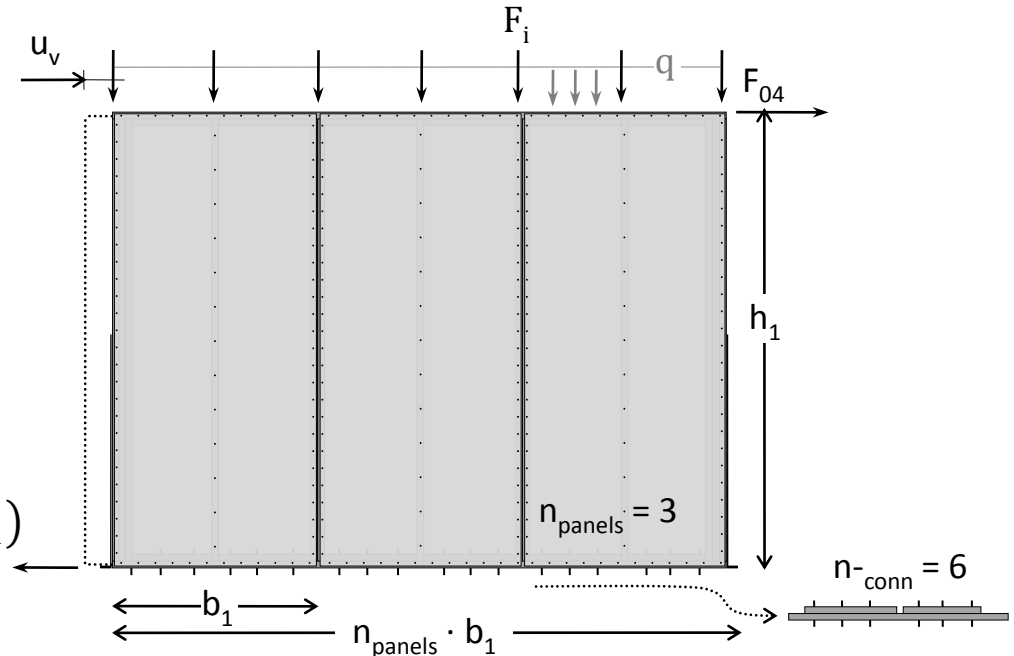
Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid

- Verschuiven van de onderregel

$$u_v = \frac{F_{04}}{n_{panels} \cdot n_{conn} \cdot K_v}$$

$$\mu \cdot (\Sigma F_i + q \cdot n_{panels} \cdot b_1)$$



Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid

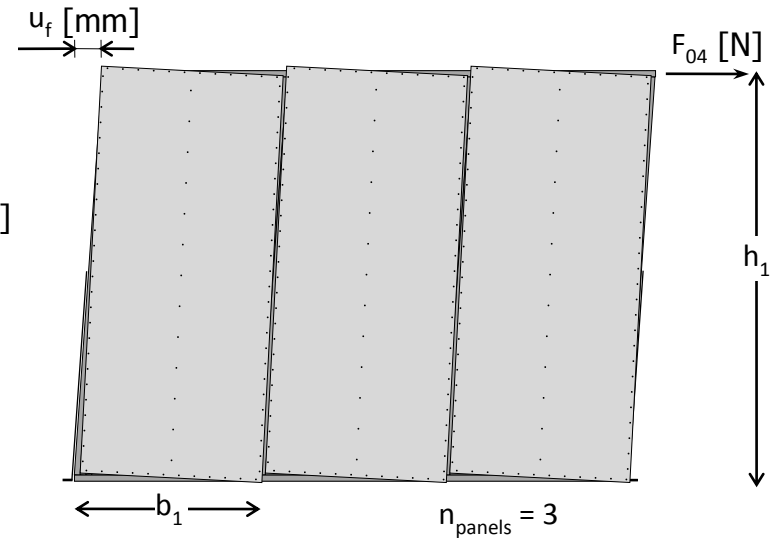
- Bijdragen in de vervorming
 - Verbindingsmiddelen-slip
 - Rek in de trek-verankering
 - Druk loodrecht op de vezel
 - Afschuiving in de plaat
 - Rek in de stijlen
 - Verschuiven van de onderregel
- componenten in de wand-stijfheid

Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid

- Verbindingsmiddelen-slip

$$u_f = \frac{2 \cdot F_{04} \cdot s \cdot \left(1 + \frac{h_1}{b_1}\right)}{n_{panels} \cdot b_1 \cdot K_{ser} \cdot n_{faces}} \quad [\text{mm}]$$



$$R_{f,Rd} = \quad [\text{N/mm}]$$

Resultaten van het onderzoek

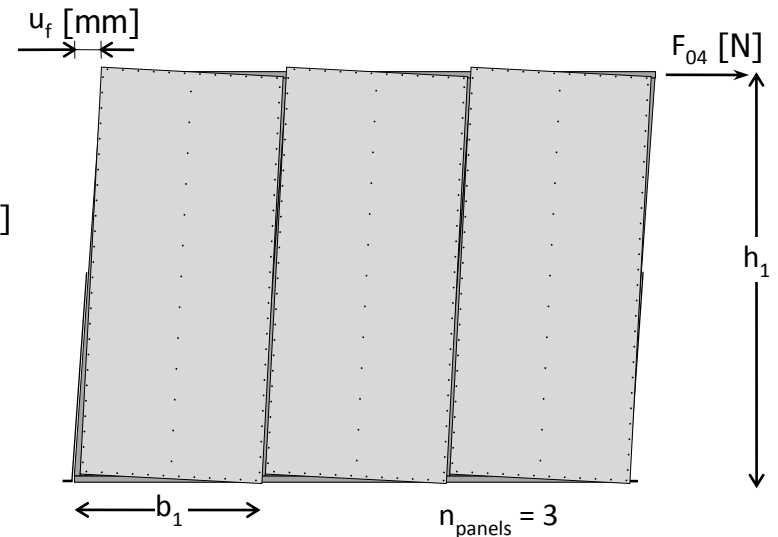
Analytische berekeningswijze schrankstijfheid

- Verbindingsmiddelen-slip

$$u_f = \frac{2 \cdot F_{04} \cdot s \cdot \left(1 + \frac{h_1}{b_1}\right)}{n_{panels} \cdot b_1 \cdot K_{ser} \cdot n_{faces}} \quad [\text{mm}]$$

$$R = \frac{F}{u}$$

$$R_{f,Rd} = \frac{n_{panels} \cdot n_{faces} \cdot b_1}{2 \left(1 + \frac{h_1}{b_1}\right)} \cdot \frac{K_{ser}}{s} \quad [\text{N/mm}]$$



Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid

- Optellen van stijfheden voor standaard wand element

$$R_{Rd} = \frac{1}{\frac{1}{R_{f,Rd}} + \frac{1}{R_{hd,Rd}} + \frac{1}{R_{c,Rd}} + \frac{1}{R_{G,Rd}} + \frac{1}{R_{str,Rd}} + \frac{1}{R_{v,Rd}}}$$



Analytische berekeningswijze schrankstijfheid – vergelijk met tests

- Vergelijk met testen:

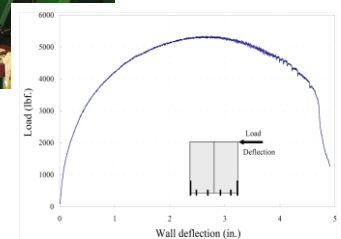
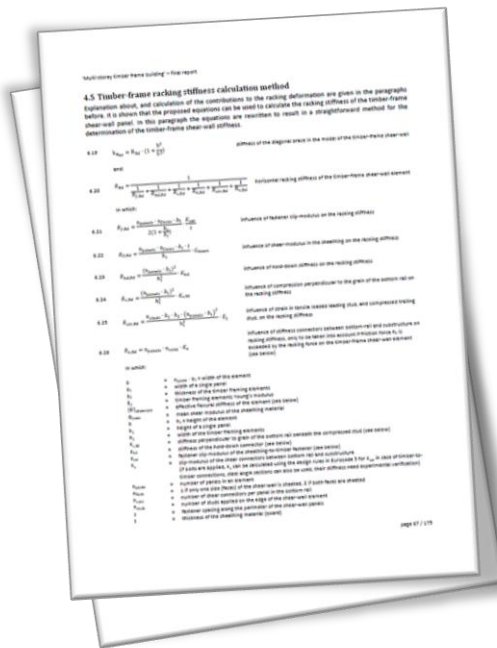
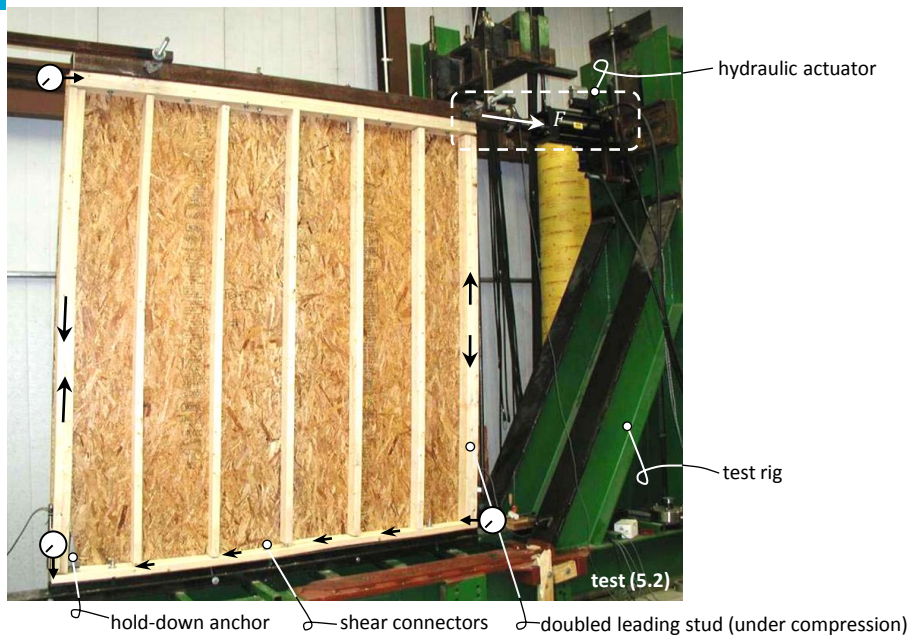


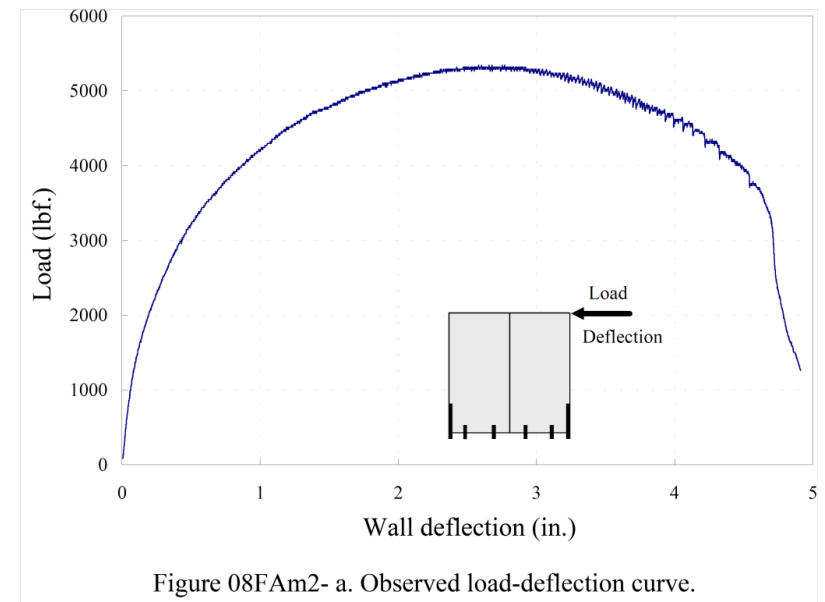
Figure 08FAm2- a. Observed load-deflection curve.

Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid – vergelijk met tests



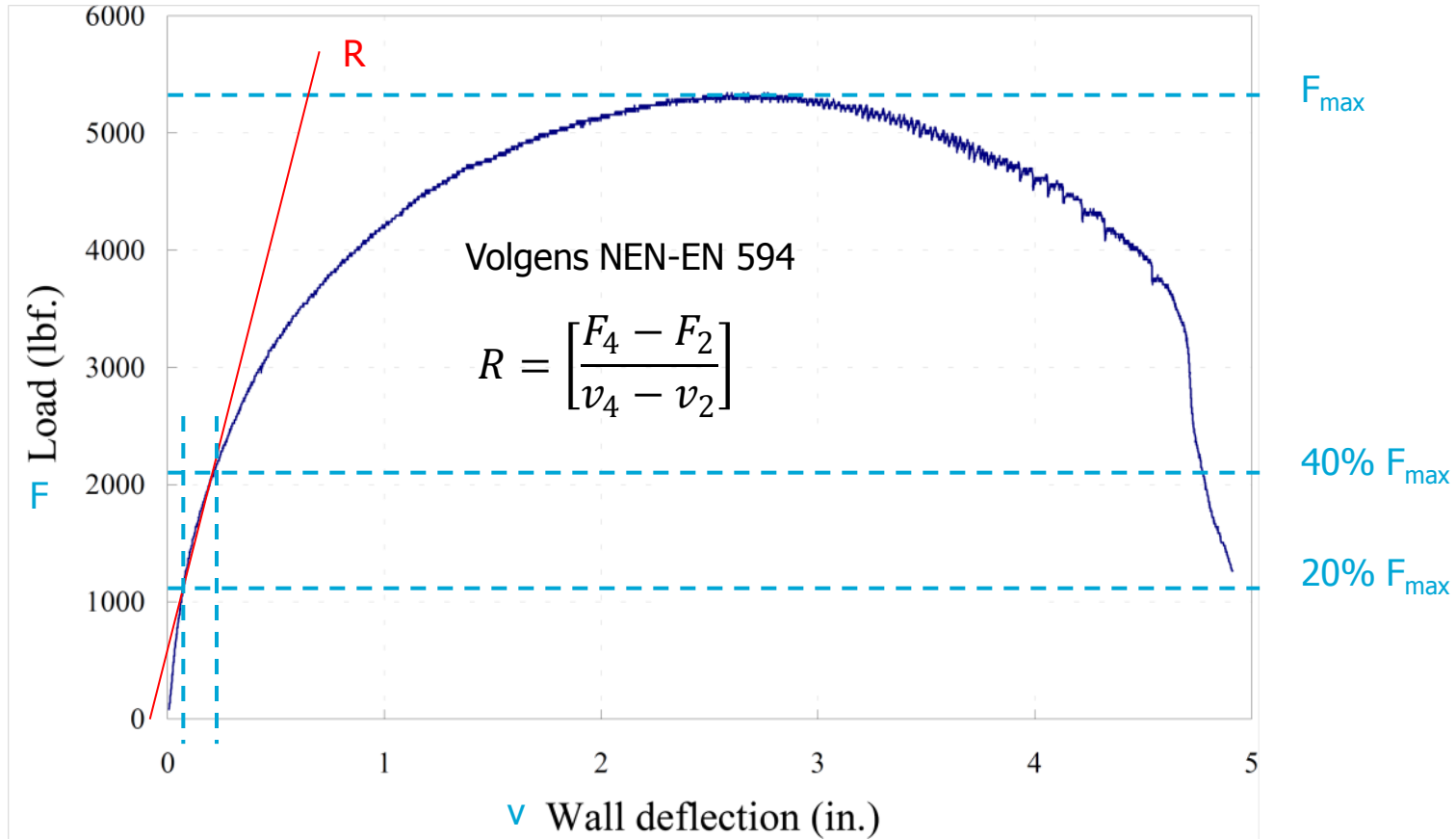
beproevingen volgens NEN-EN 594



$$R = \left[\frac{F_4 - F_2}{v_4 - v_2} \right]$$

Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid – vergelijk met tests



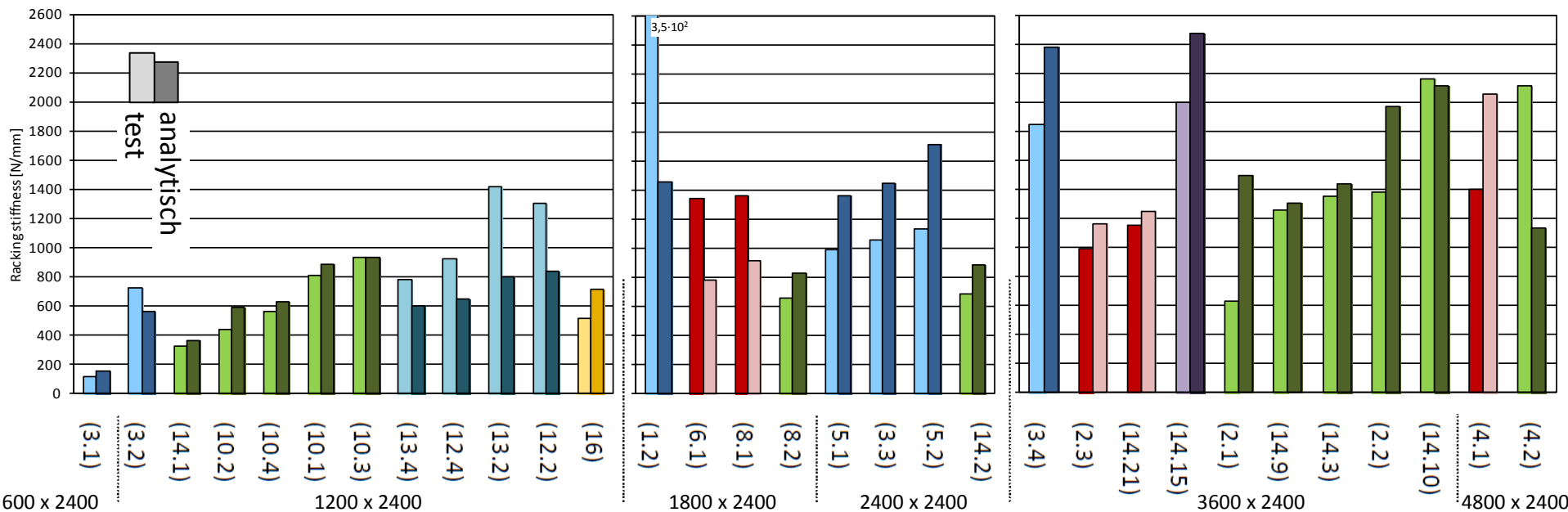
Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid – vergelijk met tests

- Berekeningswijze geeft goede resultaten
 - $R_{\text{test}} / R_{\text{analytisch}} = 1,11$ (gemiddeld)
 - $v_{\text{test}} / v_{\text{analytisch}} = 0,90$ (gemiddeld)

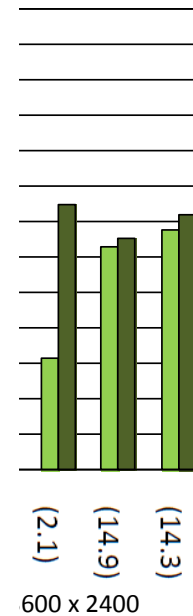
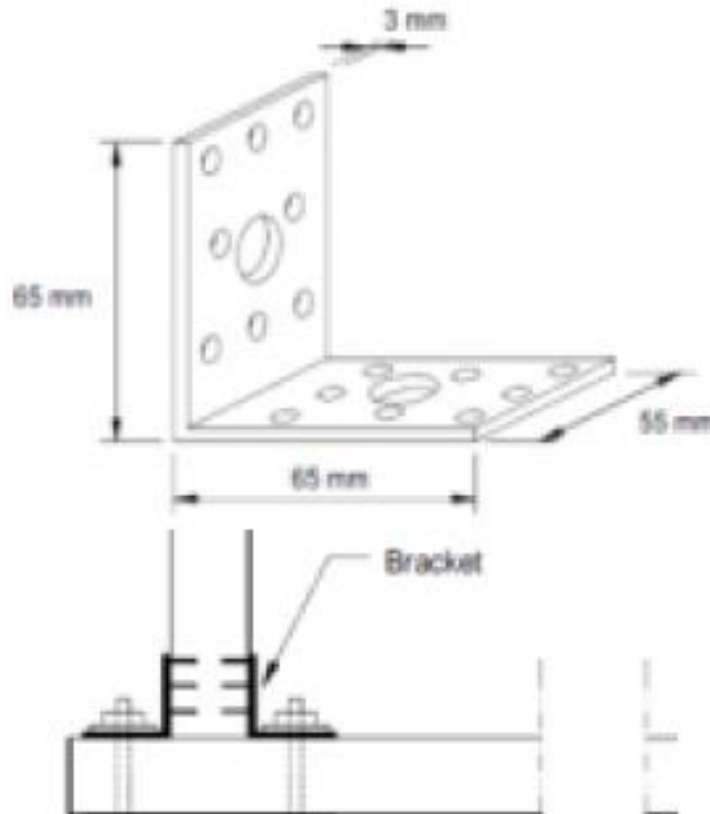
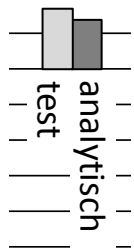
Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid – vergelijk met tests



Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid – vergelijk met tests



Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid – vergelijk met tests

- Berekeningswijze geeft goede resultaten
 - $R_{\text{test}} / R_{\text{analytisch}} = 1,11$ (gemiddeld)
 - $v_{04} / v_{\text{analytisch}} = 0,92$ (gemiddeld)
- Verschillen niet eenduidig te verklaren

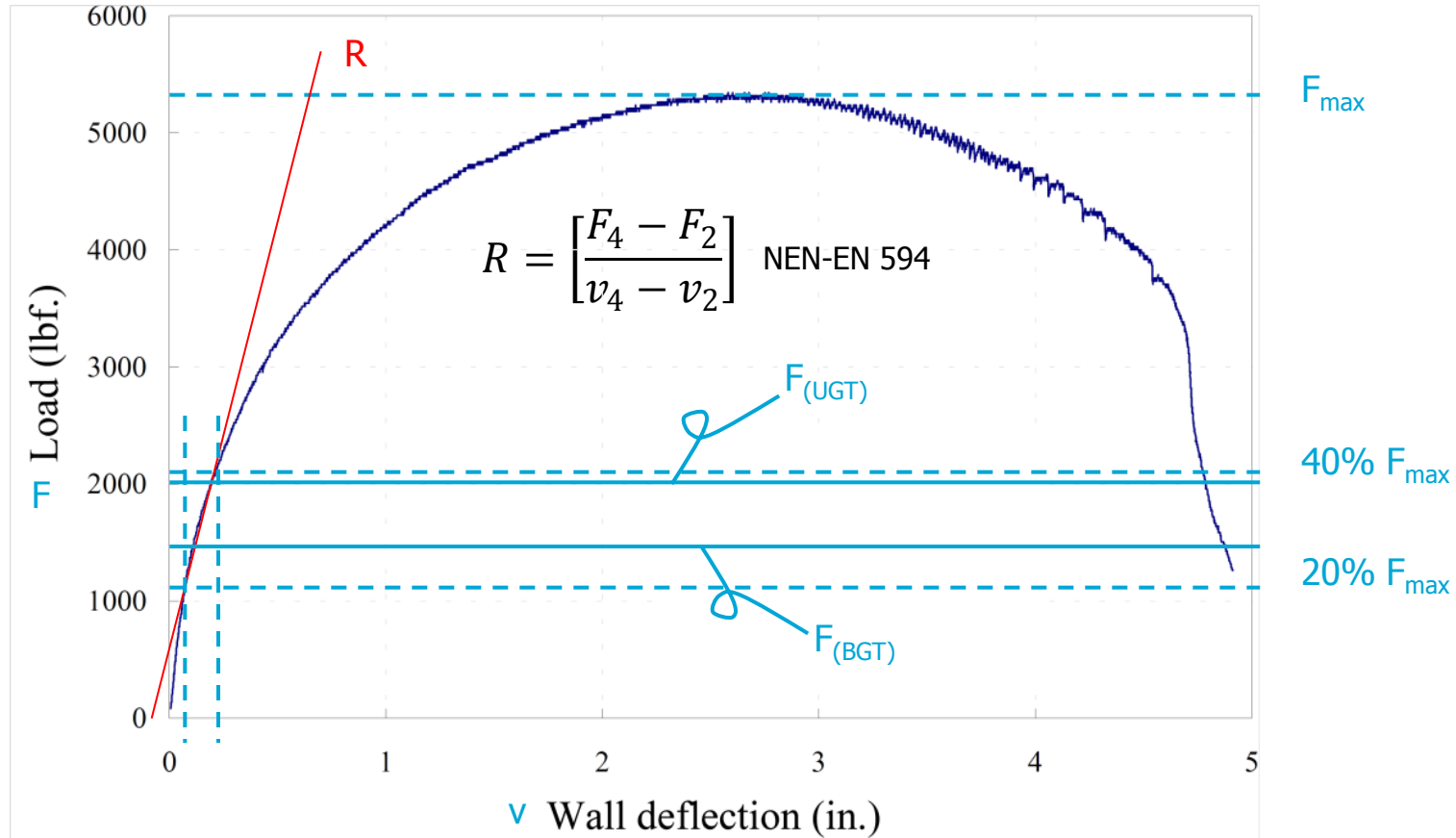
Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid – vergelijk met tests

- Berekeningswijze geeft goede resultaten
 - $R_{\text{test}} / R_{\text{analytisch}} = 1,11$ (gemiddeld)
 - $v_{04} / v_{\text{analytisch}} = 0,92$ (gemiddeld)
- Verschillen niet eenduidig te verklaren

Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid – belastingniveaus



Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid – conclusies

- Berekeningswijze geeft goede resultaten
 - $R_{\text{test}} / R_{\text{analytisch}} = 1,11$ (gemiddeld)
 - $v_{04} / v_{\text{analytisch}} = 0,92$ (gemiddeld)
- Verschillen niet eenduidig te verklaren
- Schrankstijfheid in SLS en ULS kan worden berekend met analytische berekeningswijze

Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid – conclusies

- Gemiddelde bijdrage in vervorming:
 - Verbindingsmiddelen langs de omtrek 48%
 - Afschuiving beplating 12%
 - Rek in trekverankering 13%
 - Druk $\perp$ vezel 15%
 - Rek en verkorting randstijlen 8%

Resultaten van het onderzoek

Analytische berekeningswijze schrankstijfheid

- Optellen van stijfheden voor standaard wand element

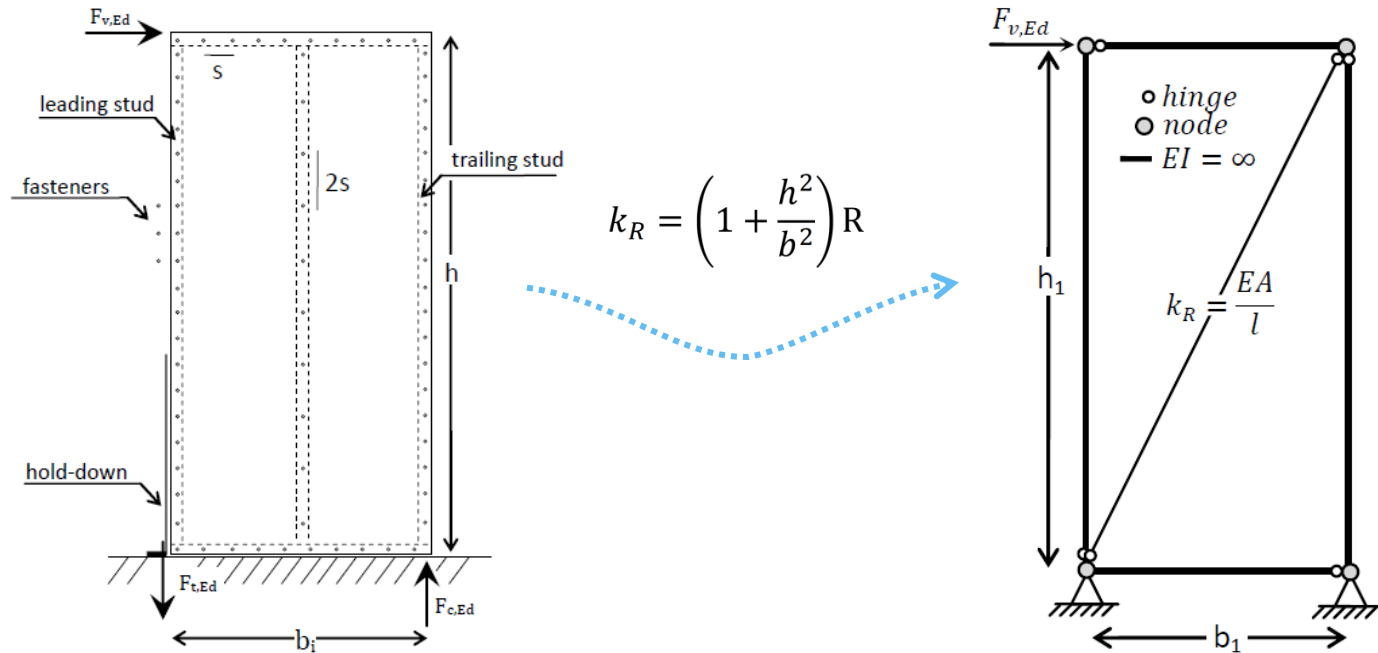


- $$R_{Rd} = \frac{1}{\frac{1}{R_{f,Rd}} + \frac{1}{R_{hd,Rd}} + \frac{1}{R_{c,Rd}} + \frac{1}{R_{G,Rd}} + \frac{1}{R_{str,Rd}} + \frac{1}{R_{v,Rd}}}$$

Resultaten van het onderzoek

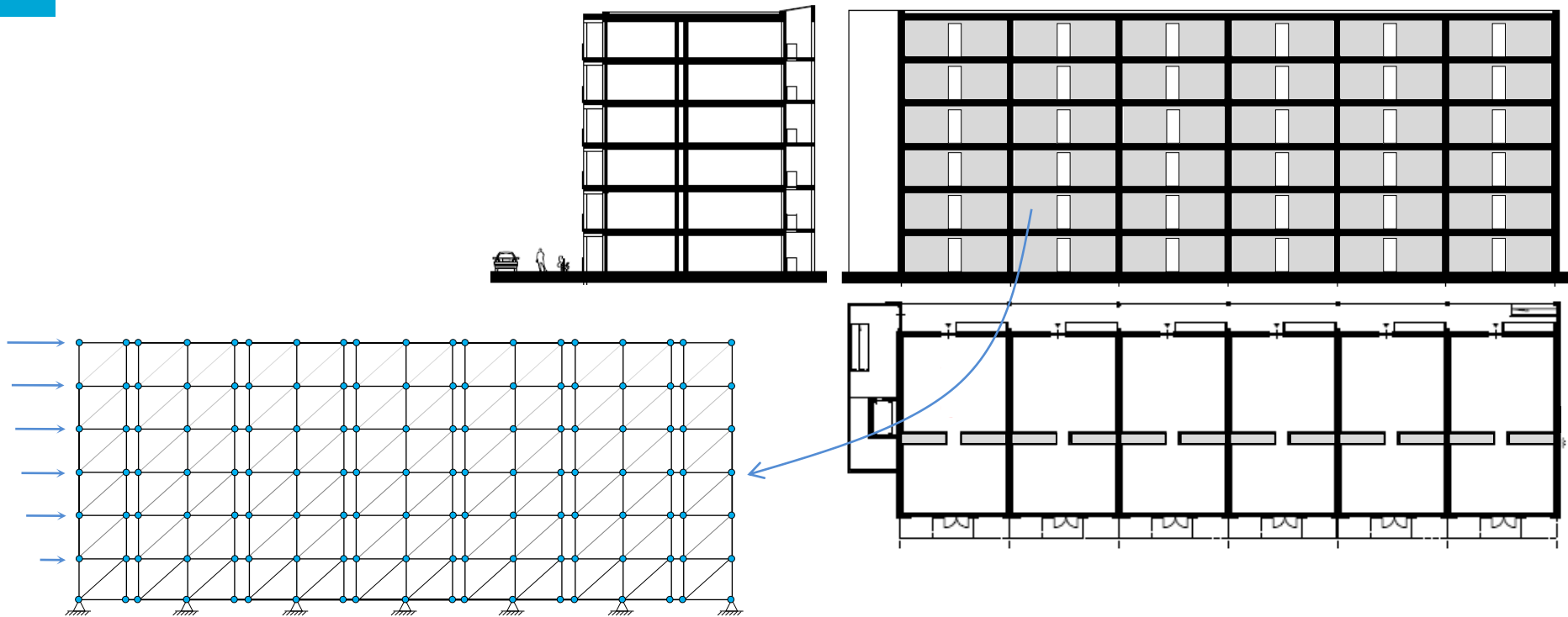
Aanpak modellering

- Eenvoudig vakwerkmodel
- Wandeigenschappen opgenomen in stijfheid schoor



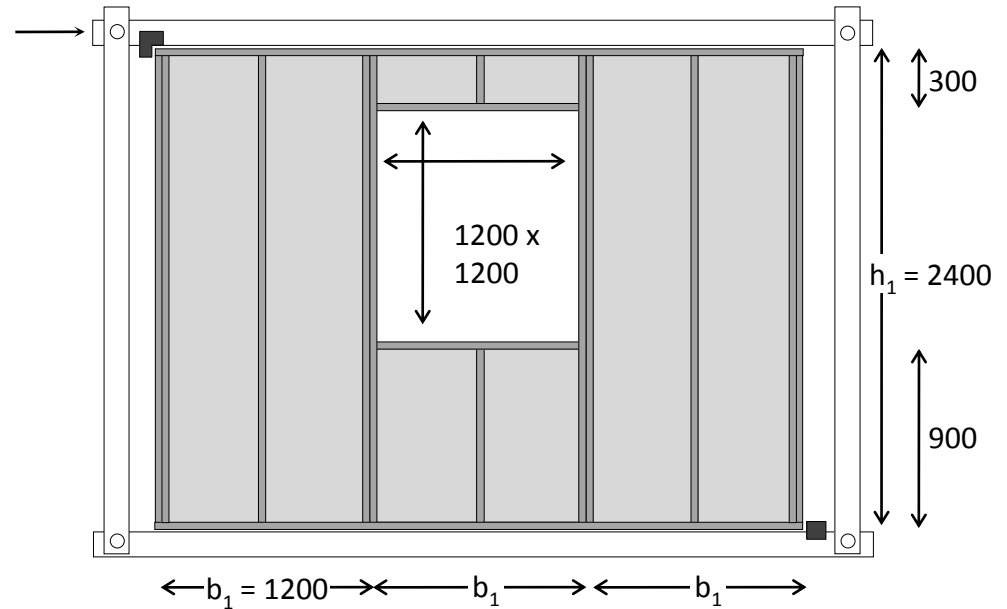
Resultaten van het onderzoek

Voorbeeld toepassing



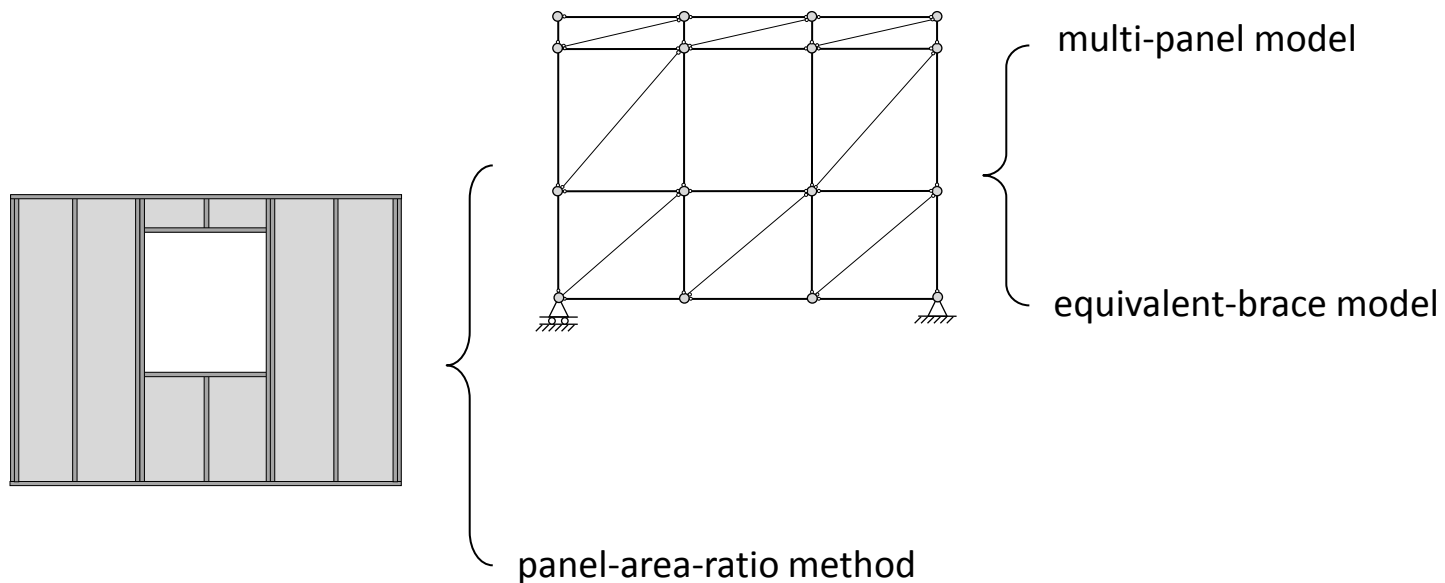
Resultaten van het onderzoek

Geperforeerde wanden



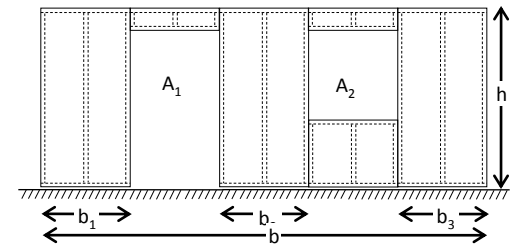
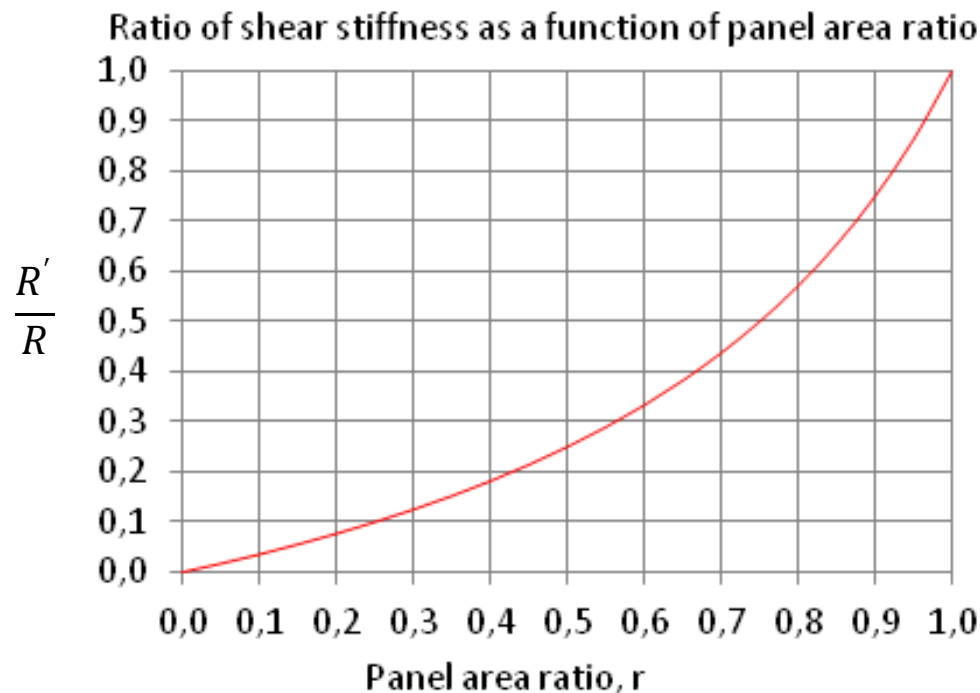
Resultaten van het onderzoek

Geperforeerde wanden – berekeningswijzen



Resultaten van het onderzoek

Geperforeerde wanden – panel-area-ratio method



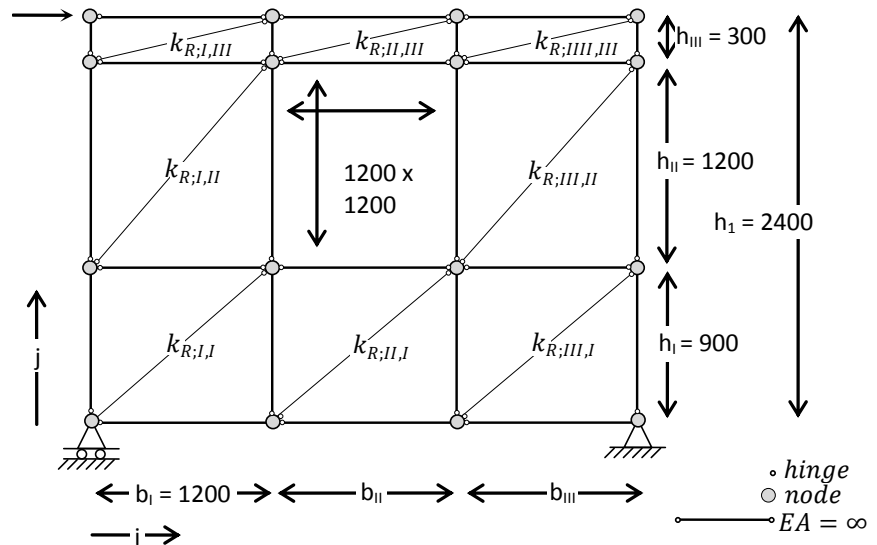
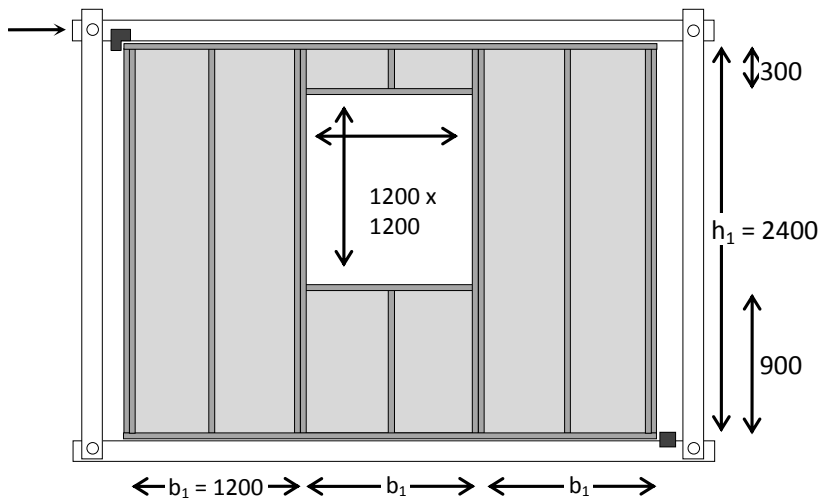
$$r = \frac{1}{1 + \frac{\alpha}{\beta}} = \frac{h \cdot \sum b_i}{h \cdot \sum b_i + \sum A_i}$$

$$R' = \frac{r}{3 - 2r} \cdot R$$

Developed by Hideo Sugiyama

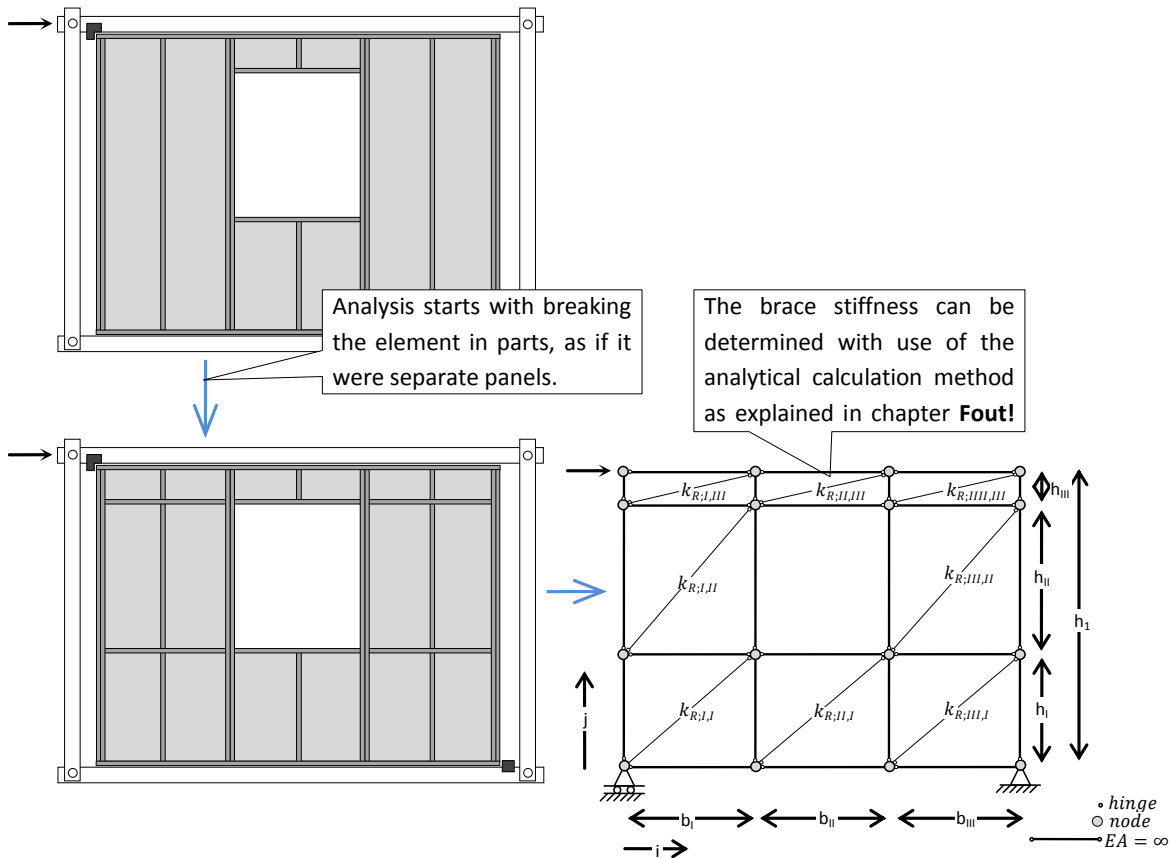
Resultaten van het onderzoek

Geperforeerde wanden – truss-type model



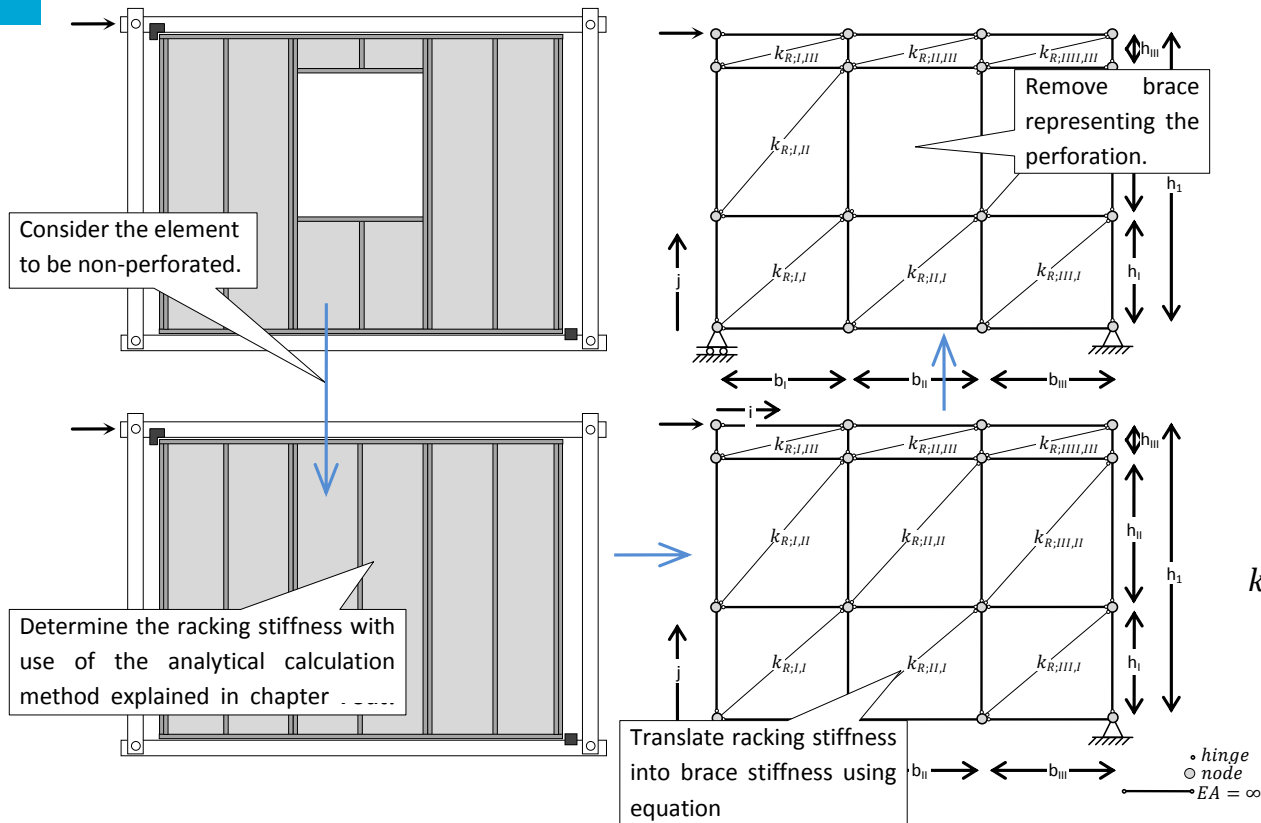
Resultaten van het onderzoek

Geperforeerde wanden – multi-panel model



Resultaten van het onderzoek

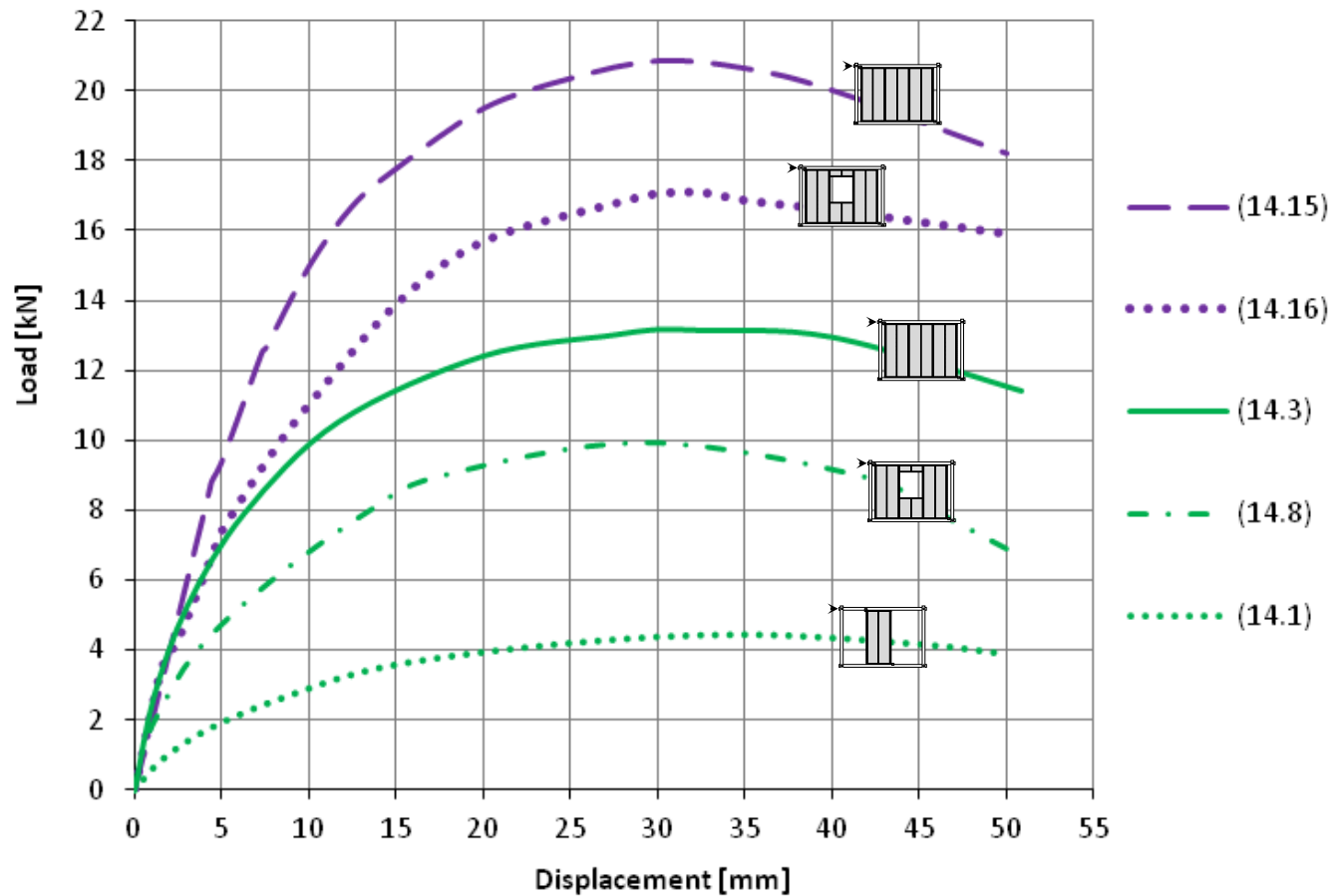
Geperforeerde wanden – equivalent-brace model



$$k_{R,i,j} = \frac{h_1}{h_j} \cdot \frac{b_i}{b_1} \cdot R_{analytical} \cdot \left(1 + \frac{h_j^2}{b_i^2}\right)$$

Resultaten van het onderzoek

Geperforeerde wanden – tests



Resultaten van het onderzoek

Geperforeerde wanden – vergelijken met tests

Test:	(14.3)	(14.8)	(14.15)	(14.16)
R_{test}	100%	100%	100%	100%
$R_{\text{analytical}}$	106%		125%	
$R_{\text{panel-area-ratio}}$		100%		113%
$R_{\text{multi-panel}}$	123%	114%	163%	165%
$R_{\text{equivalent-brace}}$	106%	116%	124%	145%
		perforated		perforated

Conclusie

- Voorgestelde berekeningswijze geeft de schrankstijfheid van het houtskeletbouw wand-element.
- Hiermee kan de krachtsverdeling in UGT en de vervorming in BGT worden bepaalt.
- Ook de aan te houden stijfheid van verbindingsmiddelen en trek-verankering kan worden berekend / bepaalt.

Conclusie

- De berekende schrankstijfheid kan worden gebruikt in een vakwerkmodel geschikt voor berekeningen in een raamwerkprogramma
- De schrankstijfheid van geperforeerde wanden kan worden bepaald met de multi-panel en equivalent-brace modelleringsaanpak, en de panel-area-ratio method

Discussie & vragen



Beoordeling



Afstudeercommissie



Jan Willem van de Kuilen



Peter de Vries



Geert Ravenshorst



Max Hendriks



Jan Banga

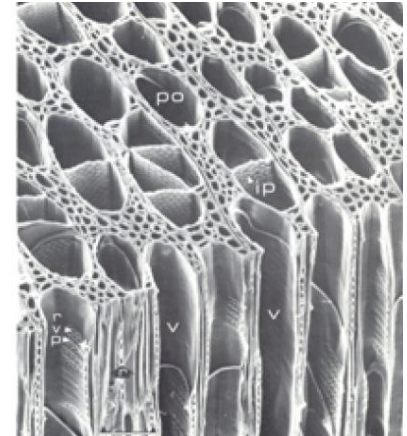
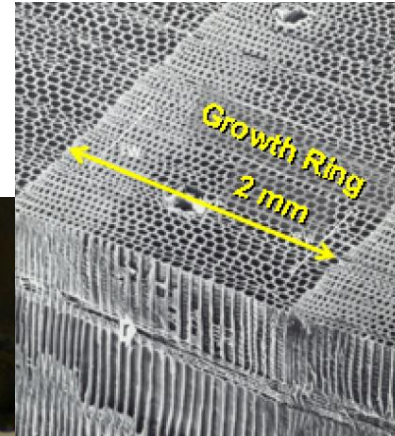
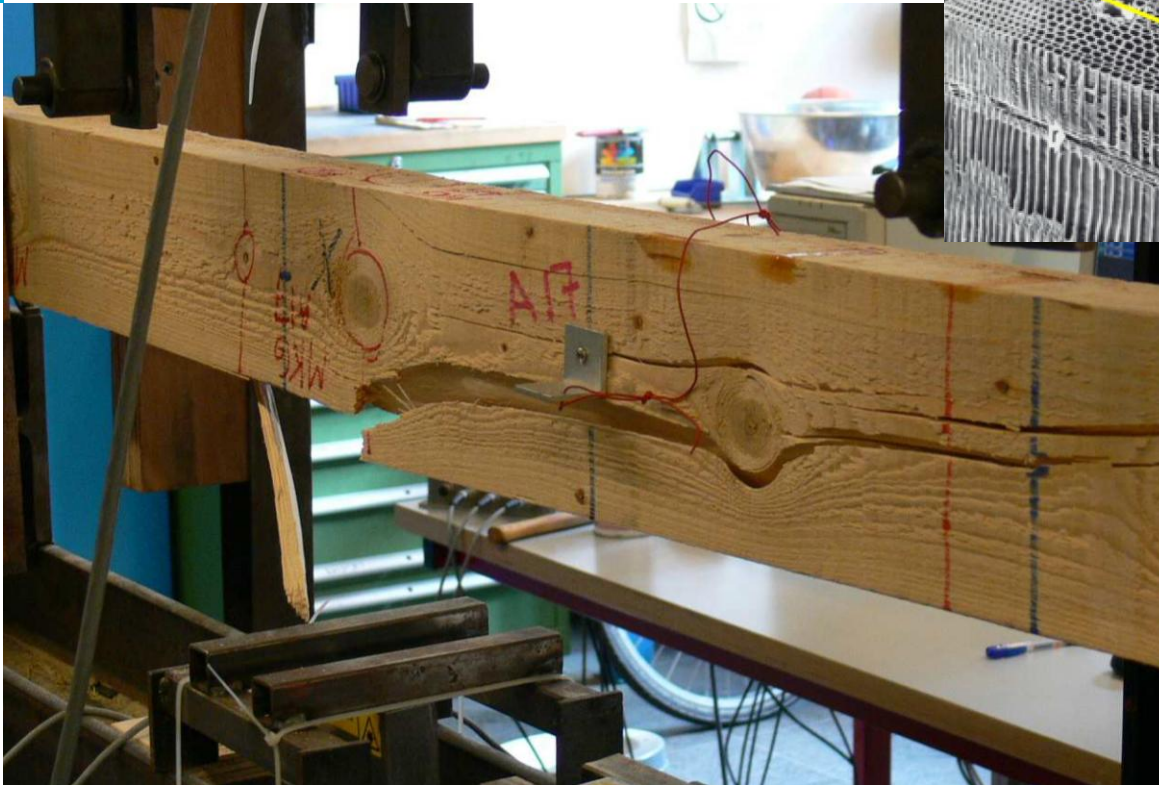


TU Delft – sectie hout-constructies en hout-technologie

Stevin II laboratorium



TU Delft – sectie hout-constructies en hout-technologie



MicroLab

Ingenieursbureau Boorsma B.V.

Eco-woningen (Emmeloord)



Havenkantoor (Lelystad)



Koninginnehof (Zuidwolde)

Ingenieursbureau Boorsma B.V.

Houten berging – Houtarchitectuurprijs 2010



Ingenieursbureau Boorsma B.V.



Bedankt voor uw
aandacht !

Einde

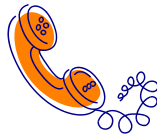
Tijd voor koffie



Contactgegevens



Tunis Hoekstra
Voorpiek 18
8322AC Urk



+31(0)638819574



t.hoekstra@boorsma-consultants.nl
tunishoekstra1988@gmail.com



<http://www.bouwmethout.nl>