

sterkte en stijfheid van houten vloeren onder seismische belasting

L.J. de Vilder

Voorwoord

Dit rapport is geschreven naar aanleiding van de recentelijke aardbevingen in Groningen. Door de toename van aardbevingen in dit gebied is er behoefte voor extra onderzoek naar de capaciteiten van de gebouwde huizen. In het kader van het bachelor eindwerk is er een deelonderzoek gestart naar de capaciteiten van de houten vloeren in deze huizen, hoe deze reageren op aardbevingen en wat de maximale capaciteit is.

Daarbij wil ik graag mijn dank uiten voor de begeleiding en het vrijmaken van tijd tijdens deze periode door Dr.ir. Geert Ravenshorst, Dr.ir. Pierre Hoogeboom en Korneel Moerbeek. Zonder hen was dit rapport niet tot stand gekomen. Daarnaast wil ik David Kroon en Cees bedanken voor het uitleggen van de apparatuur bij het onderzoeken van de nagels en schroeven.

Samenvatting

Het onderzoek gepresenteerd in dit rapport gaat in sterkte en stijfheid van houten vloeren en wat de verschillende invloeden zijn op deze vloeren. Er wordt gekeken naar de sterkte en stijfheid van houten vloeren, en hoe deze reageren onder seismische belasting. Met oog op de huidige situatie in Groningen is er gekeken naar de opbouw van vloeren in deze regio. Met een goede schets van de situatie in dit gebied is er gekeken naar verschillende aspecten die van invloed zijn op de seismische capaciteit van een houten vloer. Met deze capaciteiten bekend zal er vervolgens gekeken worden naar een versterking van de vloer met multiplex. Als laatste zal er gekeken worden naar de trek en buigsterkte van verschillende nagels en schroeven in vergelijking met de theoretische waarden.

Een belangrijk aspect tijdens de ontwerpfase op seismische belasting is de stijfheid van de houten vloer. Een hoge stijfheid zorgt voor een veel sterker gebouw, een verdeling van de krachten over de muren. Waarbij een lage stijfheid zorgt voor een individuele reactie waarbij bepaalde delen van het gebouw zwaarder belast kunnen worden als andere delen. Allereerst is er gekeken naar de huidige normen vanuit de eurocode, wat deze voorschrijven voor het bepalen van de vloerstijfheid en hoe deze tot stand zijn gekomen. Deze zijn vergeleken met voorschriften van Nieuw-Zeeland en bestaand onderzoek. Volgens de eurocode kan de stijfheid van de vloer bepaald worden door de uitwijking van de penanten te vergelijken met de uitwijking van de vloer. In Nieuw-Zeelandse zeggen de voorschriften dat houten vloeren bijna altijd een lage stijfheid hebben, en als flexibel beschouwd moeten worden. Deze aanname wordt ondersteund door bestaand onderzoek. Om tot een conclusie te komen voor de voorschriften van de eurocode is er gekeken naar de uitwijking van de penanten, deze uitwijking is zeer klein dat het onwaarschijnlijk is dat een houten vloer aan de eis voldoet. Om dit te verzekeren is er gekeken naar de stijfheid van bestaande vloeren en vloeren versterkt met multiplex en hoe groot de uitwijking is van deze vloeren.

Voor het berekenen van deze uitwijking is er gekeken naar wat de theoretische stijfheid is van deze houtenvloeren. Er is een vergelijking gedaan tussen twee bereken methodes. Deze methodes zijn een analytische model en een methode van de ASCE(American Society for Civil Engineers). Met de stijfheden bekend is vervolgens de uitwijking berekend. Deze uitwijking is te groot voor de starre vloer aanname. Vervolgens is er een analyse gedaan naar het versterken van de vloer. Bovenop de vloer worden multiplex platen gelegd en vervolgens zijn er weer waardes berekend met de methode van ASCE en het analytische model. Daaruit komt naar voren dat er een groot verschil in resultaten, en dat het analytische model een veel conservatiever antwoord geeft. De conclusie is dat bij het beschouwen van houtenvloeren op seismische belasting de vloer vrijwel altijd als flexibel beschouwt kan worden. Aanbevolen wordt dan ook om dit in de eurocode op te nemen. Verdere aanbeveling is om in vervolgstudie te onderzoeken welke van de twee bereken methodes correct is voor het berekenen van de stijfheid.

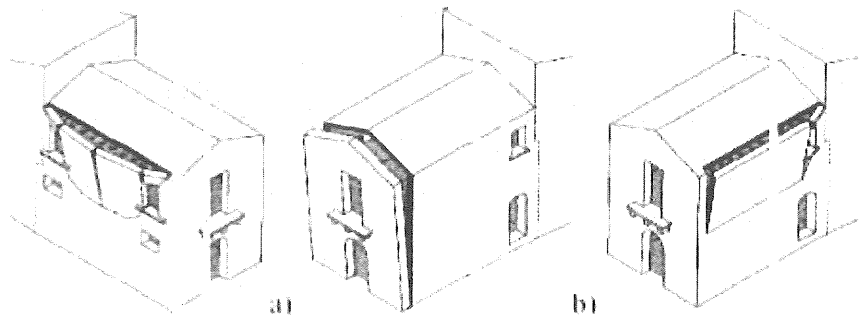
Als laatste is er gekeken naar de buig en trek kracht die opneembaar is door nagels. Uit onderzoek van (NZSEE, 2006) kwam naar voren dat de kracht die de nagel kan opnemen meestal maatgevend is. Echter is bij bestaande formules en onderzoeken alleen gekeken naar de elastische vervorming van de nagels. In dit onderzoek is er gekeken hoe sterk de nagels zijn in het plastisch vervormbare gebied. Bij het onderzoek van verschillende nagels en schroeven op buig en trekkracht kwam er naar voren dat er een onderschatting is in het vloeimoment van nagels.

Inhoudsopgave

Voorwoord	ii
Samenvatting	iii
1. Inleiding.....	2
Gebiedsanalyse woningen Groningen	3
2. Stijfheid van houten vloeren	5
Voorschriften vanuit Eurocode	6
Voorschriften Nieuw-Zeeland	6
3. Bepaling vloerstijfheid.....	7
Uitwijking penanten.....	8
Berekening vloer uitwijking.....	8
ASCE/NZSEE Methode.....	8
analytische methode.....	9
Sterkte van de vloer	11
Berekening stijfheid versterkte multiplex vloeren.....	11
ASCE/NZSEE Methode.....	12
Opstellen analytisch model voor multiplex vloeren	13
Analytische methode multiplex vloer	14
Evaluatie methodes.....	15
4. Testonderzoek nagels en schroeven	16
Trekproef.....	17
Buigproef.....	19
Vergelijking testonderzoek met theorie	23
5. conclusies	25
Bronvermelding.....	26
Bijlage 1: Gebruikte voorschriften eurocode	27
Bijlage 2: aanvulling NCZEE bij ASCE formule.....	28
Bijlage 3: berekening stijfheid en sterkte huidige vloer volgens analytische model	29
Bijlage 4: Karakteristieke eigenschappen multiplex vloer.....	32
Bijlage 5: berekening stijfheid multiplex vloer volgens aangepast analytisch model	33
Bijlage 6: opzet trekproef en buigproef	36

1. Inleiding

Dit onderzoek gaat in op de sterkte en stijfheid van houten vloeren onder seismische belasting. Door het toenemende aantal en sterkte van aardbevingen in Groningen ten gevolge van de gaswinning is er behoefte naar extra onderzoek. Dit onderzoek richt zich op de capaciteiten van de bestaande huizen. Een belangrijk aspect van deze huizen is dat ze zijn gebouwd uit metselwerkwallen met houten vloeren en houten daken. Metselwerkwallen staan bekend als een bouwstructuur die slecht tegen seismische belasting kan, dit vanwege de geringe buiging die het metselwerk kan opnemen. De houten vloeren en daken van de huizen zijn opgebouwd uit balken, beplanking en de verbindingsmiddelen daartussen. Een bezwijkmechanisme van deze huizen is dat de vloeren teveel bewegen waardoor de metselwerkwallen breken. Het probleem van deze combinatie is dat de flexibiliteit van vloeren erg hoog is waardoor de metselwerkwallen loodrecht op de belasting richting bezwijken. Dit wordt veroorzaakt door de wanden die uit de neutrale as bewegen. De flexibiliteit en ductiliteit van de vloeren zijn mede afhankelijk van de verbindingsmiddelen tussen de planken en balken. Deze verbindingsmiddelen zijn in de meeste gevallen. Doordat deze nagels meebuigen tijdens een aardbeving komt er beweging tussen de beplanking waardoor de vloer een lagere stijfheid krijgt dan voorheen werd aangenomen.



Figuur 1: Beweging uit de neutrale as ten gevolge van flexibiliteit van de vloer (ARUP, 2014)

Het doel van dit onderzoek is om de sterkte en stijfheid van houten vloeren te bepalen. Er zal gekeken worden naar de specifieke opbouw van deze vloeren en hoe de stijfheid en sterkte van deze vloeren bepaald kan worden. Dit gebeurt eerst op basis van een literatuuronderzoek naar de voorgeschreven bouwnormen en bepaling volgens een analytisch model. Hierbij wordt er gekeken naar zowel de bestaande als vloeren versterkt met multiplex. Met deze stijfheid bekend kan er vervolgens een schatting voor de uitwijking gedaan worden. Daarna zal er een test onderzoek gedaan worden naar de trek en buigcapaciteit van verschillende nagels en schroeven. Deze zullen worden vergeleken met de theoretische waarden, en hoe deze resultaten de stijfheid van de vloer beïnvloeden.

De opbouw van dit rapport is als volgt. Hoofdstuk 1 gaat in op de bestaande woningen in Groningen en wat afmetingen en gebruikte materialen zijn van deze huizen. In hoofdstuk 2 wordt er gekeken naar de theoretische achtergrond voor de stijfheid van vloeren en wanneer deze vloeren als star beschouwd mogen worden volgens de eurocode en de Nieuw-Zeelandse normen. Vervolgens wordt in hoofdstuk 3 naar de uitwijking van de penanten. Er wordt gekeken naar wat de theoretische stijfheid is van de vloeren volgens de ASCE methode en daarna aan de hand van een analytisch model. Met deze stijfheden bekend wordt er gekeken naar de uitwijking van de vloer en of deze als star beschouwd mag worden. Als laatste wordt er in hoofdstuk 4 een testonderzoek gedaan naar de buig en trekkracht van verschillende nagels en schroeven. Beide zullen worden vergeleken met de theoretische krachten en vervolgens zal er een conclusie worden getrokken of deze vergelijkbaar zijn. In Hoofdstuk 5 zal een eindconclusie worden gemaakt over de sterkte en stijfheid van houten vloeren onder seismische belasting

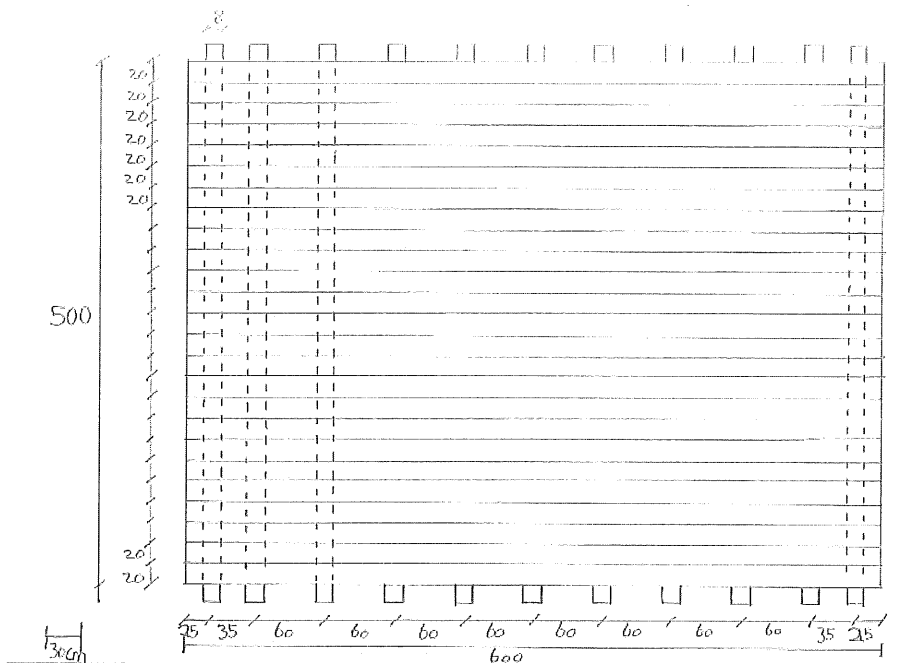
Gebiedsanalyse woningen Groningen

Om de opbouw van de vloeren te bepalen is het van belang om te weten hoe een gemiddeld huis eruit ziet in de omgeving Loppersum. Aspecten die invloed hebben op de stijfheid en sterkte van de vloer zijn als volgt.

- Afmetingen vloer
- Afmetingen balken
- Afmetingen planken
- Afmetingen nagels
- Onderlinge afstand nagels

Zowel de balken als vloerplanken zijn gemaakt van vurenhout, de planken hebben een afmeting van 200x24 mm en lopen over de gehele vloer in de lengte richting. De balken hebben een afmeting van 80x180 mm en lopen over de gehele vloer in breedte richting met een hart op hart afstand van 600 mm. De nagels hebben een doorsnede van 3 mm en een lengte van 60 mm. Bij elke vloerplank en balk verbinding worden er 2 nagels gebruikt met een onderlinge afstand van 100 mm. Deze nagels beginnen op 50 mm afstand van de muur en eindigen op 50 mm afstand van de muur.

De afmetingen van de vloer zijn 5.33 bij 5.77 meter met een uitbouw aan de lange zijde. Dit zorgt voor een extra torsie moment bij belasting van het huis onder een assige seismische excitatie. Het huis is daarnaast ook ingekort vanwege de laboratorium restricties. Beide eigenschappen van het huis zorgen voor een lastig uit te voeren stijfheid en sterkte berekening van de vloer, wat het doel is van het onderzoek. Daarom wordt de vloer in eerste instantie vereenvoudigd tot de afmetingen 6.00 bij 5.00 meter zonder uitbouw aan de lange zijde, hiermee worden de berekeningen iets eenvoudiger en wordt er een duidelijker beeld geschetst van de situatie. De opbouw van de vloer zoals gebruikt in het gehele verslag is weergegeven in figuur 2.



Figuur 2: Opbouw vloer

De sterkte klasse van de vloer moet bepaald worden via de eurocode normen. Vuren hout is het gebruikte houtsoort in de meeste huizen. Vuren hout is een veel gebruikt houtsoort, met verschillende sterkte klassen. Volgens de bouwnorm NEN-EN 338 tabel 1 zijn de klassen van sterkte voor vuren hout verschillend tussen C30 tot C14. In dit onderzoek wordt er van C24 uitgegaan.

Kort samengevat zijn de gegevens als volgt:

Lengte vloer	$L = 6000 \text{ mm}$
Breedte vloer	$B = 5000 \text{ mm}$
Hart-op-hart afstand balken	$l = 600 \text{ mm}$
Breedte van de planken	$W = 200 \text{ mm}$
Dikte van de planken	$t = 24 \text{ mm}$
Afstand nagels	$s_n = 100 \text{ mm}$
Diameter nagels	$d = 3 \text{ mm}$
Lengte nagels	$t_n = 60 \text{ mm}$
Sterkte klasse	C24

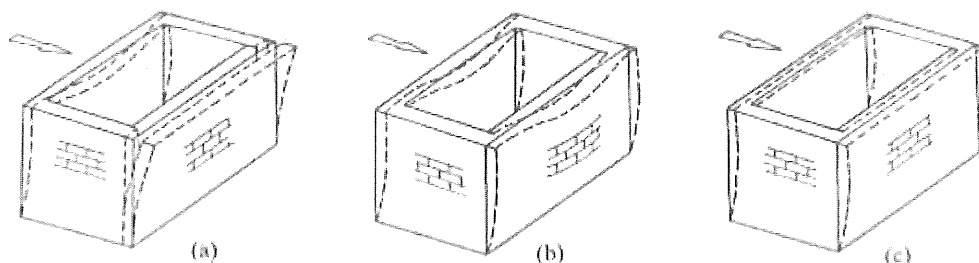
In de volgende hoofdstukken waar berekeningen worden gedaan zal er gewerkt worden met deze gegevens. Dit om een zo'n goed mogelijke benadering te maken van de huidige situatie.

2. Stijfheid van houten vloeren

Een belangrijke vraag bij het benaderen van een gebouw op seismische excitatie is wanneer de vloer als star of flexibel beschouwd mag worden. Het bepalen van welk mechanisme van toepassing is heeft grote invloed op het berekenen van een structuur. Wanneer dit verkeerd wordt bepaald kan het gevolgen hebben bij verdere berekeningen op seismische belasting van een gebouw. Een goede benadering naar de stijfheid van een vloer is dus van groot belang.

Als een vloer voldoende star is, ontstaat er interactie tussen beide muren waardoor het gebouw een hogere resistentie heeft tegen horizontale geïnduceerde krachten (ARUP, 2014, p. 8). De vloer zorgt voor een verbinding tussen de muren. Daarbij zorgt een starre vloer voor een verdeling van de krachten over beide muren wanneer de krachten niet gelijk zijn (ARUP, 2014, p. 8). Een gebouw met een starre vloer reageert dus als een geheel op een aardbeving met samenwerking tussen de verschillende componenten van het gebouw. Krachten worden verdeeld en afgedragen wat er voor zorgt dat het gebouw een hogere capaciteit krijgt tegen seismische belasting.

Een flexibele vloer daarentegen verplaatst flink tijdens een aardbeving wat op zijn beurt weer zorgt voor een verplaatsing van de dragende muren uit zijn neutrale as. (ARUP, 2014, p. 57). Dit wordt volgens (Giongo, 2013, p. 33) veroorzaakt doordat de muren onafhankelijk van elkaar gaan bewegen. Een flexibele vloer zorgt dus voor individueel gedrag in het gebouw. Bepaalde componenten kunnen overbelast worden, terwijl andere delen een veel lagere belasting hebben. Bij ongunstige belasting kan er snel een bezwijking optreden.



Figuur 3: VERPLAATSING VAN MUREN MET VERSCHILLENDE SOORTEN VLOEREN UIT (NZSEE, 2006, p. 46). met a) geen vloer, b) flexibele vloer c) starre vloer

Het is duidelijk dat een starre vloer de voorkeur heeft bij het dimensioneren van een gebouw. Het probleem bij houten vloeren is alleen dat het onduidelijk is wanneer deze als star beschouwd mag worden. Hoe wordt het bepaald volgens de voorschriften, En op welke aspecten van de vloer dit beoordeeld moet worden. Voor het onderzoek zal er gekeken worden naar de normen vanuit de eurocode en deze worden vergeleken met die van de NZSEE (New Zealand Society for Earthquake Engineering). Daarnaast is er ook gekeken naar bestaand onderzoek van (Giongo, 2013) die al testen heeft gedaan naar de stijfheid van houten vloeren.

Voorschriften vanuit Eurocode

Bij de eurocode is er gekeken naar NEN-EN 1998-1, die de voorschriften geeft voor de berekening en ontwerp van aardbeving bestendige structuren. Alle normen die mogelijk van toepassing zijn zullen worden behandeld. De normen die van toepassing zijn, zijn toegevoegd als een figuur in het verslag.

4.3.1(4) zegt dat een vloer als star beschouwd mag worden wanneer gemodelleerd met zijn daadwerkelijke flexibiliteit, de horizontale verplaatsing nergens groter is als de starre vloer berekening met 10%. Bij en starre vloer benadering is er geen uitwijking van de vloer zelf, alleen van de penanten. Wat het voorschrift eigenlijk zegt is dat de uitwijking van de vloer niet meer dan 10% mag zijn dan de uitwijking van de penanten. Dit vraagt echter om een model benadering waarbij de uitwijking van alleen de penanten vergeleken moet worden met de uitwijking van penanten en vloer in het horizontale vlak.

Deze berekening zal uitgevoerd worden in hoofdstuk 3, waar gekeken zal worden naar de uitwijking van de penanten en de uitwijking van de vloer zelf.

Omdat er weinig voorschriften zijn vanuit de eurocode zal er gekeken worden naar de voorschriften van Nieuw-Zeeland voor het beoordelen van de vloeren (NZSEE, 2006), waar ook veel gebouwd is met metselwerk wanden en houten vloeren, en wat de voorschriften daar zeggen over de criteria voor de stijfheid van een vloer.

Voorschriften Nieuw-Zeeland

De voorschriften uit Nieuw-Zeeland 10.3.3 (NZSEE, 2006, p. 81) zeggen dat bijna alle houten vloeren als flexibel beschouwt moeten worden. Responsie van de vloer kan beoordeeld worden op de richtingen loodrecht en parallel aan de richting van de balken.

Uit de Voorschriften komt naar voren dat de stijfheid van de vloer sterk beïnvloed wordt door de nagel verbindingen (Wilson et al, geciteerd in New Zealand Society For Earthquake Engineering, 2006, p. 81). Daarbij wordt er gebruik gemaakt van bestaand onderzoek waaruit blijkt dat de vloer vrijwel altijd als flexibel beschouwd kan worden. Met een tabel kan de conditie van de houten vloer bepaald worden (zie figuur 5). Met deze tabel kan vervolgens een berekening gemaakt worden voor de stijfheidsmodulus van de vloer. Deze manier van berekenen is een aanvulling op de Berekeningen vanuit de ASCE en zal toegelicht worden in hoofdstuk 3.

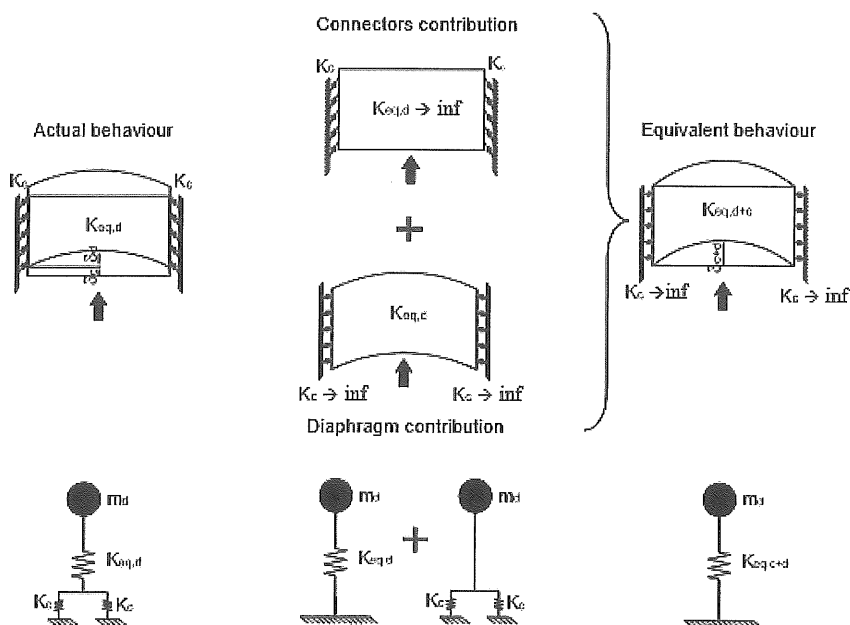
Condition rating	Condition description
Poor	Considerable borer; floorboard separation greater than 3 mm; water damage evident; nail rust extensive; significant timber degradation surrounding nails; floorboard joist connection appears loose and able to wobble
Fair	Little or no borer; less than 3 mm of floorboard separation; little or no signs of past water damage; some nail rust but integrity still fair; floorboard-to-joist connection has some but little movement; small degree of timber wear surrounding nails
Good	Timber free of borer; little separation of floorboards; no signs of past water damage; little or no nail rust; floorboard-to-joist connection tight, coherent and unable to wobble

Figuur 4: criteria beoordeling houten vloer volgens tabel 10.7 (NZSEE,2016,P83)

De voorschriften van Nieuw-Zeeland zijn vrij duidelijk dat de vloer als flexibel beschouwt moeten worden. De eurocode vraagt echter om een analyse van het gebouw. In het volgende hoofdstuk zal deze analyse uitgevoerd worden. Er zal gekeken worden 2 soorten vloeren en of deze als stijf beschouwd mogen worden volgens de eurocode. Deze uitkomst zal weer teruggelinkt worden naar de voorschrift van de eurocode.

3. Bepaling vloerstijfheid

In dit hoofdstuk wordt er gekeken naar de theorie omtrent de stijfheid en sterkte van houten vloeren en hoe deze berekend wordt. Op basis van het literatuur onderzoek zijn er formules naar voren gekomen die deze benaderen. Met deze waarde wordt een schatting gedaan naar de uitwijking van de vloer. Uit de voorschriften van de eurocode kwam al naar voren dat de uitwijking van de vloer niet meer dan 10% van de uitwijking mag zijn bij de starre vloer benadering. De definitie van een starre verbinding is dat deze niet vervormd, dit betekent dat in het geval van een starre vloer alleen de penanten uitwijken. De uitwijking kan als volgt benaderd worden zoals weergegeven in figuur 5. Deze benadering zegt dat de totale uitwijking van het gebouw kan worden bepaald als de uitwijking van de penanten plus de uitwijking van de vloer. De uitwijking van de vloer mag dus maximaal 10% zijn in vergelijking met de uitwijking van de penanten.



Figuur 5: uitwijking vloer volgens (Pampanin, Brignola, & Podestà , 2008)

De berekening van de penanten kan gedaan worden door gebruik te maken van vergeet-me-nietjes uit de mechanica

De berekening van de uitwijking van de vloer is wat uitgebreider. Om tot de juiste uitwijking te komen moet er eerst gekeken worden naar de algehele stijfheidsmodulus. Omdat de stijfheidsmodulus van verschillende factoren afhankelijk is, zijn er meerdere manieren om deze te berekenen. In dit rapport zullen er twee methodes behandeld worden.

Uit verschillende onderzoeken komt een G-equivalente waarde naar voren waarmee de algehele stijfheid van de vloer berekend kan worden. In het onderzoek van (Pampanin, Brignola, & Podestà , 2008) worden er twee methodes gebruikt voor het berekenen van deze G-waarde en de sterkte van de vloer. Dit is een analytisch model en een methode opgesteld door de ASCE(American Society of Civil Engineers). Bij verder onderzoek komt er nog een aanvulling vanuit de NZSEE(New Zealand Society for Earthquake Engineering) naar voren voor bij de ASCE methode. Vervolgens kan aan de hand van deze g-equivalente waarde de stijfheid en sterkte van de vloer berekend worden. Vervolgens zal er nog gekeken worden naar een versterking van de vloer met multiplex platen, voor deze versterking wordt via beide methode weer een schatting van de sterkte en stijfheid gedaan. Omdat het bestaande analytische model van (Pampanin, Brignola, & Podestà , 2008) dit niet kan berekenen is er een toevoeging opgesteld om het analytische model aan te passen met de versterking met multiplex.

Uitwijking penanten

Om deze uitwijking te berekenen moet er eerst gekeken worden naar de optredende kracht op de vloer. Vervolgens kan er met het systeem van een uitkragende ligger de uitwijking berekend worden. Dit systeem is de meest ongunstige situatie voor een wand, waarbij er vanuit wordt gegaan dat er geen interactie is en elke muur individueel reageert. Om deze berekening te kunnen uitvoeren zijn er wel een extra gegevens nodig over de opbouw van de muur. De breedte, hoogte en elasticiteit van de muur moeten onderzocht worden.

Deze gegevens zijn als volgt:

$$\begin{aligned}b &= 208 \text{ mm} \\l &= 5000 \text{ mm} \\h &= 2880 \text{ mm} \\E &= 3000 \text{ N/mm}^2\end{aligned}$$

De bepaling voor de optredende kracht op de muur is gebruik gemaakt van de berekening uit het rapport van (ARUP, 2014). Bij het berekenen van de totale kracht moet er een analyse van het hele gebouw gemaakt worden, in dit onderzoek wordt er echter alleen naar de vloer gekeken en is deze analyse niet in beschouwing genomen. Om toch te kunnen rekenen met een resulterende kracht is deze overgenomen uit het rapport van (ARUP, 2014). Aangenomen is dat het huis in deze berekening vergelijkbare afmetingen heeft als het huis dat in dit verslag in beschouwing wordt genomen.

Met deze aanname als correct kan dezelfde optredende schuifkracht op de vloer worden aangenomen. deze schuifkracht in het vlak is als volgt:

$$F_t = 218 \text{ kN}$$

Met alle waardes bekend kan een schatting gedaan worden van de uitwijking.

$$\begin{aligned}I &= \frac{1}{12} * b * l^3 = 2,167 * 10^{12} \text{ mm}^4 \\w &= \frac{218000 * 2880^3}{3 * 3000 * (2,167 * 10^{12})} = 0,27 \text{ mm}\end{aligned}$$

De uitwijking van de vloeren mag dus maar 10% zijn van 0,27 mm dit is afgerond 0,03 mm. Het lijkt al vrij duidelijk dat de vloer niet aan de eis kan voldoen voor de starre benadering.

Berekening vloer uitwijking

Ondanks dat het duidelijk is dat de starre vloer aanname bijna niet haalbaar is, is het toch interessant om de stijfheid van de vloer te benaderen en de uitwijking hiervan. Hoe ver wijkt deze uit, en is deze in combinatie met de uitwijking van de muren laag genoeg om bezwijken te voorkomen van de buitenwanden.

ASCE/NZSEE Methode

De ASCE methode is een simpele methode waarmee de vloerstijfheid bepaald kan worden (ASCE, 2014) (zie figuur 11). Met een aanvulling vanuit de NZSEE waarmee de vloer beoordeeld wordt op conditie en afwerking van de vloer figuur 12 (NZSEE, 2006, p. 84) kan een betere schatting geleverd worden van de schuif stijfheid. Vervolgens kan de stijfheid met Figuur 13 (NZSEE, 2006, p. 84) weer terug gerekend worden naar de verschillende vloer types die mogelijk zijn.

Aan de hand van de tabellen waarin de g-equivalente waarden worden gegeven kan de vloerstijfheid berekend worden. met deze g-equivalente waarde kan samen met de waarde voor de lengte, breedte en dikte van de planken de totale vloerstijfheid berekend worden.

Diaphragm Type		Shear Stiffness, G_d (KN/m)	Yield Strength, R_n (N/m)
Single Straight Sheathing		350	1750
Double Straight Sheathing	Chorded	2600	8750
	Unchorded	1200	5850
Single Diagonal Sheathing	Chorded	1400	8750
	Unchorded	700	6130
Double Sheathing with Straight Sheathing or Flooring Above	Chorded	3200	13100
	Unchorded	1600	9130
Double Diagonal Sheathing	Chorded	3100	13100
	Unchorded	1600	9130

Figuur 6: Stijfheid en sterkte voor houtenvloeren (ASCE 41-13(Oliver,210),2014)

De formule voor de stijfheid van de vloer is als volgt vanuit gaande dat de vloer in goede staat is:

$$K_d = \frac{4bG_d}{L}$$

Waarin

$$G_d = \text{stijfheid volgens figuur 5, in dit geval voor enkele beplanking} = 350 \frac{N}{mm}$$

De rest van de waarden zijn zoals eerder bepaald in hoofdstuk 2.

Dit geeft een uiteindelijke vloerstijfheid van:

$$K_d = \frac{4 * 5000 * 350}{6000} = 1,167 \text{ kN/mm}$$

Het rapport van (ARUP, 2014) zegt dat aan de vloerstijfheid voldaan is als $K_d = \frac{F}{\Delta_{d,max}}$ waarin $\Delta_{d,max}$ de maximaal toelaatbare vloeruitwijking is. Omgekeerd betekend dit dus dat de vloerafwijking gelijk is aan de optredende kracht gedeeld door de stijfheid van de vloer.

Uitwijking van de vloer

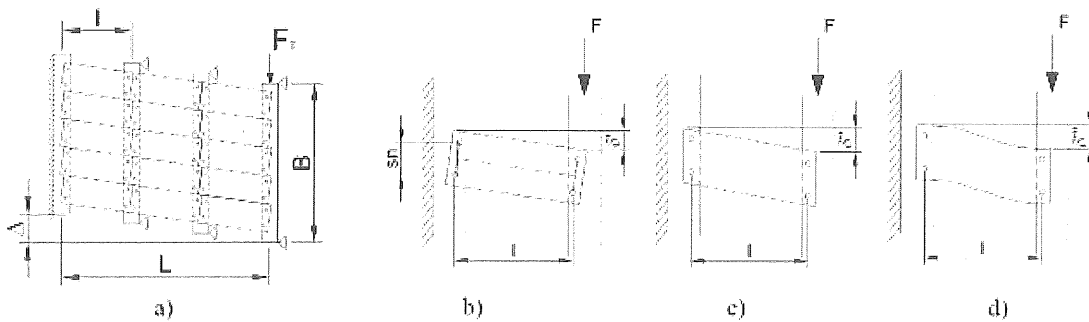
$$\Delta_d = \frac{F}{K_d} = \frac{210}{1,167} = 179,94 \text{ mm}$$

De sterkte vereist geen berekening en kan worden afgelezen uit Figuur 11 onder "yield strength". De waarde mag aangenomen worden als $1,75 \text{ N/mm}$.

analytische methode

Bij deze methode wordt er vanuit gegaan dat de vloerplanken overspannen tussen twee ondersteunende balken. Er wordt alleen gekeken naar de vloerplanken en niet naar de capaciteiten van de balken. De berekening klopt alleen als de breedte parallel is aan de ondersteunende balken. Volgens de methode kan de flexibiliteit van de vloer bepaald worden met een analytische methode door alleen te kijken naar vervorming en stijfheid van de vloer waarin drie verschillende vervormingen worden aangenomen (Pampanin, Brignola, & Podestà, 2008). Deze vervormingen zijn afgebeeld in figuur 14.

Deze methode gaat er vanuit dat elke plank wordt onderbroken per ondersteunende balk, men is bij de situatie in Groningen geïnteresseerd in doorlopende planken die over de gehele lengte lopen. Om deze situatie correct te beschrijven moet er gekeken worden naar de vervorming over de gehele lengte in plaats van per balk. Als men de situatie doortekent met meerdere balken wordt er waargenomen dat er maar een mogelijk vervormingsmodel is en dat is door de huidige vervormingen door te tekenen over de gehele lengte. Aangezien het model niet veranderd zal er ook minimale verandering optreden in de vloerstijfheid bij doorlopende planken. Dit wordt ook ondersteund door onderzoek van (Pampanin, Brignola, & Podestà , 2008). Hierin zijn verschillende plank configuraties geanalyseerd in een eindige elementen methode waaruit als resultaat naar voren kwam dat er geen invloed is op de stijfheid van de vloer. Deze methode is dus ook een correcte weergave van een vloer met doorlopende planken.



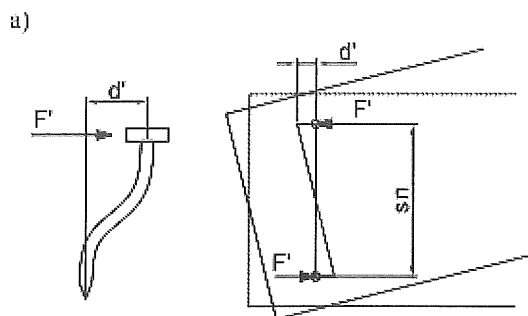
Figuur 7: vervormingsgedrag houtenplanken volgens (ARUP, 2014, p. 64)

De drie methodes a, b en c weergeven de vervormingen op de volgende manier:

- b: stijve rotatie van de plank door het vervorming/afbreken van de nagels
- c: afschuif vervorming van de plank
- d: buig vervorming van de plank

deze drie vervormingen geven een totale vervorming van:

$$\delta = \delta' + \delta'' + \delta''' = \left(\frac{F'}{K_{ser}} * \frac{2}{s_n} + \frac{\chi}{GA} * F + \frac{l^2}{12EI} * F \right) * l$$



Figuur 8: afschuiving nagel (Pampanin, Brignola, & Podestà , 2008)

deze totale vervorming kan vervolgens worden geschreven tot een formule voor de equivalente schuifkracht volgens (Pampanin, Brignola, & Podestà , 2008):

$$G_{eq} = \frac{\chi}{A} * \frac{F * L}{\delta} = \frac{\chi}{A} * \left(\frac{l}{k_{ser} * S_n^2} + \frac{\chi}{GA} + \frac{l^2}{12EI} \right)^{-1}$$

Waarmee de vloerstijfheid berekend kan worden volgens de zelfde formule als die van de ASCE.

Voor de berekening zijn extra waardes nodig voor de sterkte en stijfheid van het gebruikte hout. Zoals eerder bepaald wordt er van houtsoort C24 uitgegaan.

$$\text{Equivalente schuifmodulus} \quad G_{eq} = \frac{\chi}{A} * \left(\frac{l}{k_{ser} * S_n^2} + \frac{\chi}{GA} + \frac{l^2}{12EI} \right)^{-1} = 2,86 \frac{N}{mm^2}$$

$$\text{Equivalente schuifmodulus alleen nagels} \quad G_{eq} = \frac{\chi}{A} * \left(\frac{l}{k_{ser} * S_n^2} \right)^{-1} = 2,88 \frac{N}{mm^2}$$

Omdat de schuifmodulus sterk wordt beïnvloedt door de nagel capaciteit is er naar de capaciteit van deze waarde gekeken, en het verschil bekeken ten opzichte van de volledige formule. Dit geeft een overschatting van 0,7% in vloerstijfheid. Er kan voor de benadering bij bestaande vloeren dus alleen gekeken worden naar de afschuiving van de nagels.

$$\text{Stijfheid van de vloer} \quad K_d = \frac{4 * B * l * G_{eq}}{L} = 0,228 \frac{kN}{mm}$$

$$\text{Uitwijking van de vloer} \quad \Delta_d = \frac{F}{K_d} = \frac{210}{0,228} = 921,05 \text{ mm}$$

Sterkte van de vloer

De sterkte van de vloer wordt berekend door naar de capaciteit van de nagels en naar de capaciteit van de planken te kijken. De maximaal opnemende krachten worden met elkaar vergeleken en de laagste waarde is maatgevend voor de maximale capaciteit van de vloer.

Ondanks dat vrijwel zeker is dat de nagel capaciteit maatgevend is (ARUP, 2014, p. 70), is het toch van belang dat de vloer capaciteit meegenomen wordt in de berekening.

$$\text{Ontwerp weerstand van de nagel} \quad F_{v,Rd} = \frac{F_{v,Rk,min}}{\gamma_m} = \frac{0,80}{1,3} = 0,62 \text{ kN}$$

$$\text{Ontwerp weerstand van de vloer} \quad F_{vloer,nagels,Rd} = \frac{F_{v,Rd} * 2 * n_b}{\frac{l}{2 * S_n} + \frac{1}{2}} = 8,86 \text{ kN}$$

$$\text{Schuifweerstand van de vloer per meter oppervlak} \quad V_{nagel,Rd} = \frac{F_{vloer,nagels,Rd}}{2B} = 0,886 \frac{kN}{m}$$

Berekening Vloersterkte

$$\text{Ontwerp schuifsterkte} \quad f_{v,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_m} = 3,07 \text{ N/mm}^2$$

$$\text{Schuifweerstand per vierkante meter oppervlak} \quad V_{vloer,Rd} = \frac{f_{v,d} * A_v}{2B} = 36,84 \text{ kN/m}$$

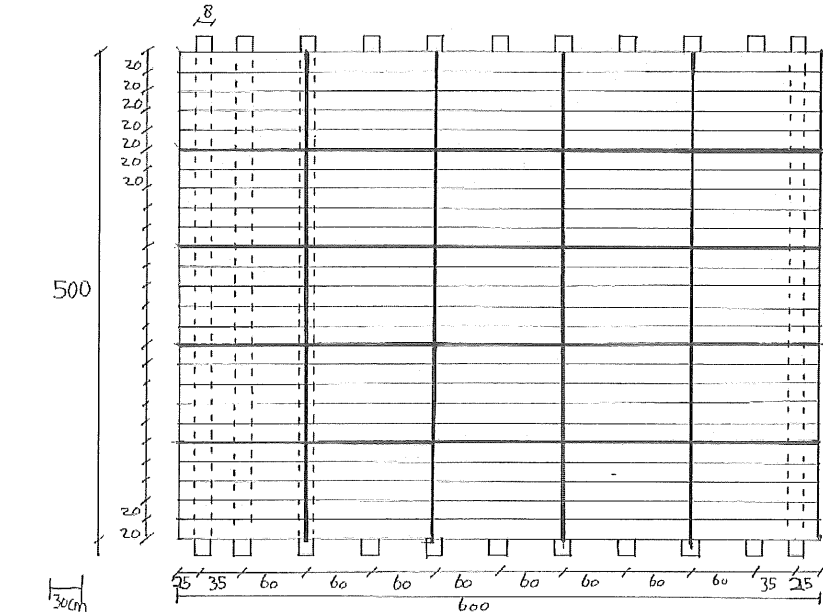
Zoals al eerder werd aangenomen is de sterkte van de nagels maatgevend voor de algehele sterkte van de vloer. Het verschil tussen de capaciteiten van de vloer en nagels is aanzienlijk, en geeft aan hoe afhankelijk een vloer is voor sterkte op afschuiving van de nagelverbindingen.

Berekening stijfheid versterkte multiplex vloeren

Om de vloer correct te analyseren in de versterkte situatie moet er eerst gekeken worden naar de eigenschappen van multiplex vloeren. Multiplex is opgebouwd uit verschillende lagen hout, deze lagen worden vervolgens vast gelijmd aan elkaar en vormen zo een plaat. Door de vezelrichting van het hout per laag te laten verschillen wordt het verschil in elasticiteitsmodulus tussen parallel en loodrecht op de vezelrichting verkleind. Met behulp van (Association of Finnish Plywood Industry (AFPI)) zijn de karakteristieke eigenschappen van multiplex bepaald. De multiplex platen zullen net zoals de bestaande vloer gemaakt worden van zacht hout.

De vloerplaten kunnen een maximale grootte hebben van 1,20 bij 2,40. Echter om de platen goed te laten passen in de gekozen vloer opbouw is er gekozen voor platen van 1,00 bij 1,20. Dit zodat er precies 5 platen in de breedte geplaatst kunnen worden, en 5 platen in de lengte. De gekozen dikte is 24 mm.

Er wordt gekozen voor een nagel afstand van 100 mm. Met een begin afstand van de muur van 100 mm. De huidige nagels liggen op een begin afstand van 50 mm met de muur. Deze nieuwe nagels komen dan precies tussen de bestaande nagels in de houten vloer. Voor de nieuwe nagels wordt een diameter van 5 mm gebruikt, om de stijfheid van versterking hoger te maken.



Figuur 9: Ligging multiplexplaten aangegeven met dikke lijn

ASCE/NZSEE Methode

Het gebruiken van een multiplex vloer staat niet tussen de vloer types in het diagram van de ASCE. Het kan wel vergeleken worden andere types die vergelijkbaar zijn. De karakteristieke eigenschap van multiplex is dat het opgebouwd is uit lagen hout met de vezelrichting in verschillende richtingen. Het kan dus vergeleken worden met een vloer met planken in beide richtingen. De stijfheid van deze versterking is volgens figuur 11, 3200 kN/m. Er wordt weer vanuit gegaan dat de vloer in goede conditie is, zoals weergegeven in de aanvulling uit figuur 12.

$$K_d = \frac{4bG_d}{L}$$

Waarin

$$G_d = \text{stijfheid mutliplex} = 3200 \frac{N}{mm}$$

Dit geeft een uiteindelijke vloerstijfheid van:

$$K_d = \frac{4 * 5000 * 3200}{6000} = 10,67 \text{ kN/mm}$$

Uitwijking van de vloer

$$\Delta_d = \frac{F}{K_d} = \frac{210}{10,67} = 19,68 \text{ mm}$$

De sterkte vereist geen berekening en kan worden afgelezen uit Figuur 11 onder "yield strength". De waarde wordt bepaald als 13,10 N/mm.

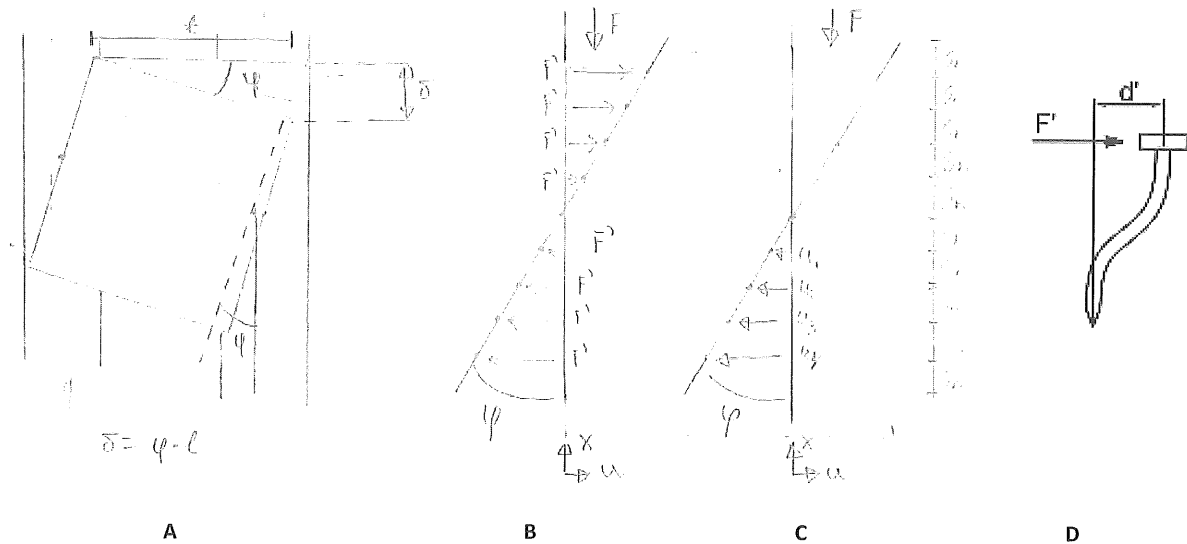
Opstellen analytisch model voor multiplex vloeren

Bij de oude situatie voor het vervormen van nagels wordt er vanuit gegaan dat het korte planken zijn met 2 nagels, de versterking is echter een plaat met 9 nagels. Om de versterkte situatie te kunnen begrijpen moet er eerst gekeken worden naar de analyse van de huidige situatie. Deze oude situatie gaat uit van een optredend moment ten gevolgen van de kracht F en een tegenwerkend moment op gewekt uit nagels.

Deze situatie geeft een moment van $F * l = 2 * F' * s_n$

De nieuwe situatie moet worden uitgebreid met de versterking gecombineerd met de oude situatie. De nieuwe situatie is dus de vervorming van de multiplex opgeteld bij de vervorming van de onderliggende planken. De resulterende kracht van de onderliggende planken moet met 5 vermenigvuldigd worden aangezien er 5 planken onder de multiplex plaat liggen.

$$F * l = 4 * (4 * s_n * F' + 3 * s_n * F' + 2 * s_n * F' + s_n * F') + 5 * 2 * s_n * F' = 50 * F' * s_n \quad (1)$$



Figuur 9: Analyse multiplex vloer A: verplaatsing multiplex plaat, B: resulterende kracht in nagels, C: Horizontale verplaatsing ten gevolge van hoek verdraaiing, D: optredende kracht per nagel

Met bovenstaande figuur kunnen er drie formules worden opgesteld. Allereerst is de verplaatsing afhankelijk van de hoek maal de lengte (vergelijking 2). Deze hoek maal de afstand van de nagel is gelijk aan de horizontale verplaatsing van de nagel. (vergelijking 4) De optredende kracht in de balk is op zijn beurt weer gelijk aan de kracht die op elke nagel werkt maal de afstand (vergelijking 5). Deze kracht op elke nagel wordt weer tegengewerkt door de verschuivingsmodulus maal de verschuiving (vergelijking 3)

$$\delta = \varphi * l \quad (2) , \quad F_i = k_{ser} * u_i \quad (3), \quad u_i = \varphi * x_i \quad (4)$$

$$F * l = \sum F_i * x_i \quad (5)$$

Waarin φ de hoek verdraaiing is ten gevolgen van de uitwijking, u_i de verplaatsing van de nagel in de lengte richting, x_i is de lengte van de arm die de nagel maakt naar het midden van de plank. Deze verschilt voor elke nagel.

Invullen van vergelijkingen 3 en 4 in vergelijking 5:

$$F * l = k_{ser} * \varphi * \sum x_i^2 \quad (6)$$

Daarna vergelijking 2 invullen in vergelijking 6. Deze vervolgens omschrijven tot een formule voor delta.

$$F * l = k_{ser} * \frac{l}{\delta} * \sum x_i^2, \quad \delta = \frac{F * l^2}{k_{ser} * \sum x_i^2} \quad (7)$$

Voor de situatie met vloer versterking is:

$$\sum x_i^2 = 2 * ((4 * s_n)^2 + (3 * s_n)^2 + (2 * s_n)^2 + (1 * s_n)^2) + 5 * 2 * \left(\left(\frac{1}{2} s_n\right)^2\right) = 62,5 * s_n^2 \quad (8)$$

Waarin het eerste deel voor de multiplex vloer geldt en het tweede deel voor de onderliggende vloerplanken.

Invullen van vergelijking (1) in vergelijking (7):

$$\delta' = \frac{50 * F' * l}{k_{ser} * 62,5 * s_n} \quad (9)$$

Samengevoegd met de andere vervormingen geeft dit:

$$\delta = \delta' + \delta'' + \delta''' = \left(\frac{50 * F' * l}{k_{ser} * 62,5 * s_n} + \frac{\chi}{GA} * F + \frac{l^2}{12EI} * F \right) * l$$

De g-equivalente kracht wordt vervolgens berekend met formule 10. Bij deze formule wordt opnieuw vergelijking 1 ingevuld om de kracht F te elimineren uit de vergelijking.

$$G_{eq} = \frac{\chi}{A} * \frac{F * L}{\delta} = \frac{\chi}{A} * \left(\frac{l}{k_{ser} * 62,5 * s_n^2} + \frac{\chi}{GA} + \frac{l^2}{12EI} \right)^{-1} \quad (10)$$

De uiteindelijk verkregen formule 10 is geschikt om de vervorming van de nagels te benaderen in de versterkte situatie. In combinatie met de formules voor de afschuiving en buiging van de planken kan er een berekening gedaan worden naar de stijfheid van versterkte multiplex vloeren.

Analytische methode multiplex vloer

Met het model opgesteld kan vervolgens de uitwijking van de vloer berekend worden zoals eerder bepaald.

Equivalenten schuifmodulus $G_{eq} = \frac{\chi}{A} * \left(\frac{l}{k_{ser} * 62,5 * s_n^2} + \frac{\chi}{GA} + \frac{l^2}{12EI} \right)^{-1} = 34,80 \frac{N}{mm^2}$

Equivalenten schuifmodulus nagels $G_{eq} = \frac{\chi}{A} * \left(\frac{l}{k_{ser} * 62,5 * s_n^2} \right)^{-1} = 37,30 \frac{N}{mm^2}$

Omdat de schuifmodulus sterk wordt beïnvloedt door de nagel capaciteit is er naar de capaciteit van deze waarde gekeken, en het verschil bekeken ten opzichte van de volledige formule. Dit geeft een overschatting van 7,2% in vloerstijfheid bij multiplex vloeren. Het wordt bij multiplex vloeren aangeraden om de volledige functie te gebruiken.

Stijfheid van de vloer $K_d = \frac{4 * B * t * G_{eq}}{L} = 5,97 \frac{kN}{mm}$

Stijfheid van de vloer is volgens de analytische methode $5,97 \text{ kN/mm}^2$.

Uitwijking van de vloer $\Delta_d = \frac{F}{K_d} = \frac{210}{3,25} = 35,18 \text{ mm}$

Evaluatie methodes.

Het verschil tussen beide methodes is dat de ASCE methode de nagelcapaciteit niet mee neemt in de berekening. Uit de voorschriften van de (NZSEE, 2006) kwam al naar voren dat de nagelcapaciteit meestal maatgevend is voor de stijfheid en sterkte van de vloer, en dat deze het eerste begeven onder seismische belasting. Het is dus van belang om altijd de nagel capaciteit mee te nemen in de berekening. Daarnaast kijkt de ASCE methode ook niet naar de dikte van de vloer, wat ook weer invloed heeft op de stijfheid. Doordat het analytisch model deze waarden wel in beschouwing neemt komt er een veel conservatievere stijfheid uit, wat weer zorgt voor een groot verschil in de uitwijking.

De uitwijking van de bestaande vloer is in beide gevallen veel te groot om de vloer als star te beschouwen. Daarnaast is de uitwijking zo groot dat de metselwerk wanden vrijwel zeker bezwijken. Beide methodes geven een grote toename in de stijfheid van de vloer. In de berekeningen komt wederom naar voren dat de verplaatsing van de vloer groter is dan de waarde die nodig is voor de starre benadering. De versterkingsmethode geeft wel een aanzienlijke afname in uitwijking van de vloer. Deze uitwijking van 20 mm en 35 mm is mogelijk wel genoeg om te voorkomen dat de buitenwanden bezwijken. Er kan geconcludeerd worden na analyse van de vloeren dat volgens de eurocode vrijwel altijd een houtenvloer als flexibel beschouwd kan worden. Daarnaast kan gezegd worden dat de huidige vloeren niet bestand zijn tegen aardbevingen van 5 op de schaal van richter. Versterking met multiplex zorgt er mogelijk voor dat het wel voldoende is.

4. Testonderzoek nagels en schroeven

Opzet van de proef is om de trek en buigsterkte van nagels te onderzoeken. Veel van de bestaande formules testen nagels op maximale elastische capaciteiten. Echter zijn we bij seismische belasting geïnteresseerd naar de ductiliteit van de nagels en hoe ver deze in het plastische gebied belast kunnen worden voordat ze bezwijken. Er zal gekeken worden naar de extra kracht die de nagels kunnen opnemen tussen de elastische en plastische vervorming. Het idee hierachter is dat een tijdens een aardbeving de nagels plastisch mogen vervormen zodat ze daarna eventueel vervangen kunnen worden. Dit kan mogelijk een versterking geven van de vloer tijdens de berekeningen, als het resultaat positief is. Aangezien aardbevingen niet vaak optreden is het een mogelijke berekeningsmaatregel die genomen kan worden. Met behulp van het onderzoek komt er een waarde voor $M_{y,k}$ die vergeleken wordt met de theoretische waarde. De bepaling van het buigend moment volgens de theorie afhankelijk van de treksterkte van de nagel, er zal gekeken worden of dit verband correct is.

Er zal ook nog extra gekeken worden naar het spanningsgedrag van de schroeven. Het is bekend van nagels dat deze gelijk naar de maximale treksterkte gaan en niet eerst een vloeigrens doorgaan. Dit komt omdat de nagels koud getrokken zijn. Het extra onderzoekspunt is of schroeven ditzelfde gedrag vertonen.

Met behulp van normen NEN-EN 1383 en NEN-EN 409 zijn twee proefopstellingen opgesteld waarin beide sterkten getest kunnen worden. Er zal getest worden met verschillende diameters voor de nagels om te kijken of deze invloed hebben op het verschil tussen formules en proefstukken. De nagels en schroeven zijn willekeurig uitgekozen uit de werkplaats. Deze verkregen capaciteiten zullen vergeleken worden met de theoretische capaciteiten bepaald volgens EN-1995-1-1.

Beide proeven zullen worden uitgevoerd in Stevin lab 2.

Iedere onderzochte nagel zal 5 keer tot falen belast worden en daarvan wordt het gemiddelde genomen vanuit de verkregen resultaten.

Bij het analyseren van de verkorting van het draadje bij de buigproef is er geconstateerd dat de verkorting ongeveer lineair verloopt met de hoek verdraaiing. De hoek verdraaiing is voor het uitvoeren van de proef gelijk gesteld aan de verkorting.

Proefstukken

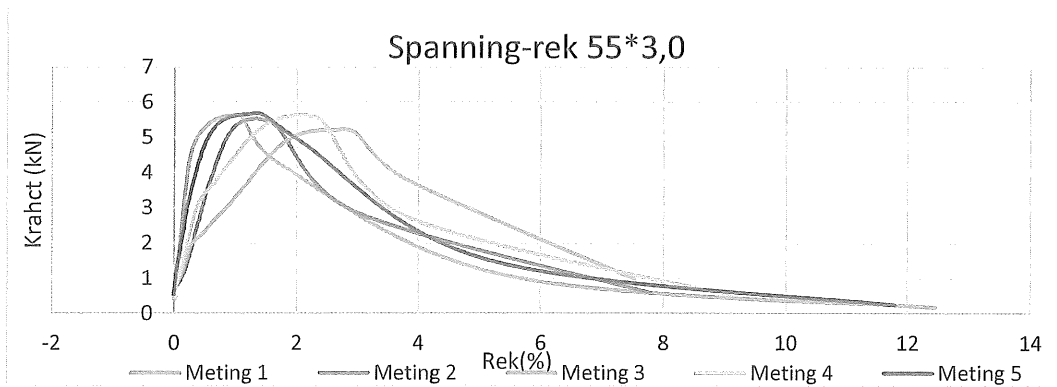
	Lengte (mm)	Diameter (mm)
Nagel-1	55	3,0
Nagel-2	50	3,0
Nagel-3	40	2,0
Schroef-1	45	5,0
schroef-2	50	5,0

Trekproef

Treksterkte Nagel 1

Tabel 1

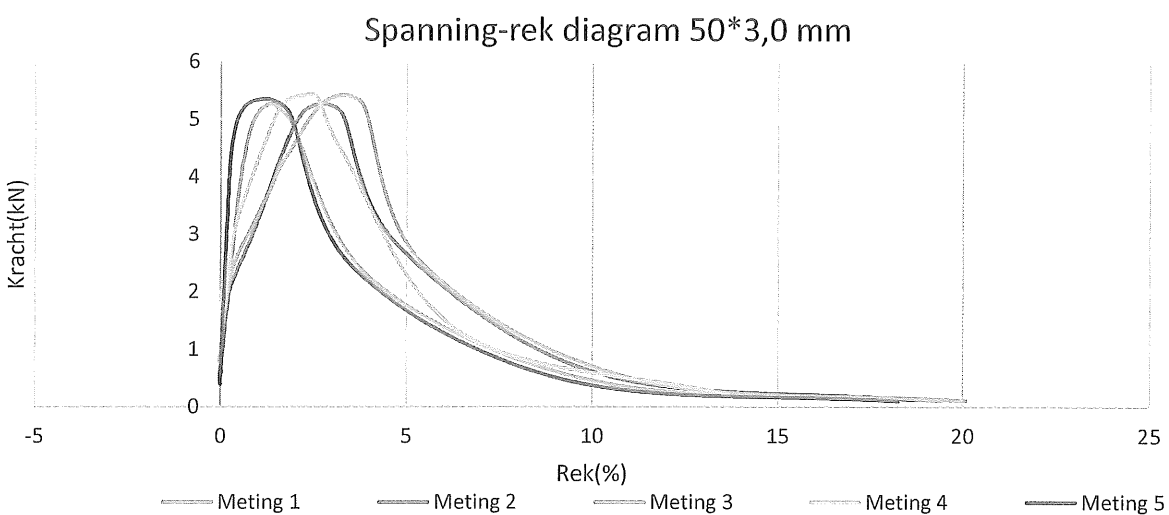
55*3,0	1	2	3	4	5	Gemiddeld:	Standaard afwijking
Maximale treksterkte (kN)	5,62	5,52	5,21	5,63	5,65	5,53	0,19
Treksterkte draad (N/mm ²)	624	613	578	626	628	614	21



Treksterkte nagel 2

Tabel 2

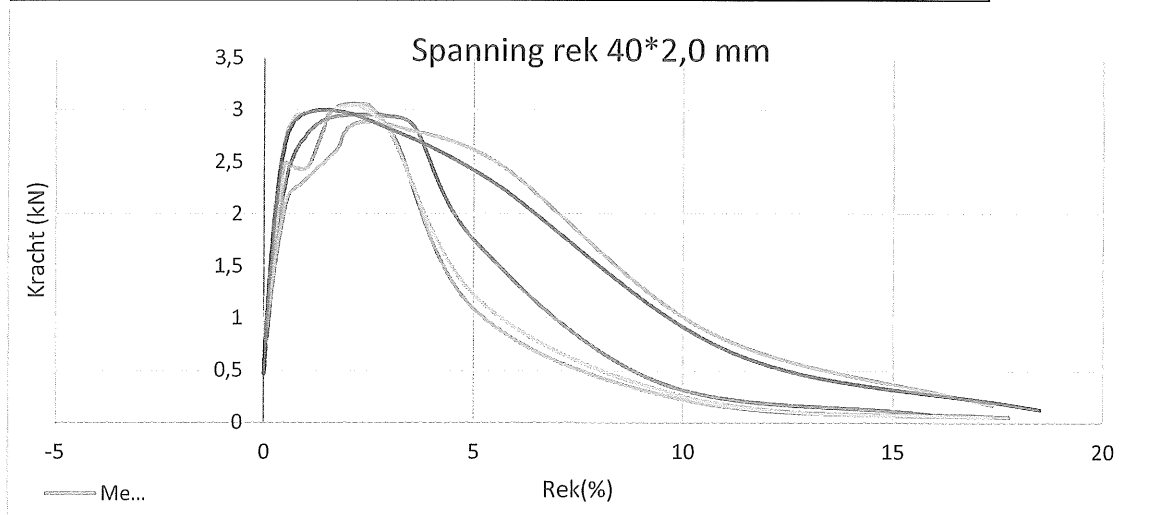
50*3,0	1	2	3	4	5	Gemiddeld:	Standaard afwijking
Maximale treksterkte(kN)	5,26	5,26	5,41	5,42	5,34	5,34	0,078
Treksterkte draad (N/mm ²)	584	584	601	602	594	593	9



Treksterkte nagel 3

Tabel 3

40*2,0	1	2	3	4	5	Gemiddeld:	Standaard afwijking:
Maximale treksterkte(kN)	3.05	2.95	2.88	3.03	3,00	2.98	0.067
Treksterkte draad (N/mm ²)	764	739	721	758	749	746	17

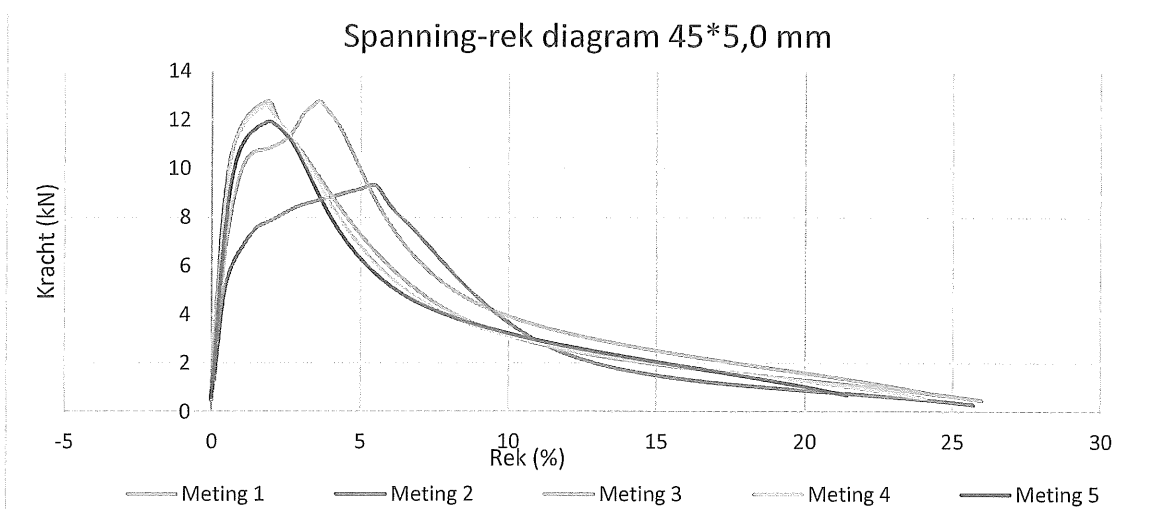


Treksterkte schroef 1

Tabel 4

45*5,0	1	2	3	4	5	gemiddeld	gemiddeld*	Standaard afwijking	Standaard afwijking*
Maximale treksterkte(kN)	12.74	9.25	12.72	12.53	11.91	11.83	12,48	1.48	0.39
Treksterkte draad (N/mm ²)	1040	755	1038	1023	973	966	1018	121	32

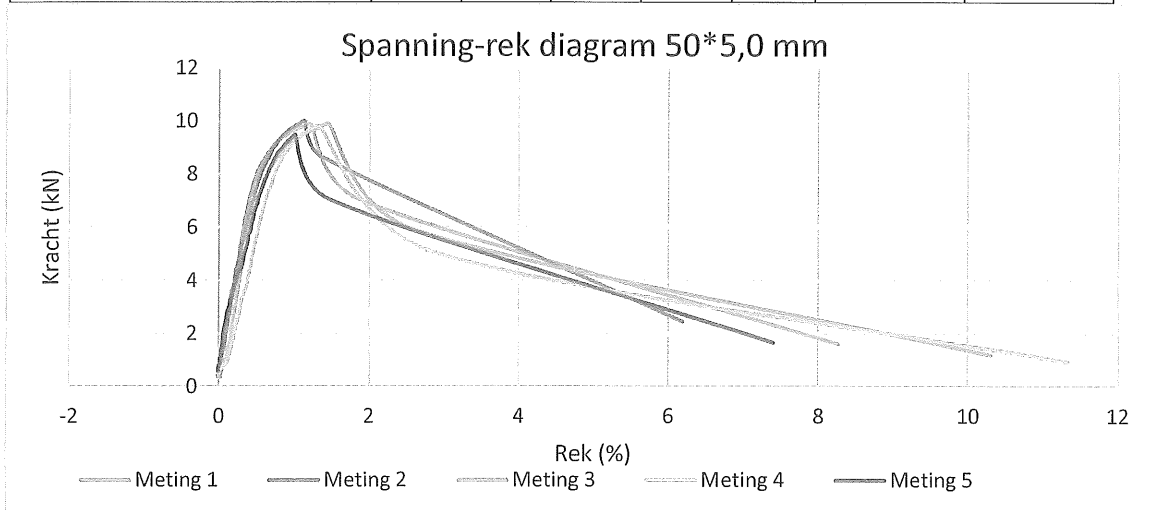
Mogelijk een fout bij meting 2 die niet is waargenomen tijdens de trekproef. Omdat de fout niet bewezen is maar redelijk waarschijnlijk zal er met 2 gemiddelden verder worden gerekend. Het gemiddelde zonder meting 2 zal worden aangegeven met een *.



Treksterkte schroef 2

Tabel 5

50*5,0	1	2	3	4	5	Gemiddeld	Standaard afwijking
Maximale treksterkte(kN)	9.86	9.99	9.87	9.81	9.49	9.80	0.19
Treksterkte draad (N/mm ²)	804	815	806	800	775	800	15

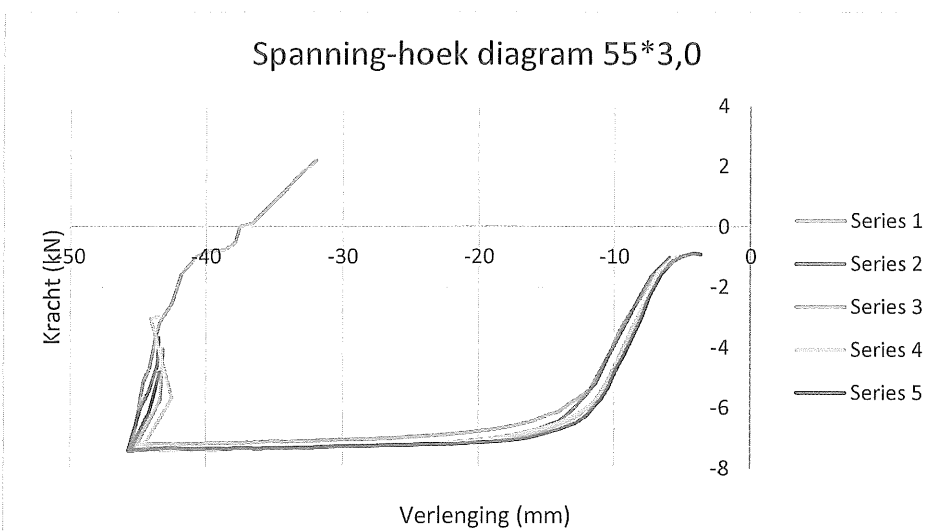


Buigproef

Buigsterkte nagel 1

Tabel 6

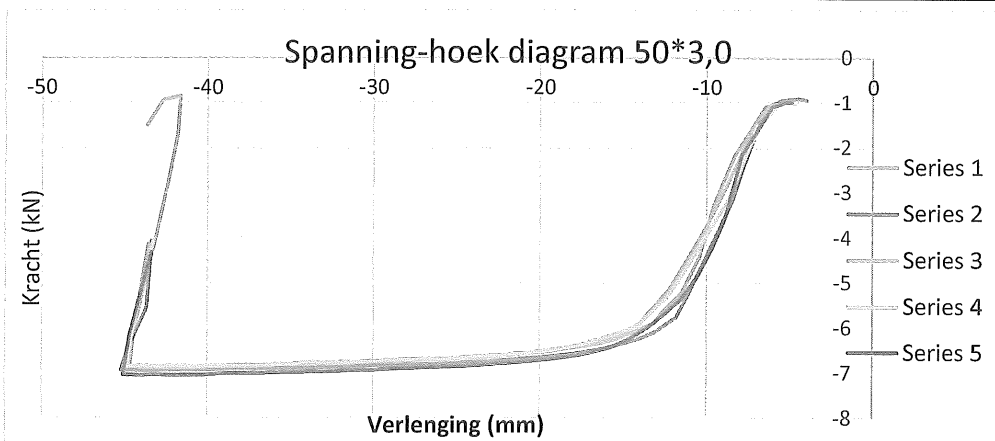
55*3,0						Gemiddeld	Standaard afwijking
Vereiste hoek α	45						
Lengte l_2	8 mm						
Proefstuk	1	2	3	4	5	Gemiddeld	Standaard afwijking
F_{max} (kN)	-7,19	-7,41	-7,38	-7,42	-7,38	-7,36	0,09
M_y (kNmm)	-3571	-3675	-3662	-3679	-3662	-3650	44



Buigsterkte nagel 2

Tabel 7

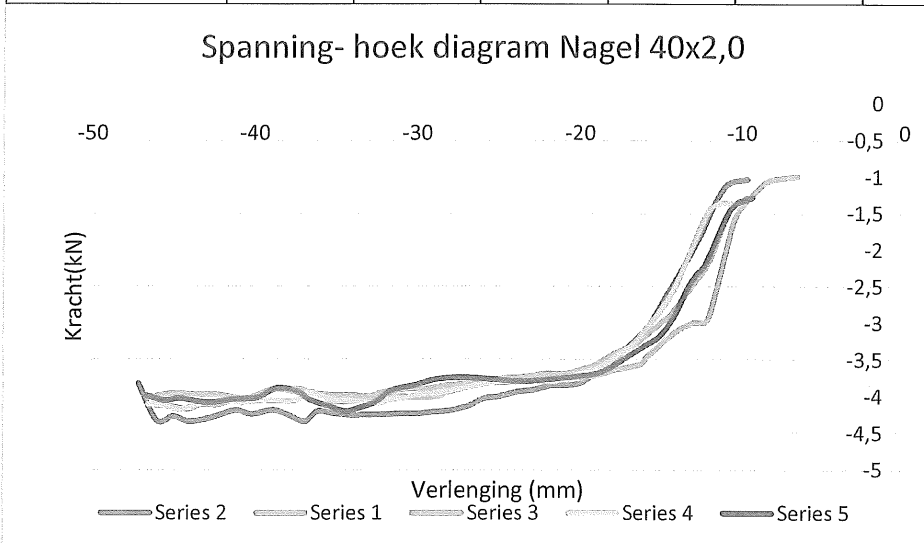
50*3,0							
Vereiste hoek α	45						
Lengte l_2	8 mm						
Proefstuk	1	2	3	4	5	gemiddeld	Standaard afwijking
F_{max} (kN)	-6,91	-6,96	-6,87	-6,86	-7,06	-6,93	0,08
M_y (kNmm)	-3428	-3451	-3407	-3403	-3500	-3438	39



Buigsterkte nagel 3

Tabel 8

40*2,0							
Vereiste hoek α	45						
Lengte l_2	6 mm						
Proefstuk	1	2	3	4	5	gemiddeld	Standaard afwijking
F_{max} (kN)	-3,96	-4,34	-4,17	-4,18	-4,02	-4,14	0,15
M_y (kNmm)	-1964	-2153	-2071	-2072	-1996	-2051	74

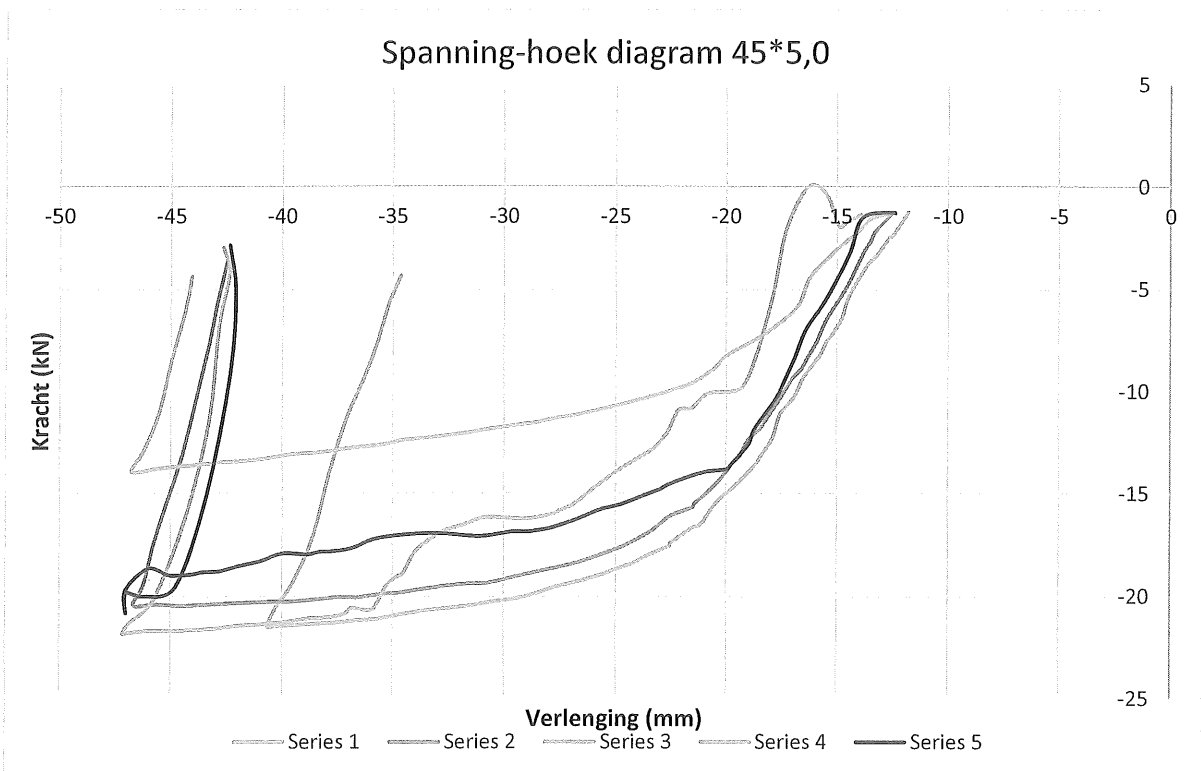


Buigsterkte schroef 1

Tabel 9

45*5,0									
Vereiste hoek α	22								
Lengte l_2	8 mm								
Proefstuk	1	2	3	4	5	Gemiddeld	Standaard afwijking	Gemiddeld **	Standaard afwijking **
F_{max} (kN)	-17,05	-15,88	-9,80	-10,84	-14,37	-13,59	3,15	-15,77	1,34
M_y (kNmm)	-8457	-7878	-4861	-5375	-7129	-6740	1564	7821	666

(** indiceert zonder metingen 3 en 4)



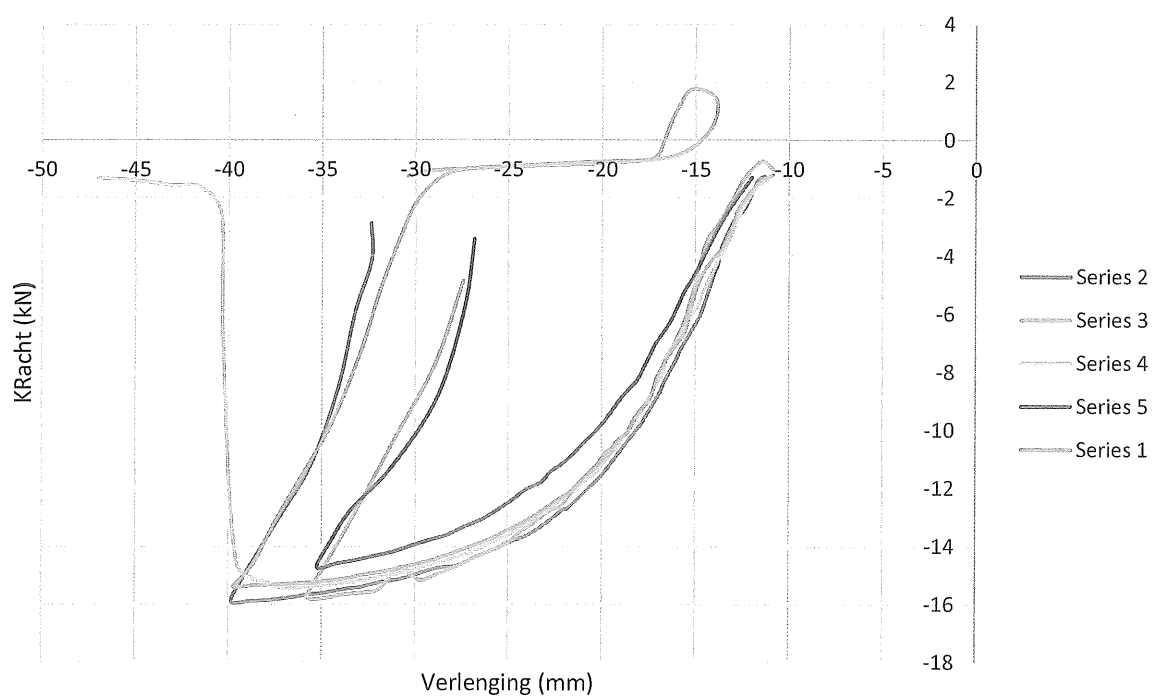
Schroef laat een zeer interessante grafiek zien met diverse grafiek verlopen. Series 1,2,5 laten een vergelijkbaar verloop zien. Serie 3 heeft een vergelijkbare verloop maar met een veel lagere waarde. Serie 4 heeft een inconsistent verloop, twee keer is er plotselinge toename van kracht op een korte hoekverdraaiing. Zowel serie 1 als 3 kunnen verklaard worden door de manier waarop de schroef in het bevestigingsblok hebben gelegen. Mogelijk lagen beide op het schroefdraad in plaats van tegen de kern aan. Serie 3 is tijdens de gehele buiging op het schroefdraad belast, serie 4 is tijdens het buigen tegen de kern aan komen te liggen waardoor de uiteindelijke maximale kracht wel vergelijkbaar is met de andere series. Dit is een mogelijke verklaring, om het te bewijzen zal er opnieuw getest moeten worden waarbij gelet wordt op de ligging van de schroef in de bevestigingsblokken.

Buigsterkte schroef 2

Tabel 10

50*5,0							
Vereiste hoek α	22						
Lengte l_2	8 mm						
Proefstuk	1	2	3	4	5	gemiddeld	Standaard afwijking
F_{max} (kN)	-12,11	-12,72	-12,44	-12,29	-11,08	-12,13	0,63
M_y (kNmm)	-6008	-6311	-6170	-6095	-5497	-6016	311

Spanning-hoek diagram 50*5,0 mm



Punt van interesse is niet de maximale waarde, maar de kracht op het punt waar de hoekverdraaiing 22 graden is. Daar ligt de maximale kracht volgens NEN-EN 409.

De bereikte hoekverdraaiing verschilt per meting, de gebruikte schroef bezweek op breuk tussen de 35 en 40 graden. Alle 5 de series laten een vergelijkbaar verloop zien voor de spanning uitgezet tegen de hoekverdraaiing.

Vergelijking testonderzoek met theorie

Theoretisch vloeimoment voor nagels volgens NEN-EN 1995 8.3.1.1:

$$M_y = 0,3 * f_u * d^{2,6}$$

Theoretisch vloeimoment voor schroeven met een diameter kleiner dan 6 mm geldt dezelfde formule volgens NEN-EN 1995 8.7.1(5).

Tabel 11:

	Lengte (mm)	Diameter (diameter binnenzijde schroef) (mm)	gemiddeld Treksterkte F_{max} (kN)	Standaard afwijking (kN)	gemiddeld Treksterkte draad f_u (N/mm ²)	Standaard afwijking f_u (N/mm ²)
Nagel-1	55	3	5,53	0,19	614	20
Nagel-2	50	3	5,34	0,078	593	9
Nagel-3	40	2	2,98	0,067	746	17
Schroef-1	45	5 (3,5)	11,83	1,48	966	121
Schroef-1(*)	45	5 (3,5)	12,48	0,39	1018	32
Schroef- 1(**)	45	5 (3,5)	11,83	1,48	966	121
Schroef-1 (**+*)	45	5 (3,5)	12,48	0,39	1018	32
Schroef-2	50	5 (3,5)	9,80	0,19	800	15

(*indiceert zonder de tweede meting trekproef meegenomen die mogelijk foutief is uitgevoerd, ** indiceert zonder 2 metingen buigproef)

Tabel 12:

	Diameter (diameter binnenzijde schroef) (mm)	gemiddeld Buigkracht F_{max} (kN)	Standaard afwijking buigkracht F_{max} (kN)	gemiddeld Vloeimoment M_y (kNm)	Standaard afwijking vloeimoment M_y (kNm)	Theoretische vloeimoment M_y (kNm)	Vershil (test/theorie) (%)
Nagel-1	3	7,36	0,09	3650	44	3205	113,8%
Nagel-2	3	6,39	0,08	3437	39	3095	111,1%
Nagel-3	2	4,14	0,15	2051	74	1357	150,1%
Schroef-1	5 (3,5)	13,59	3,15	6739	1564	7528	89,5%
Schroef-1(*)	5 (3,5)	13,59	3,15	6739	1564	7933	84,9%
Schroef- 1(**)	5 (3,5)	15,77	1,34	7822	666	7528	103,9%
Schroef-1 (**+*)	5 (3,5)	15,77	1,34	7822	666	7933	98,6%
Schroef-2	5 (3,5)	12,13	0,63	6016	311	6234	96,5%

(*indiceert zonder de tweede meting trekproef meegenomen die mogelijk foutief is uitgevoerd, ** indiceert zonder 2 metingen buigproef)

Verskil in vloeimoment is met elkaar vergeleken door de proef verkregen vloeimoment te delen door het theoretische vloeimoment. Dit verschil is weergegeven in de laatste kolom.

Het doel van het testonderzoek was om te kijken hoe nagels en schroeven reageren bij maximale belasting. Hierbij lag de interesse in de ductiliteit van deze nagels en schroeven. Zowel bij de nagels als schroeven kwamen een aantal interessante bevindingen naar voren.

Zowel de nagels als schroeven geven een vergelijkbare maximale trekkracht, op uitzondering van een mogelijke fout in de uitvoering van de proef lagen alle waardes per teststuk zeer dicht bij elkaar. De rek in de nagels daarentegen gaven verschillende waardes. Dit verschil in rek kan van belang zijn bij verder onderzoek omdat er gekeken werd naar het belasten in plastische gebied van de nagel. Als deze gebieden verschillen per nagel kan er mogelijk een fout worden gemaakt in de berekening wat leidt tot een over of onderschatting van de nagelcapaciteiten.

Daarnaast zit er nog een verschil in het gedrag na het bereiken van de maximale trekspanning. Beide schroeven laten een duidelijke daling van de kracht zien, terwijl de schroeven nog een soort van parabolisch verloop laten zien. Waarbij de sterkere nagels een snellere daling laten zien. Dit betekent dus dat de schroeven een duidelijke breuk ondervinden bij de maximale trekkracht, terwijl dit bij de nagels nog niet is gebeurd. Dit kan verklaart worden door de treksterkte van het draad. Over het algemeen kan een staalsoort met een hogere sterkte per oppervlak minder vervormen.

Het volgende onderzoekspunt was of schroeven ook koud getrokken zijn net zoals nagels. Beide schroeven laten dit gedrag zien op uitzondering van een meting. De meting van deze schroef laat een vloeigrens zien, dit wordt ook eenmaal waargenomen bij een meting van een nagel. Dit laat zien dat hoewel beide koud getrokken zijn er mogelijk een fout kan zitten in het fabriceren waardoor de nagels en schroeven niet deze eigenschap bezitten.

De buigproef laat zien dat het vloeimoment van nagels redelijk constant is. De schroeven geven een groter verschil aan. Vooral de eerste schroef geeft een zeer diverse waarde voor het vloeimoment. Dit komt mogelijk door de ligging van de schroef in de bevestigingsblokken, dat deze tijdens het buigen niet goed in het blok lagen. dit kan echter niet worden aangetoond.

Daarnaast lieten de alle nagels zien dat ze tot een hoek van 45 graden kunnen buigen zonder te bezwijken. Dit is positief voor de benadering van houten vloeren bij seismische belasting, en de vervorming die hierbij optreedt. De geteste nagels kunnen voldoende mee vervormen en behouden daarbij hen buigsterkte.

Er is een duidelijk verschil tussen de theoretische en proef verkregen waardes voor het vloeimoment van de nagel. De theoretische waarde is duidelijk lager dan de proef verkregen vloeimoment. Dit is gunstig voor bij het berekenen van de vloercapaciteit, aangezien deze capaciteit dus hoger zal uitvallen dan is aangenomen uit de berekeningen. Het vloeimoment van de schroeven wordt echter wel overschat, gemiddeld gezien ligt de vloeigrens onder van de schroeven onder de theoretische waarde.

De nagels die vergelijkbaar zijn met de gebruikte nagels in de houten vloeren zijn nagels 1 en 2. Deze laten zien dat het vloeimoment ongeveer 10% hoger uitvalt dan de theoretische waarde.

5. conclusies

De huidige voorschriften vanuit de eurocode geven geen specifieke normen voor het bepalen van de stijfheid van houten vloeren. Een algemene regel voor de bepaling van de vloerstijfheid geeft een percentage van 10% aan voor de totale uitwijking van de vloer ten opzichte van de penanten. Uit berekeningen komt naar voren dat deze uitwijking bijna altijd wordt bereikt, vooral omdat de uitwijking van de penanten zeer gering is. In vergelijking met de eurocode van Nieuw-Zeeland kan dezelfde conclusie worden getrokken voor de vloerstijfheid. Echter zegt de Nieuw-Zeelandse norm dat de vloer als flexibel beschouwt moet worden tenzij anders aangetoond. Het advies is dan ook dat de eurocode aangepast kan worden in de voorschriften dat houten vloeren met metselwerk wanden als flexibel beschouwt kunnen worden.

Bij het berekenen van de uitwijking van de penanten komt een kleine waarde naar voren, dit betekend dat de buitenste muren gering bewegen bij excitatie. De bestaande vloeren hebben wel een grote verplaatsing ten gevolge van excitatie. Bij het berekenen op basis van de ASCE voorschriften en een zelf opgesteld analytisch model komen verschillende waardes naar voren, waarin het analytisch model conservatiever uitvalt. Uit de berekeningen komt naar voren dat de bestaande vloeren een grote uitwijking ondervinden en over onvoldoende stijfheid beschikken tegen aardbevingen. Deze stijfheid is vooral afhankelijk van de rotatie van de planken door het vervormen van de nagels. Door de vloer te versterken met multiplex is er een aanzienlijke toename in de vloerstijfheid, en kan de uitwijking sterk gereduceerd worden. Of deze reductie voldoende in de praktijk voldoende is moet verder onderzoek uitwijzen.

Bij het benaderen via het analytisch model komt er naar voren dat de stijfheid zeer afhankelijk is van de nagel capaciteit. Bij zowel de sterkte als de stijfheid van de vloer is de capaciteit van de nagel maatgevend. Deze capaciteit is echter alleen gebaseerd op elastische vervorming, en bij seismische excitatie is vastgesteld dat er ook plastisch vervormd mag worden.

Bij het uitvoering van verschillende testen naar de trek en buigsterkte van verschillende nagels en schroeven komen wisselende waardes naar voren. Ductiliteit van de nagels verschilt onderling, dit zorgt voor verschillende rek waardes waar de maximale trekkracht optreedt. Bij de buigsterkte kwamen constante waardes voor de nagels naar voren, bij schroeven zat er variatie in. In theorie hebben nagels geen vloeigrens, dit wordt echter eenmaal wel waargenomen. Bij schroeven was het in eerste instantie onduidelijk of deze een vloeigrens hadden, na het onderzoek kan geconcludeerd worden dat dit correct is. Omdat zowel een nagel als een schroef eenmaal een vloeigrens laat zien, kan er wel gezegd worden dat er een kans is op een vloeimoment. Hoe groot deze kans is, moet met nieuw onderzoek bekeken worden.

Bij het vergelijken van de buigsterkte met de theoretische waarde kwam er een duidelijk verschil naar voren. Elke nagel gaf een hoger vloeimoment aan dan werd berekend via de voorschriften uit de eurocode. Deze onderschatting van het vloeimoment zorgt op zijn beurt weer voor een onderschatting van de stijfheid van houten vloeren. Aanbeveling is dan ook om de capaciteit van nagels die gebruikt zijn in de vloeren niet via de Eurocode te berekenen maar zelf te testen op buigsterkte via NEN-EN 1383.

Daarbij laat de proef zien dat de nagels kunnen doorbuigen tot 45 graden. Dit heeft een gunstig effect bij het vervormen van de vloeren. Hoewel de nagels snel vervormen, blijven ze kracht leveren. De nagel laten dus zien dat ze een goede ductiliteit hebben, en tegen vervormen kunnen.

De eindconclusie is dat bij het beschouwen van houten vloeren in metselwerk gebouwen, vrijwel zeker de vloer als flexibel beschouwt kan worden. Bij benadering van de vloer uitwijking komt naar voren dat de bestaande vloeren niet berekend zijn op seismische belasting. Door te versterken met multiplex platen wordt deze uitwijking sterk gereduceerd en zorgt dit mogelijk voor voldoende versterking. De stijfheid en uitwijking van de vloer is voornamelijk afhankelijk van de nagelcapaciteit, bij het testen van deze nagels op buig en treksterkte komt naar voren dat deze wordt onderschat.

Bronvermelding

- Association of Finnish Plywood Industry (AFPI). (sd). *Handbook of Finnish plywood*.
- ARUP. (2014). *Groningen Preventive Structural Upgrading: Design Catalogue for Level 2 and 3 Measures*.
- Giongo. (2013). *Role of timber diaphragms in the seismic response of unreinforced masonry (URM) buildings*. University of Trento.
- NEN-EN 1383. (2016). *Houtconstructies - Beproevingmethoden - Intrekweerstand van verbindingsmiddelen*.
- NEN-EN 14592+A1. (2012). *Houtconstructies- stiftvormige verbindingsmiddelen - Eisen*.
- NEN-EN 1912. (2012). *Hout voor constructieve toepassingen- Sterkte klassen - Toewijzen van visuele sorteringsklassen en houtsoorten*.
- NEN-EN 1995-1-1+C1+A1. (2011). *Eurocode 5: ontwerp en berekening van houtconstructies - deel 1-1 : algemeen - gemeenschappelijke regels en regels voor gebouwen*.
- NEN-EN 1998-1. (2005). *Eurocode 8: ontwerp en berekening van aardbevingbestendige constructies- Deel 1: Algemene regels, seismische belasting en regels voor gebouwen*.
- NEN-EN 1998-3. (2005). *Eurocode 8: Ontwerp en berekening van aardbevingbestendige constructies - Deel 3: Beoordeling en vernieuwing van gebouwen*.
- NEN-EN 338:. (2016). *Hout voor constructieve toepassingen- sterkte klassen*.
- NEN-EN 409. (2009). *Houtconstructies - Beproevingmethoden - Bepaling van het vloeimoment van stiftvormige verbindingsmiddelen*.
- NZSEE. (2006). *Assessment and Improvement of the Structural Performance of Buildings in Earthquakes: Section 10*. NZSEE.
- Pampanin, S., Brignola, A., & Podestà, S. (2008). *In-plane stiffness of wooden floor*. University of Canterbury, University of Genoa.
- Pavia Risk Centre. (2016). *Detached House As Built report*.

Bijlage 1: Gebruikte voorschriften eurocode

(4) When the floor diaphragms of the building may be taken as being rigid in their planes, the masses and the moments of inertia of each floor may be lumped at the centre of gravity.

NOTE The diaphragm is taken as being rigid, if, when it is modelled with its actual in-plane flexibility, its horizontal displacements nowhere exceed those resulting from the rigid diaphragm assumption by more than 10% of the corresponding absolute horizontal displacements in the seismic design situation.

Figuur: NEN-EN 1998-1: 4.3.1(4)

Bijlage 2: aanvulling NCZEE bij ASCE formule

Direction of loading	Joist continuity	Condition rating	Shear stiffness [†] , G_d (kN/m)
Parallel to joists	Continuous or discontinuous joists	Good	350
		Fair	285
		Poor	225
Perpendicular to joists ^{††}	Continuous joist, or discontinuous joist with reliable mechanical anchorage	Good	265
		Fair	215
		Poor	170
	Discontinuous joist without reliable mechanical anchorage	Good	210
		Fair	170
		Poor	135

Figuur 1: aanvulling NZSEE (NZSEE, uit (Giongo, 2014), 2006, p.84)

Type of diaphragm sheathing		Multipliers to account for other sheathing types
Single straight sheathing		x 1.0
Double straight sheathing	Chorded	x 7.5
	Unchorded	x 3.5
Single diagonal sheathing	Chorded	x 4.0
	Unchorded	x 2.0
Double diagonal sheathing or straight sheathing above diagonal sheathing	Chorded	x 9.0
	Unchorded	x 4.5

Figuur 2: Vermenigvuldigingsfactoren voor de stijfheid van verschillende soorten vloeren (NZSEE, 2016, p.84)

Bijlage 3: berekening stijfheid en sterkte huidige vloer volgens analytische model

E-modulus parallel aan vezelrichting	$E = 11000 \frac{N}{mm^2}$
Afschuifmodulus van C24 hout	$G = 690 \frac{N}{mm^2}$
Gemiddelde dichtheid van hout	$\rho_{m,1} = 420 \frac{kg}{m^3}$
5 percentiel dichtheid van hout	$\rho_{k,1} = 380 \frac{kg}{m^3}$
Afschuif factor	$\chi = 1,2$
Lengte vloer	$L = 6000 \text{ mm}$
Breedte vloer	$B = 5000 \text{ mm}$
Hart-op-hart afstand balken	$l = 600 \text{ mm}$
Breedte van de planken	$W = 200 \text{ mm}$
Dikte van de planken	$t = 24 \text{ mm}$
Afstand nagels	$s_n = 100 \text{ mm}$
Diameter nagels	$d = 3 \text{ mm}$
Lengte nagels	$t_n = 60 \text{ mm}$

Met deze waardes kan vervolgens de Stijfheid van de vloer berekend worden volgens de eerder gegeven formule van (ARUP, 2014, p. 64):

Oppervlak houtenplank $A = W * t = 4800 \text{ mm}^2$

Traagheidsmoment houtenplank $I = \frac{W^3 * t}{12} = 16 * 10^6 \text{ mm}^4$

Nagel vervorming volgens

NEN-EN 1995-1-1:2004 tabel 7.1: $K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} * d^{0,8}}{30} = 690,95 \text{ N/mm}$

Equivalente schuifmodulus $G_{eq} = \frac{\chi}{A} * \left(\frac{l}{k_{ser} * S_n^2} + \frac{\chi}{GA} + \frac{l^2}{12EI} \right)^{-1} = 2,86 \frac{N}{mm^2}$

Equivalente schuifmodulus alleen nagels $G_{eq} = \frac{\chi}{A} * \left(\frac{l}{k_{ser} * S_n^2} \right)^{-1} = 2,88 \frac{N}{mm^2}$

Stijfheid van de vloer $K_d = \frac{4 * B * t * G_{eq}}{L} = 0,228 \frac{kN}{mm}$

Stijfheid van de vloer is volgens de analytische methode $0,228 \text{ kN/mm}^2$.

De stijfheid loodrecht op de balken van de vloer is 70% van de stijfheid parallel aan de balken (ARUP, 2014). Dit is voor de huidige vloer $0,160 \text{ kN/mm}^2$

Het rapport van (ARUP, 2014) zegt dat aan de vloerstijfheid voldaan is als $K_d = \frac{F}{\Delta_{d,max}}$ waarin $\Delta_{d,max}$ de maximaal toelaatbare vloeruitwijking is. Omgekeerd betekent dit dus dat de vloerafwijking gelijk is aan de optredende kracht gedeeld door de stijfheid van de vloer.

Uitwijking van de vloer $\Delta_d = \frac{F}{K_d} = \frac{210}{0,228} = 921,05 \text{ mm}$

Berekening sterkte

Allereerst zijn er een paar extra gegevens nodig, dit zijn het aantal vloerplanken over de breedte en het aantal ondersteunende balken. Verder is het van belang om te bepalen hoever de nagels in de ondersteunende balken vastzitten en wat de treksterkte is van deze nagels.

Aantal vloerplanken	$n_b = \frac{B}{w} = 25$
Aantal ondersteunende balken	$n_j = \frac{L}{l} = 10$
Lengte nagels	$t_n = 60 \text{ mm}$
Penetratie in de vloerplanken	$t_1 = 24 \text{ mm}$
Penetratie in ondersteunende balken	$t_2 = 36 \text{ mm}$
Treksterkte nagels volgens NEN-EN 1995-1-1 8.3.1.1 (4)	$f_u = 600 \text{ N/mm}^2$

Berekening Nagelsterkte

Om tot een sterkte capaciteit te komen voor de nagels moeten de krachtencapaciteit berekend worden volgens de theorie van Johansen uit NEN-EN 1995-1-1 8.2.2. Deze code zegt dat de krachten getoetst moeten worden volgens de 6 mogelijke bezwijkmechanismes van een nagel. Van deze 6 types moet de meest beperkte waarde gekozen worden als maatgevend (ARUP, 2014, p. 67). Elke type weergeeft een manier waarop een nagel kan bezwijken.

$$F_{t,FR} = \min \left\{ \begin{array}{l} f_{b,1k} t_1 d \quad (a) \\ f_{b,2k} t_2 d \quad (b) \\ \frac{f_{b,1k} t_1 d}{1 + \beta} \left[\sqrt{\beta + 2\beta^2 \left[1 + \frac{t_2}{t_1} + \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2 \right] + \beta^2 \left(\frac{t_2}{t_1} \right)^2} - \beta \left(1 + \frac{t_2}{t_1} \right) \right] + \frac{F_{ax,FR}}{4} \quad (c) \\ 1,05 \frac{f_{b,1k} t_1 d}{2 + \beta} \left[\sqrt{2\beta(1 + \beta) + \frac{4\beta(2 + \beta)M_{y,FR}}{f_{b,1k} d t_1^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,FR}}{4} \quad (d) \\ 1,05 \frac{f_{b,1k} t_2 d}{1 + 2\beta} \left[\sqrt{2\beta^2(1 + \beta) + \frac{4\beta(1 + 2\beta)M_{y,FR}}{f_{b,1k} d t_2^2}} - \beta \right] + \frac{F_{ax,FR}}{4} \quad (e) \\ 1,15 \sqrt{\frac{2\beta}{1 + \beta}} \sqrt{2M_{y,FR} f_{b,1k} d} + \frac{F_{ax,FR}}{4} \quad (f) \end{array} \right.$$

Figuur: karakteristieke sterkte van nagels volgens Johansen NEN-EN 1995-1-1 8.2.2 (8.6):

Om de karakteristieke te berekenen moeten er eerst nog een paar andere waardes berekend worden. deze zijn allemaal bepaald volgens EN-1995,.

Met het vloeimoment volgens 8.3.11 $M_{y,FR} = 0,3 * f_u * d^{2,6}$

Waarin f_u de treksterkte van het staaldraad is, die initieel op 600 N/mm wordt geschat dezelfde schatting als in (ARUP, 2014).

En de factor bèta voor de stuiksterkte tussen planken en balken volgens EN 1995 8.2.2.

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}}$$

Met de stuiksterkte voor vloeren $f_{h,1,k} = 0,11 * \rho_k * d^{-0,3}$ Volgens NEN-EN 1995-1-1 8.3.1.3 (8.20)

En de stuiksterkte voor balken $f_{h,2,k} = 0,082 * \rho_k * d^{-0,3}$ volgens NEN-EN 1995-1-1 8.3.1.1 (8.15)

En moet er voor $F_{ax,Rk}$ een percentage genomen worden volgens NEN-EN 1995-1-1 8.2.2 (4). Dit is de bijdrage van het koordeffect, indien onbekend moet deze op nul geschat worden.

Met alle waardes bekend kan de karakteristieke sterkte van de nagels bepaald worden volgens figuur 15.

$$f_{h,1,k} = 0,11 * \rho_k * d^{-0,3} = 30,06 \text{ MPa}$$

$$f_{h,2,k} = 0,082 * \rho_k * d^{-0,3} = 22,41 \text{ MPa}$$

$$\beta = \frac{f_{h,2,k}}{f_{h,1,k}} = 0,75$$

$$M_{y,rk} = 0,3 * f_u * d^{2,6} = 3131,75 \text{ Nmm}$$

$$F_{v,rk} = 2,16 \text{ kN (a)}$$

$$F_{v,Rk} = 2,42 \text{ kN (b)}$$

$$F_{v,Rk} = 1,07 \text{ kN (c)}$$

$$F_{v,Rk} = 0,84 \text{ kN (d)}$$

$$F_{v,Rk} = 0,99 \text{ kN (e)}$$

$$F_{v,Rk} = 0,80 \text{ kN (f)}$$

Partiële factor voor nagels volgens NEN-EN 1995-1-1 tabel 2.3 $\gamma_m = 1,3$

Ontwerp weerstand van de nagel $F_{v,rd} = \frac{F_{v,Rk,min}}{\gamma_m} = \frac{0,80}{1,3} = 0,62 \text{ kN}$

Ontwerp weerstand van de vloer $F_{vloer,nagels,Rd} = \frac{F_{v,Rd} * 2 * n_b}{\frac{l}{2 * s_n} + 1} = 8,86 \text{ kN}$

Schuifweerstand van de vloer per meter oppervlak $V_{nagel,Rd} = \frac{F_{vloer,nagels,Rd}}{2B} = 0,886 \frac{\text{kN}}{\text{m}}$

Berekening Vloersterkte

Schuif oppervlak van een plank $A_b = 6000 \text{ mm}^2$

Schuif oppervlak van de vloer $A_v = A_b * n_b = 120000 \text{ mm}^2$

Karakteristieke schuifsterkte C24 hout $f_{y,k} = 4,0 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$

Partiële factor voor houten planken $\gamma_m = 1,3$

Ontwerp schuifsterkte $f_{v,d} = \frac{f_{y,k}}{\gamma_m} = 3,07 \text{ N/mm}^2$

Schuifweerstand per vierkante meter oppervlak $V_{vloer,Rd} = \frac{f_{v,d} * A_v}{2B} = 36,84 \text{ kN/m}$

Zoals al eerder werd aangenomen is de sterkte van de nagels maatgevend voor de algehele sterkte van de vloer. Het verschil tussen de capaciteiten van de vloer en nagels is aanzienlijk, en geeft aan hoe afhankelijk een vloer is voor sterkte op afschuiving van de nagelverbindingen.

Bijlage 4: Karakteristieke eigenschappen multiplex vloer

Table 3-5. Conifer plywood, thin veneers

Lay-up	Section properties						Characteristic strength						Mean modulus of elasticity			
	Nominal thickness	Number of plies	t mean	A	W	I	Banding		Compression		Tension		Banding		Tension and compression	
			mm	mm ² /mm	mm ³ /mm	mm ⁴ /mm	f _{m,II}	f _{m,I}	f _{c,II}	f _{c,I}	f _{t,II}	f _{t,I}	E _{m,II}	E _{m,I}	E _{t/c,II}	E _{t/c,I}
-	4	3	3.6	3.6	2.16	3.89	37.6	6.0	22.0	14.0	17.1	10.9	12235	765	7944	5056
- -	6.5	5	6.4	6.4	6.63	21.8	26.1	18.6	20.3	15.8	15.8	12.3	9462	3538	7313	5688
- - -	9	7	9.2	9.2	14.1	64.9	26.0	19.3	19.6	16.4	15.2	12.8	8465	4535	7065	5936
- ... -	12	9	12.0	12.0	24.0	144	24.5	19.0	19.2	16.8	14.9	13.1	7953	5037	6933	6067
- ... - -	15	11	14.8	14.8	36.5	270	23.6	19.3	19.0	17.0	14.8	13.2	7863	5337	6851	6149
- ... - - -	18	13	17.6	17.6	51.6	454	23.0	19.5	19.0	17.2	14.6	13.4	7464	5536	6795	6205
- ... - - - -	21	15	20.4	20.4	69.4	707	22.5	19.6	18.7	17.3	14.5	13.5	7323	5677	6755	6245
- ... - - - - -	24	17	23.2	23.2	89.7	1041	22.2	19.7	18.6	17.4	14.5	13.6	7216	5762	6724	6276
- ... - - - - - -	27	19	26.0	26.0	113	1465	22.0	19.7	18.6	17.4	14.4	13.6	7137	5863	6700	6300
- ... - - - - - - -	30	21	28.8	28.8	138	1991	21.8	19.8	18.5	17.5	14.4	13.6	7072	5926	6681	6319

Figuur: Karakteristieke waarde multiplex volgens (Association of Finnish Plywood Industry (AFPI))

Table 3-10. Conifer plywood, thin veneers

Nominal thickness	Characteristic strength				Mean modulus of rigidity			
	Panel shear		Planar shear		Panel shear		Planar shear	
	f _{v,II}	f _{v,I}	f _{r,II}	f _{r,I}	G _{v,II}	G _{v,I}	G _{r,II}	G _{r,I}
mm	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²	N/mm ²
4	7.0	7.0	1.77	-	530	530	66	-
6.5	7.0	7.0	2.05	1.14	530	530	66	41
9	7.0	7.0	1.72	1.51	530	530	69	52
12	7.0	7.0	1.79	1.42	530	530	69	57
15	7.0	7.0	1.88	1.53	530	530	69	59
18	7.0	7.0	1.71	1.50	530	530	69	61
21	7.0	7.0	1.66	1.56	530	530	69	62
24	7.0	7.0	1.68	1.53	530	530	69	63
27	7.0	7.0	1.65	1.56	530	530	68	63
30	7.0	7.0	1.66	1.54	530	530	68	64

Figuur: Karakteristieke waarden afschuiving volgens (Association of Finnish Plywood Industry (AFPI))

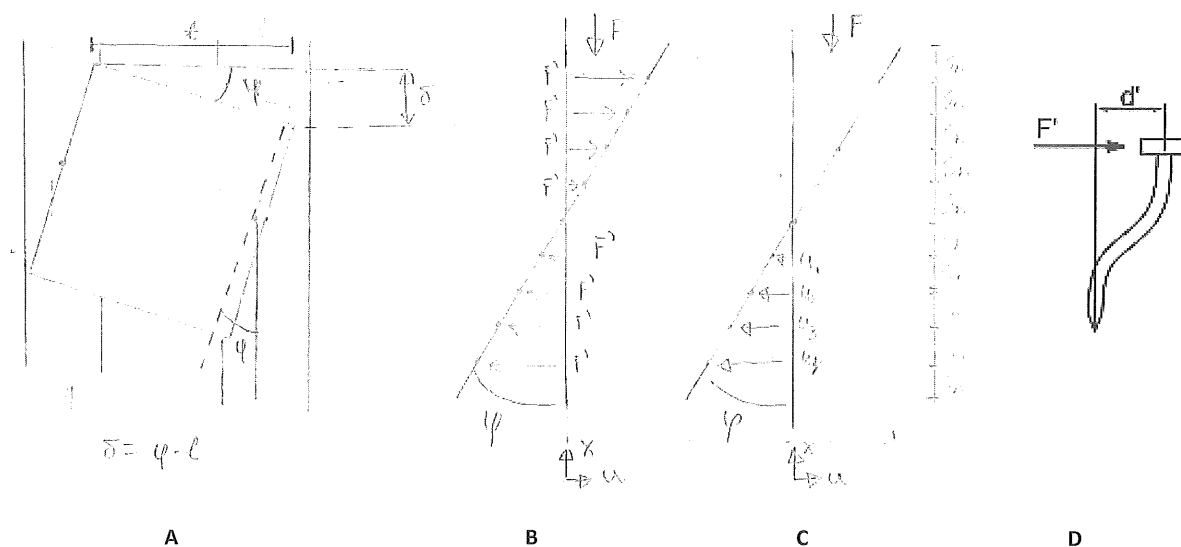
Bijlage 5: berekening stijfheid multiplex vloer volgens aangepast analytisch model

Bij de oude situatie voor het vervormen van nagels wordt er vanuit gegaan dat het korte planken zijn met 2 nagels, de versterking is echter een plaat met 9 nagels. Om de versterkte situatie te kunnen begrijpen moet er eerst gekeken worden naar de analyse van de huidige situatie. Deze oude situatie gaat uit van een optredend moment ten gevolge van de kracht F en een tegenwerkend moment op gewekt uit nagels.

Deze situatie geeft een moment van $F * l = 2 * F' * s_n$

De nieuwe situatie moet worden uitgebreid met de versterking gecombineerd met de oude situatie. De nieuwe situatie is dus de vervorming van de multiplex opgeteld bij de vervorming van de onderliggende planken. De resulterende kracht van de onderliggende planken moet met 5 vermenigvuldigd worden aangezien er 5 planken onder de multiplex plaat liggen.

$$F * l = 4 * (4 * s_n * F' + 3 * s_n * F' + 2 * s_n * F' + s_n * F') + 5 * 2 * s_n * F' = 50 * F' * s_n \quad (1)$$



Figuur: Analyse multiplex vloer A: verplaatsing multiplex plaat, B: resulterende kracht in nagels, C: Horizontale verplaatsing ten gevolge van hoek verdraaiing, D: optredende kracht per nagel

Met bovenstaande figuur kunnen er drie formules worden opgesteld. Allereerst is de verplaatsing afhankelijk van de hoek maal de lengte (vergelijking 2). Deze hoek maal de afstand van de nagel is gelijk aan de horizontale verplaatsing van de nagel. (vergelijking 4) De optredende kracht in de balk is op zijn beurt weer gelijk aan de kracht die op elke nagel werkt maal de afstand (vergelijking 5). Deze kracht op elke nagel wordt weer tegengewerkt door de verschuivingsmodulus maal de verschuiving (vergelijking 3)

$$\delta = \varphi * l \quad (2) , \quad F_i = k_{ser} * u_i \quad (3) , \quad u_i = \varphi * x_i \quad (4)$$

$$F * l = \sum F_i * x_i \quad (5)$$

Waarin φ de hoek verdraaiing is ten gevolge van de uitwijking, u_i de verplaatsing van de nagel in de lengte richting, x_i is de lengte van de arm die de nagel maakt naar het midden van de plank. Deze verschilt voor elke nagel.

Invullen van vergelijkingen 3 en 4 in vergelijking 5:

$$F * l = k_{ser} * \varphi * \sum x_i^2 \quad (6)$$

Daarna vergelijking 2 invullen in vergelijking 6. Deze vervolgens omschrijven tot een formule voor delta.

$$F * l = k_{ser} * \frac{l}{\delta} * \sum x_i^2, \quad \delta = \frac{F * l^2}{k_{ser} * \sum x_i^2} \quad (7)$$

Voor de situatie met vloer versterking is:

$$\sum x_i^2 = 2 * ((4 * s_n)^2 + (3 * s_n)^2 + (2 * s_n)^2 + (1 * s_n)^2) + 5 * 2 * \left(\left(\frac{1}{2} s_n\right)^2\right) = 62,5 * s_n^2 \quad (8)$$

Waarin het eerste deel voor de multiplex vloer geldt en het tweede deel voor de onderliggende vloerplanken.

Invullen van vergelijking (1) in vergelijking (7):

$$\delta = \frac{50 * F' * l}{k_{ser} * 62,5 * s_n} \quad (9)$$

De g-equivalente kracht wordt vervolgens berekend met formule 10. Bij deze formule wordt opnieuw vergelijking 1 ingevuld om de kracht F te elimineren uit de vergelijking.

$$G_{eq} = \frac{\chi}{A} * \frac{F * L}{\delta} = \frac{\chi}{A} * \left(\frac{l}{k_{ser} * 62,5 * s_n^2}\right)^{-1} \quad (10)$$

De uiteindelijk verkregen formule 10 is geschikt om de vervorming van de nagels te benaderen in de versterkte situatie. In combinatie met de formules voor de afschuiving en buiging van de planken kan er een berekening gedaan worden naar de stijfheid van versterkte multiplex vloeren.

De waarden voor de versterkte situatie zijn:

E-modulus parallel aan vezelrichting	$E = 7218 \frac{N}{mm^2}$
Afschuifmodulus van Multiplex	$G = 530 \frac{N}{mm^2}$
Gemiddelde dichtheid van planken	$\rho_{m,1} = 420 \frac{kg}{m^3}$
Gemiddelde dichtheid van multiplex	$\rho_{m,2} = 520 \frac{kg}{m^3}$
Afschuif factor	$\chi = 1,2$
Lengte vloer	$L = 6000 \text{ mm}$
Breedte vloer	$B = 5000 \text{ mm}$
Hart-op-hart afstand balken	$l = 600 \text{ mm}$
Breedte van de multiplex vloeren	$W = 1000 \text{ mm}$
Dikte van multiplex en planken	$t = 48 \text{ mm}$
Afstand nagels	$s_n = 100 \text{ mm}$
Diameter nagels	$d = 5 \text{ mm}$
Lengte nagels	$t_n = 80 \text{ mm}$

Met deze waarden kan vervolgens de Stijfheid van de vloer berekend worden volgens de eerder gegeven formule van (ARUP, 2014, p. 64):

Oppervlak Multiplex+ planken	$A = W * t = 48000 \text{ mm}^2$
Traagheidsmoment multiplex en planken	$I = \frac{W^3 * t}{12} = 4,0 * 10^9 \text{ mm}^4$

Nagel vervorming volgens

ρ_m is in dit geval een combinatie van de dichtheid van de multiplex en houten planken en balken samen.

$$\rho_m = \sqrt{\rho_{m,1} * \rho_{m,2}} = \sqrt{420 * 520} = 467,33 \text{ kg/m}^3$$

NEN-EN 1995-1-1:2004 tabel 7.1:

$$K_{ser} = \frac{\rho_m^{1,5} * d^{0,8}}{30} = 1432,38 \text{ N/mm}$$

Equivalente schuifmodulus

$$G_{eq} = \frac{\chi}{A} * \left(\frac{l}{k_{ser} * 62,5 * s_n^2} + \frac{\chi}{GA} + \frac{l^2}{12EI} \right)^{-1} = 34,80 \frac{N}{mm^2}$$

Equivalente schuifmodulus nagels

$$G_{eq} = \frac{\chi}{A} * \left(\frac{l}{k_{ser} * 62,5 * s_n^2} \right)^{-1} = 37,30 \frac{N}{mm^2}$$

Stijfheid van de vloer

$$K_d = \frac{4 * B * t * G_{eq}}{L} = 5,97 \frac{kN}{mm}$$

Stijfheid van de vloer is volgens de analytische methode $5,97 \text{ kN/mm}^2$.

Bijlage 6: opzet trekproef en buigproef

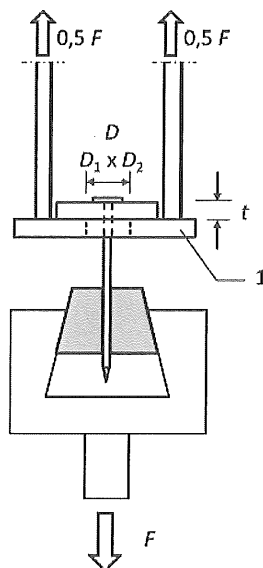
De trekproef is bepaald volgens de norm NEN-EN 1383. De proefnagels worden onder geklemd door de stalenplaat die de houtenplank vervangt. Deze plaat moet voldoende dik zijn zodat de nagel op 2 mechanismes kan afbreken. In deze plaat zit een gat waardoor de nagel gaat, deze mag maximaal 1 mm dikker zijn dan de nagel zelf. de nagel wordt vervolgens onderin geklemd. Vervolgens zal het proefstuk belast worden zoals weergegeven in figuur 21. De 2 mogelijke afbreek mechanismes zijn of het afbreken van de kop door deze eraf te trekken of door de trekkracht die ontstaat in de steel en deze afbreekt. De tijd waarin het belasten en afbreken moet gebeuren is $10\text{ s} \pm 5\text{ s}$. gebeurt het niet binnen deze tijd dan mag het proefstuk niet meegenomen worden in de capaciteitsberekening.

6.1.4.5 Characteristic tensile capacity

The characteristic tensile capacity of nails $f_{\text{tens,k}}$ (head pull-off or shank tensile capacity) the result shall be declared by testing in accordance with EN 1383, using a steel plate to replace the head side timber member shown in Figure 4 of that standard. The steel plate shall be of sufficient thickness to induce either a pull-off failure of the head, or a tensile failure of the shank and shall contain a pre-drilled hole for the nail which shall not exceed the maximum outer diameter of the nail + 1 mm in diameter. For partially profiled nails the area of transition from the profiled to the smooth part of the shank shall be located within the free length of testing and shall have a clear distance from the jaws of the testing equipment of at least $3d$. The rate of loading shall be chosen so that the failure load (ultimate load) is reached within $10\text{ s} \pm 5\text{ s}$.

Het is voor deze proef niet mogelijk om de theoretische sterkte te berekenen. Dit omdat er getest wordt met een stalenplaat en inklemming onderin in plaats van een verbinding tussen 2 houten stukken. De resultaten van deze proef kunnen wel gebruikt worden om tot een theoretische waarde voor de buigcapaciteit te komen.

De twee waardes die zullen worden meegenomen in de verdere berekeningen zijn de gemiddelde en de minimale trekcapaciteit. De maximale treksterkte is niet van interesse omdat dit geen correcte weergave geeft van wat er mogelijk gebeurt bij seismische belasting. De minimale treksterkte is daarentegen wel interessant om dat te vergelijken met de theoretische berekening voor buigsterkte.



Figuur: Opstelling trekproef volgens NEN-EN 1383 figuur 4

Treksterkte van het draad is berekend volgens NEN-EN 1383: $f_u = \frac{F_{max}}{d^2}$

Buigproef

De buigproef is bepaald volgens de norm EN 409. De nagels worden belast volgens een 4 punt buigproef weergegeven in figuur 23. De nagel moet zo belast worden dat de belastingpunten niet bewegen over de lengte van de nagel.

6.1.4.2 Characteristic yield moment

For round or square cross-section nails, the characteristic yield moment $M_{y,k}$ the result shall be declared either directly by testing in accordance with EN 409 or declared by calculation according to the relevant equations given in EN 1995-1-1.

For all other types of nail, including threaded nails, the characteristic yield moment $M_{y,k}$ of the nail the result shall be declared from testing in accordance with EN 409.

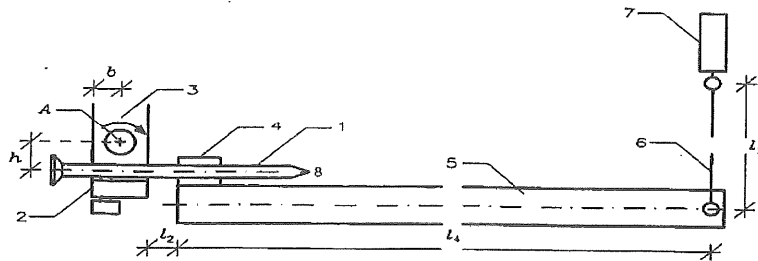
Het belasten moet in $10\text{ s} \pm 5\text{ s}$ gebeuren totdat een hoek α is bereikt, deze hoek is 45 graden voor nagels en $110/d$ voor schroeven. Indien dit niet binnen de tijd gebeurt, moet het resultaat verwaarloost worden volgens EN-409 6.5.1. Uit de resultaten komt een kracht voor F_{max} en een lengte van het draadje naar voren. Om de juiste kracht F_{max} te krijgen moet eerst vanuit de lengte van het draadje gerekend worden naar de vereiste hoek α . De opstelling voor het bepalen van de waarden α en F_{max} is weergegeven in figuur 23. De waarde F_{max} wordt gemeten door een krachtsensor die het registreert in de computer. Het draadje is bevestigd aan het punt A, als deze verlengt of verkort wordt dit geregistreerd in de computer met de bijbehorende lengte verschil. De twee bevestigingsmiddelen 3&4 in figuur 23 mogen maximaal 5% van elkaar verschillen in doorsnede. De lengte l_2 moet tussen de 1 en 3 keer van de diameter van de nagel liggen. Verder moet de lengte l_4 en gewicht G_{lev} van de arm bepaald worden. met deze gegevens bekend kan vervolgens M_y berekend worden.

De waarden G_{lev} en l_4 zijn constant voor alle 5 de teststukken, de waarde l_2 verschilt en zal per proef apart vermeldt worden.

$$G_{lev} = 5,53\text{ N}, \quad l_4 = 488\text{ mm}$$

Met elke waarde bekend kan vervolgens doorgerekend worden naar de waarde van het vloeimoment M_y deze wordt berekend door de maximale waarde te nemen van de volgende 2 formules:

$$M_y = F_{max} * l_4, \quad M_y = F_{max} \left(l_4 + \left(1 - \frac{G_{lev}}{2F_{max}} \right) * l_2 \right)$$

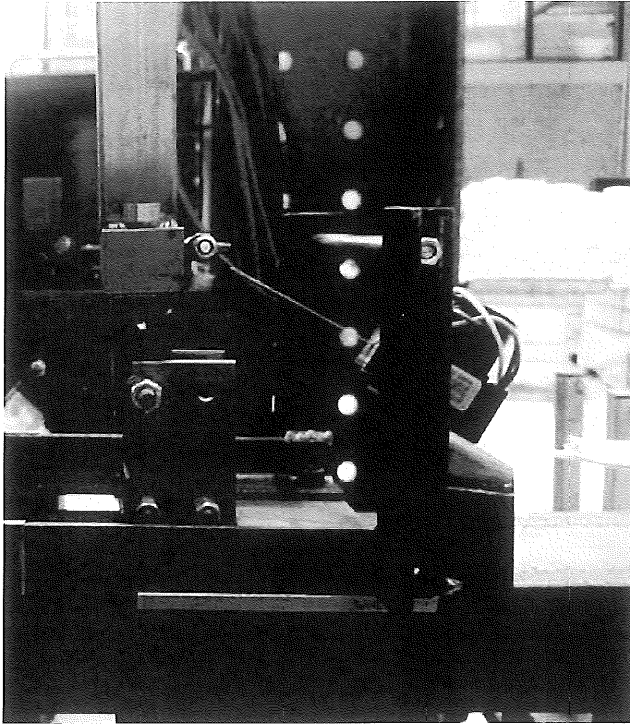


- Key
- 1) fastener
 - 2) loose fitting bushing
 - 3) arm
 - 4) loose fitting bushing
 - 5) lever
 - 6) rod
 - 7) load gauge
 - 8) nail
 - A) rotation point

Figuur: Opstelling buigproef volgens EN-409

Bepaling hoek α

Om de lengte van het draadje om te rekenen naar de hoek α moet er eerst een vergelijking opgelost worden. Deze vergelijking kijkt naar de lengte van het draadje, de x en y waarde van de meter, en de x en y waarde van de draaiarm waar de hoek 45 graden is. De opstelling zoals gebruikt is weergegeven in Figuur 24.



Figuur 24: opstelling buigproef

alpha		l_{α}	2nd order fit	3rd order fit
-45	-0.7854	4.50	-43.32	-44.78
-44	-0.76794	4.57	-42.57	-43.86
-43	-0.75049	4.64	-41.81	-42.92
-42	-0.73304	4.71	-41.02	-41.97
-41	-0.71558	4.78	-40.22	-41.01
-40	-0.69813	4.86	-39.41	-40.04
-39	-0.68068	4.93	-38.58	-39.06

Figuur: Polynoom berekening hoek alfa

Zoals weergegeven in Figuur 25 liggen de waarden van de verlenging van het draadje bij de derde orde polynoom en de hoek alfa zeer dicht bij elkaar. Er kan vanuit worden gegaan dat de verkorting van het draadje en de hoek gelijk zijn.

