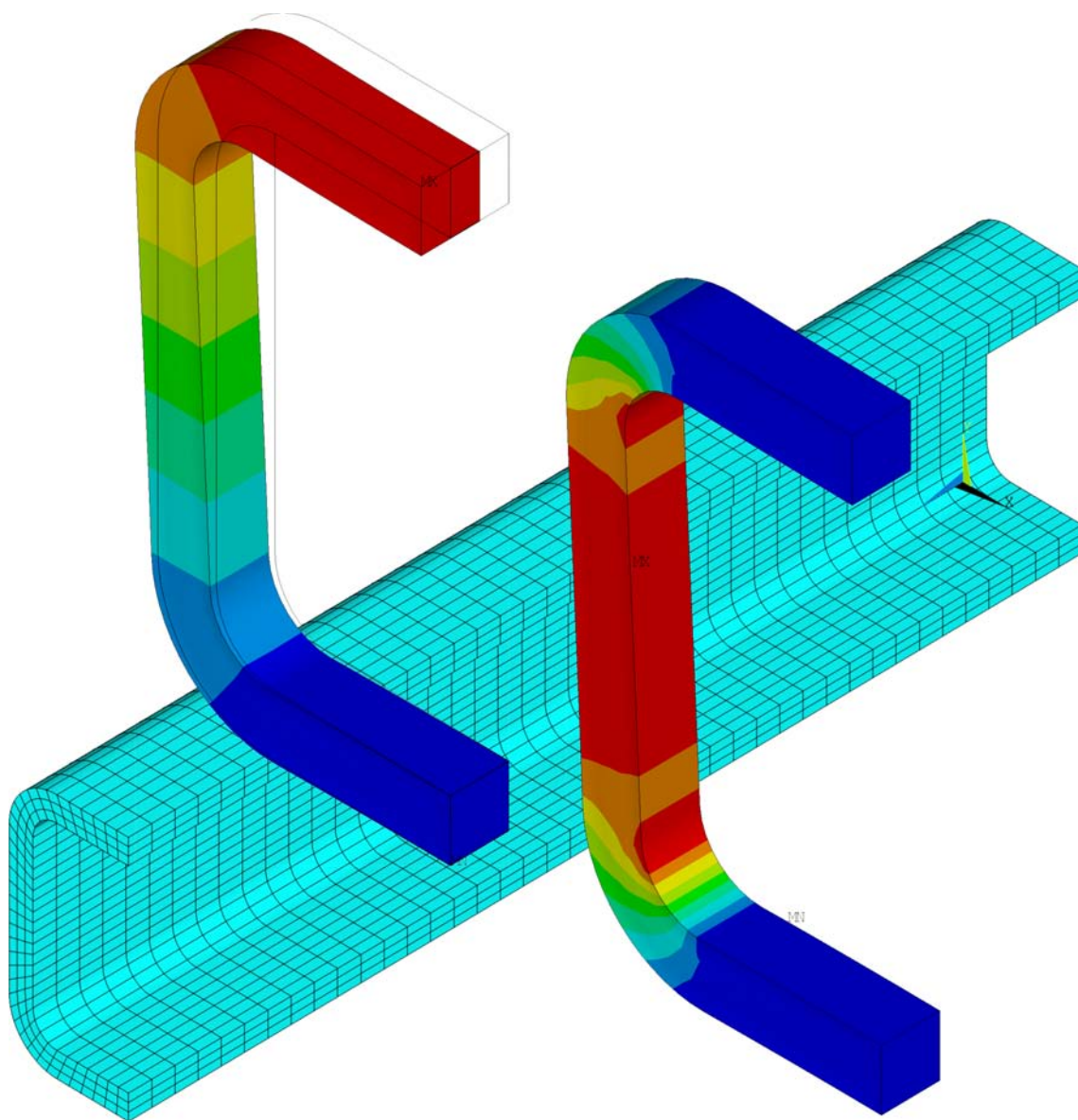


Afschuifstijfheid van kokers met ronde hoeken

Eindrapport BSc-eindwerk

december 2005

R. Velner 9864875



Begeleiders:

dr. ir. P.C.J. Hoogenboom
dr. A. Romeijn

Voorwoord

Dit verslag betreft een onderzoek naar de invloed van hoekafrondingen en andere geometrische invloedsfactoren op de afschuifstijfheid en maximale schuifspanning in rechthoekige kokerprofielen. Dit onderzoek vond plaats in het kader van het Bachelor of Science-eindwerk van de faculteit Civiele Techniek van de TU Delft. Ik wil de dr. ir. P.C.J. Hoogenboom en dr. A. Romeijn bedanken voor de begeleiding van dit project.

Delft, december 2005

R. Velner

Samenvatting

Holle rechthoekige elementen worden vaak gebruikt in raamwerkconstructies. Afschuifvervorming kan een wezenlijke invloed hebben op de krachtsverdeling in het raamwerk, het is daarom voor berekeningen belangrijk om de afschuifstijfheid van een profiel te weten.

Van de in de praktijk toegepaste benaderingsformules voor afschuifstijfheid en maximale schuifspanning is niet altijd duidelijk in hoeverre ze de daadwerkelijke situatie benaderen. De benaderingsformules voor rechthoekige kokerprofielen nemen bovendien alleen de wanddikte en de hoogte van het profiel in rekening, de invloed van de breedte-hoogteverhouding en de afronding van de hoeken wordt buiten beschouwing gelaten.

In dit B.Sc.-eindwerk is onderzoek gedaan naar de afschuifstijfheid en maximale schuifspanning in rechthoekige kokerprofielen met afgeronde hoeken. Met behulp van het eindige-elementenprogramma ANSYS zijn van in totaal 201 varianten de afschuifhoek en maximaal optredende spanning bepaald. Aan de hand van deze berekende waarden zijn verbeterde benaderingsformules opgesteld.

Voor afschuifstijfheid:

$$GA_{sh} = Gt(2,26h + 0,42r + 0,74t - 0,68b)$$

Voor maximale schuifspanning:

$$\tau_{\max} = \frac{V}{t(1,88h - 1,44t - 0,43r)(1 - 0,066\frac{h}{b} - 0,01\frac{t}{r})}$$

Voor beide formules geldt $b/h \leq 1,75$; $r/t < 4$ en $0,05 \leq t/h \leq 0,2$.

Inhoudsopgave

Voorwoord.....	i
Samenvatting.....	ii
1 Inleiding.....	1
2 Probleemstelling.....	2
Probleemanalyse.....	2
Doelstelling.....	2
Randvoorwaarden en uitgangspunten.....	2
3 Modellerings.....	3
Algemene opzet.....	3
Basismodel.....	4
Controle.....	5
Varianten.....	5
4 Resultaten afschuifstijfheid.....	7
5 Resultaten maximale schuifspanning.....	11
Conclusies en aanbevelingen.....	12
Literatuurlijst.....	12
Evaluatie.....	12
Bijlage A: Originele opdracht.....	a
Bijlage B: Scripts.....	b
Bijlage C: Grafieken benadering afschuifstijfheid.....	e
Bijlage D: Foutwaarden curvefit.....	f
Bijlage E: Vergelijking afschuifstijfheidsformules.....	g
Bijlage F: Visueel overzicht verloop schuifspanning.....	k
Bijlage G: vergelijking schuifspanningsformules.....	l

1 Inleiding

Holle rechthoekige elementen worden vaak gebruikt in raamwerkconstructies. Afschuifvervorming kan een wezenlijke invloed hebben op de krachtsverdeling in het raamwerk, het is daarom voor berekeningen belangrijk om de afschuifstijfheid van een profiel te weten.

Voor diverse doorsnedevormen zijn benaderingsformules opgesteld voor de afschuifstijfheid (GA_{sh}) en de maximaal optredende schuifspanning (tabel 1).

Doorsnedeform	Afschuifstijfheid	Maximale schuifspanning
	$\frac{5}{6} GA$	$\frac{3}{2} \frac{V}{A}$
	$G 2 th$	$\frac{15}{14} \frac{V}{A 2 th}$
	$\frac{32}{37} GA$	$\frac{4}{3} \frac{V}{A}$
	$\frac{1}{2} GA$	$2 \frac{V}{A}$
	GA_{lijf}	$\frac{15}{14} \frac{V}{A_{lijf}}$
	$10 \frac{h^2}{12 h^2 + b^2}$	$\frac{3}{4} \sqrt{4 + \frac{b^2}{h^2}} \frac{V}{A}$

Tabel 1: Benaderingsformules voor verschillende doorsnedetypen

In eerdere B.Sc.-eindwerken¹ is echter al aangetoond dat deze benaderingen aanzienlijk kunnen afwijken van de werkelijk optredende waarden.

Dit project gaat verder op dat van J.M. de Wit waarin profielen met verschillende breedte-hoogteverhoudingen en wanddikte-hoogteverhoudingen zijn onderzocht en een verbetering voor de benaderingsformule is voorgesteld. Daarbij is echter uitgegaan van een profiel met rechte hoeken, terwijl in de praktijk de hoeken van kokerprofielen zijn afgerond. In dit project zal de invloed van de afrondingen op de afschuifstijfheid en maximale schuifspanning onderzocht worden; de resultaten zullen worden vergeleken met de bestaande benaderingsformule en de resultaten van De Wit.

De originele opdracht is bijgevoegd in bijlage A.

¹ J.M. van der Meer: *Afschuifstijfheid van liggers en kolommen*, juni 2003
 R. Spaan: *Afschuifstijfheid en maximale schuifspanning van ronde doorsneden*, november 2003
 J.M. de Wit: *Afschuifstijfheid en maximale schuifspanning van rechthoekige kokerprofielen*, mei 2005

2 Probleemstelling

Probleemanalyse

Van de in de praktijk toegepaste benaderingsformules voor afschuifstijfheid en maximale schuifspanning is niet altijd duidelijk in hoeverre ze de daadwerkelijke situatie benaderen. De benaderingsformules voor rechthoekige kokerprofielen nemen bovendien alleen de wanddikte en de hoogte van het profiel in rekening, de invloed van de breedte-hoogteverhouding en de afronding van de hoeken wordt buiten beschouwing gelaten.

Doelstelling

Het bepalen van de invloed van de afronding van de hoeken, het toetsen van de uitkomsten aan de benaderingsformules en eventueel opstellen van een verbeterde benaderingsformule.

Randvoorwaarden en uitgangspunten

- Alleen afschuiving wordt onderzocht, invloeden van buiging en normaalspanning moeten worden vermeden.
- Het materiaalmodel is gebaseerd op de eigenschappen van staal:
 - lineair-elastisch, homogeen, isotroop
 - $E=2,1 \cdot 10^5 \text{ N/mm}^2$, $\nu=0,3$.
- Alleen rechthoekige kokerprofielen met in de praktijk toegepaste afmetingen zullen worden beschouwd.

3 Modelling

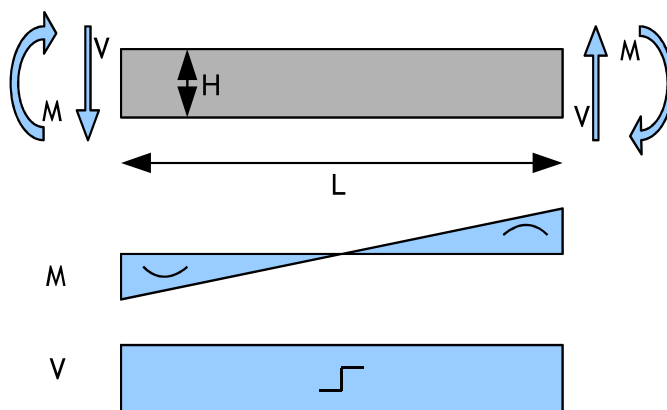
Algemene opzet

Met het eindige-elementenpakket ANSYS® zal onderzocht worden hoe het afschuifgedrag van een doorsnede van een kokerprofiel is bij verschillende wanddiktes, afrondingsboogstralen en hoogte-breedteverhoudingen.

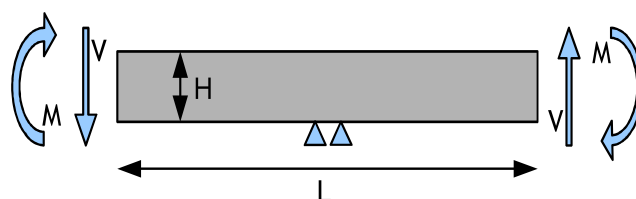
Om afschuiving goed te kunnen analyseren moet een situatie geschapen worden waarin momenten en normaalkrachten verwaarloosbaar zijn ten opzichte van de dwarskracht. Bij een krachtenevenwicht als in figuur 1 wordt de middendoorsnede alleen op afschuiving belast.

Als de ligger op de uiteinden zou worden opgelegd zou door de vervorming de middendoorsnede een translatie ondergaan, wat het bepalen van de afschuifhoek (en dus de afschuifstijfheid) bemoeilijkt. Voor de modellering van het probleem is dus gekozen voor opleggingen in het midden van de lengte van de ligger, waardoor een smal gedeelte aan de onderzijde wordt vastgehouden (figuur 2).

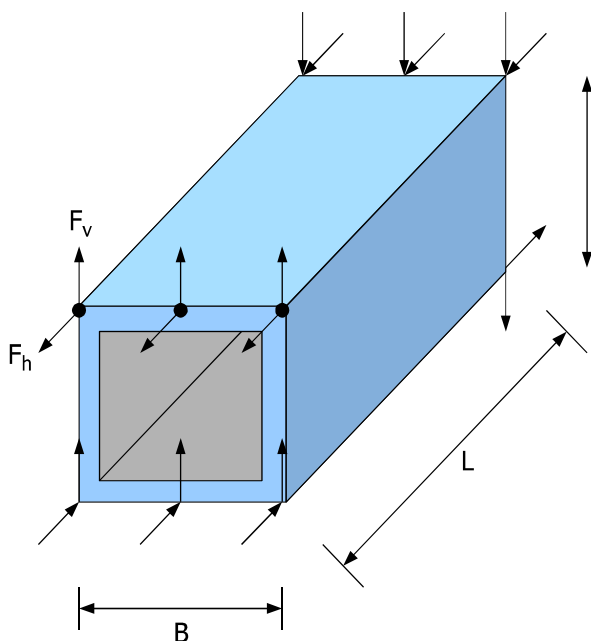
De reactiekrachten in de opleggingen zullen verwaarloosbaar klein zijn ten opzichte van de opgelegde krachten, omdat ze enkel de vervorming in het midden fixeren maar verder geen invloed op het totale vervormingsbeeld hebben. Omdat het aanbrengen van verdeelde belastingen en momenten in ANSYS nogal bewerkelijk is, zijn de momenten op de kopvlakken uitgevoerd als horizontale puntlasten verdeeld over de boven- en onderrand van de koker, en zijn op dezelfde punten verticale lasten aangebracht (figuur 3).



Figuur 1: Momenten- en dwarskrachtenlijn



Figuur 2: Opleggingen onder de middendoorsnede



Figuur 3: Puntlasten op het basismodel

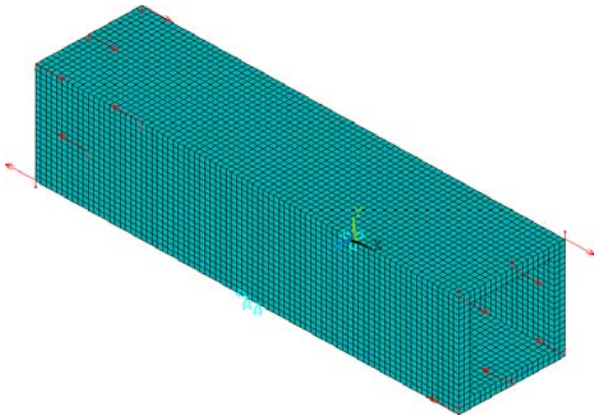
De grootte van de horizontale krachten wordt dan (uitgaande van een vaste verticale kracht)

$$F_h = F_v \cdot l / h$$

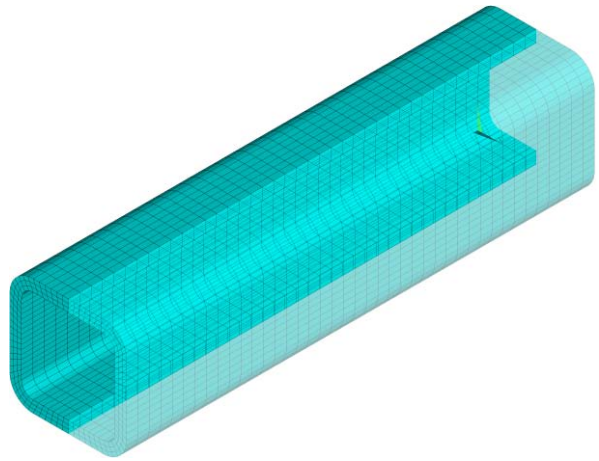
Per punt wordt een F_h en een $F_v = 50 \text{ kN}$ aangebracht, de afstand van de aangrijpingspunten tot het midden van de ligger moet voldoende zijn om de krachten goed in te leiden.

Basismodel

Voor het basismodel wordt uitgegaan van eenzelfde opzet als in het B.Sc.-eindwerk van De Wit ([2]) (figuur 4). Als eerste wordt een model gemaakt van een ligger met een lengte $l = 400$ mm, de afmetingen van de doorsnede zijn $h = b = 100$ mm en voor de afrondingsboog is $r = 20$ mm genomen.



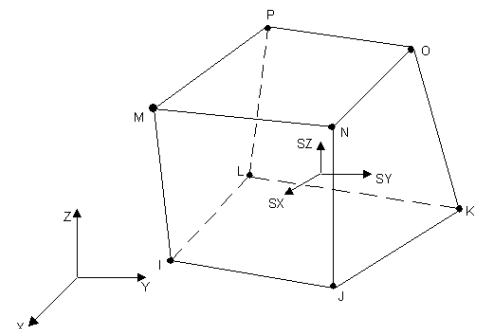
Figuur 4: Het ANSYS-kokermodel van J.M. de Wit



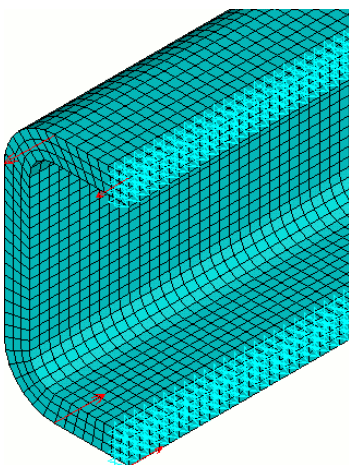
Figuur 5: Slechts de helft van de koker wordt gemodelleerd

ANSYS heeft behalve de reguliere opleggingen de mogelijkheid symmetrievlakken als opleggingen in te voeren. Omdat het hier behandelde probleem symmetrisch is, hoeft dus slechts de helft van het kokerprofiel gemodelleerd te worden om de resultaten van het geheel te bepalen (figuur 5). Bijkomend voordeel hiervan is dat de universitaire licentie van ANSYS een beperking heeft van maximaal 32.000 knooppunten in een mesh; omdat dit aantal nu gebruikt kan worden voor de halve ligger kunnen nauwkeuriger resultaten behaald worden.

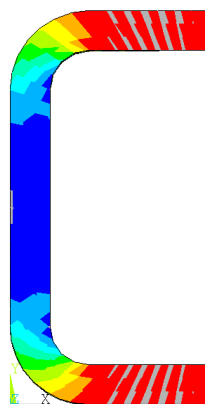
Een eerste berekening van het model is gemaakt met een mesh van 8-knoops brick-elementen (type SOLID45, figuur 6).



Figuur 6: 8-knoops element SOLID45



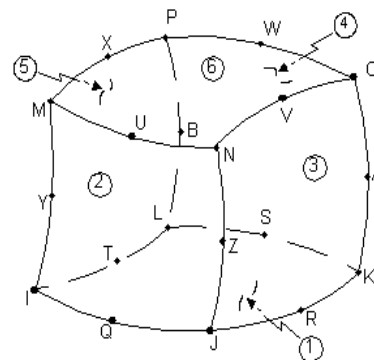
Figuur 7: Mesh met SOLID45-elementen



Figuur 8: Schuifspanningen in middendoorsnede met SOLID45

Hoewel er een redelijk regelmatige en verfijnde mesh is (figuur 7) en het spanningsverloop qua trend redelijk klopt, blijken er in de buurt van de hoeken toch relatief grote sprongen in het verloop (figuur 8) te zitten.

Hierom zijn latere modellen gemaakt met 20-knoops elementen (SOLID95, figuur 9), deze leveren een aanmerkelijk grotere nauwkeurigheid. Ze vereisen ook meer reken capaciteit, maar omdat de rektijd per model alsnog betrekkelijk kort is (enkele minuten) is deze extra rekenbelasting niet echt problematisch.

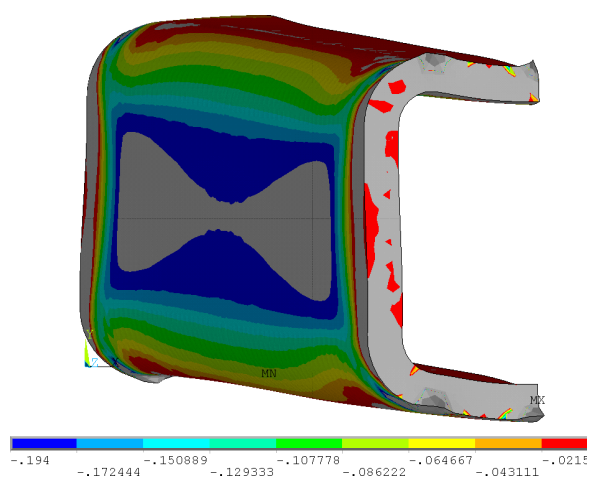


Figuur 9: 20-knoops element SOLID95

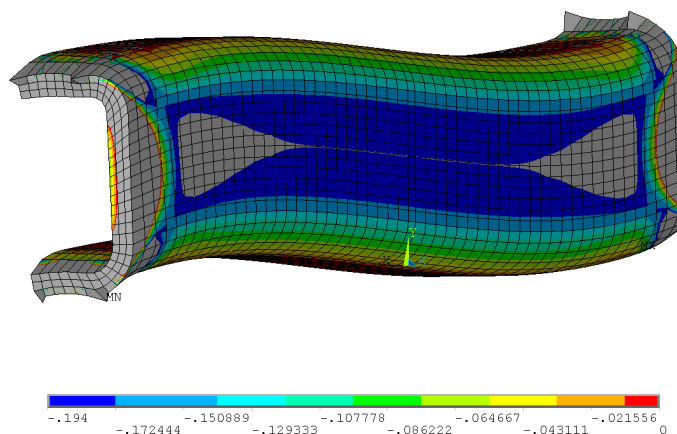
Controle

Het principe van het model is dat de opleggingen alleen voorkomen dat de middendoorsnede transleert of roteert. De door ANSYS berekende oplegreacties blijken in de orde grootte van 10^{-9} van de aangebrachte lasten te zijn; de oplegreacties blijken dus inderdaad te verwaarlozen te zijn.

Om te controleren of in het model met een lengte van 400 mm de puntlasten voldoende worden gespreid, heb ik de gehele ligter bekeken met de geplotte waarden van de schuifspanningen. Omdat de spanningen bij de puntlasten veel groter zijn dan elders, zijn het minimum en het maximum van de schaalverdeling aangepast aan de optredende waarden in de middendoorsnede (figuur 10).



Figuur 10: Spanningverloop bij $l = 400$



Figuur 11: Spanningverloop bij $l = 800$

In het midden lijkt het spanningsverloop redelijk constant te zijn. Bij het uitvoeren van een soortgelijke controle bij een ligter van $l = 800$ mm lang (figuur 11) is er een ruimer constant middengebied. De verschillen in berekende waarden voor de maximale schuifspanning van beide modellen waren minder dan een procent, dus er kan van uitgegaan worden dat $l = 400$ voldoende inleidingslengte biedt.

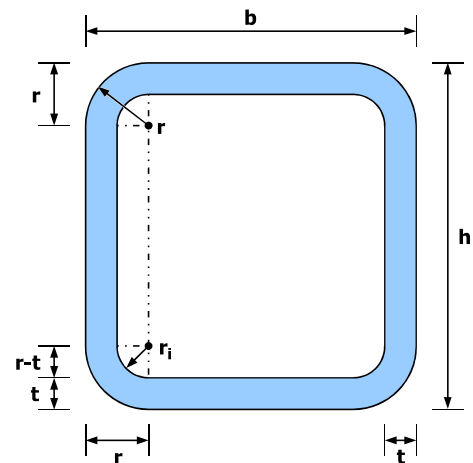
Varianten

Om de invloed van verschillende geometrische parameters zo goed mogelijk te kunnen beschouwen is een groot aantal varianten op het basismodel doorgerekend met telkens andere wanddikte, afronding en breedte. De relevante parameters zijn aangegeven in figuur 12.

- De hoogte h is constant bij alle varianten : $h = 100$ mm.
- De verhouding t / h varieert tussen 0,025 en 0,2 : t loopt van 2,5 tot 20 mm in stappen van 2,5 mm.
- De verhouding b / h ligt tussen 0,5 en 2,0 : b loopt van 50 tot 200 mm in stappen van 25 mm.
- De verhouding r / h ligt tussen 0,1 en 0,3 : r loopt van 10 tot 30 mm in stappen van 5 mm.

Van alle mogelijke combinaties van parameters valt een deel af vanwege geometrische aspecten:

- De afrondingsbogen aan de binnen- en buitenzijde van het profiel moeten een gemeenschappelijk middelpunt hebben, anders zou de wanddikte niet constant zijn. Dit betekent dat r altijd groter moet zijn dan t .
- De afrondingsbogen mogen elkaar niet raken omdat dan een halve cirkel zou ontstaan. r moet dus altijd kleiner zijn dan de helft van de kleinste waarde van h en b , in deze modellering dus : $r < b / 2$



Figuur 12: Parameters van het model

Het op de gebruikelijke manier modelleren van een groot aantal problemen (inclusief het berekenen ervan en vervolgens de relevante data verzamelen) is een redelijk tijdsintensieve bezigheid. ANSYS is te bedienen met de grafische interface, maar het is ook mogelijk om alle commando's op een commandoregel in te voeren. Een lijst met deze commando's (*batch script*) kan door ANSYS worden ingelezen en verwerkt. Kleine veranderingen aan een model kunnen snel aangebracht worden en meerdere modellen kunnen achter elkaar worden berekend zonder dat er interactie vereist is. Bijkomende voordelen zijn dat de bestandsgrootte van het script slechts enkele kilobytes is (de bestanden die het grafische programma maakt zijn zo'n 10MB per stuk) en ze zijn ook te verwerken door oudere versies van ANSYS.

Om eenvoudig varianten op het basismodel te kunnen berekenen heb ik een ANSYS-batchscript gemaakt waarin de geometrie volledig is uitgedrukt in de variabelen b , h , t , r en l . Vervolgens heb ik een script gemaakt dat één voor één alle mogelijke parametercombinaties toevoegt aan het basis-script, dit door ANSYS laat uitvoeren en de benodigde gegevens (verplaatsing door afschuiving, maximale schuifspanning) opslaat in een tekstbestand.

Beide scripts zijn bijgevoegd in bijlage B.

4 Resultaten afschuifstijfheid

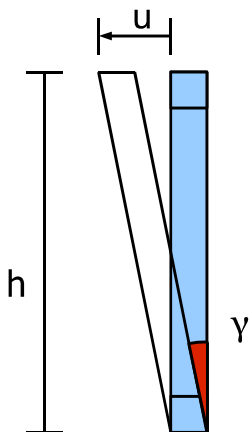
De afschuifstijfheid wordt bepaald uit de maximaal optredende verplaatsing door afschuiving zoals berekend door ANSYS. Hiervoor wordt het gedeelte tussen de opleggingen in het midden van de ligger beschouwd, door deze oplegging kan dit deel niet roteren of transleren. Figuur 13 is een voorbeeld van zo'n middendoorsnede in ANSYS met waarden van de verplaatsing.

Uit de verplaatsing van de bovenkant kan de afschuifhoek berekend worden (figuur 14); voor een kleine hoek γ geldt $\gamma \approx \tan \gamma$, dus $\gamma = \frac{u}{h}$

De afschuifstijfheid volgt uit $GA_{sh} = \frac{V}{\gamma}$

met A_{sh} = het oppervlak van het afschuivende deel van de doorsnede, V = de dwarskracht op de doorsnede en γ = de afschuifhoek. De glijmodulus G wordt bepaald uit de elasticiteitsmodulus en de dwarscontractiecoëfficiënt:

$$G = \frac{E}{2(1+\nu)}$$



Figuur 14:
Bepaling
afschuifhoek γ

Om een formule te kunnen opstellen moet het afschuivende oppervlak A_{sh} uitgedrukt worden in de variabelen h , b , t , en r . De oorspronkelijke benaderingsformule gaat er eenvoudig van uit dat alleen de zijwanden van het kokerprofiel van invloed zijn en rekent met

$$GA_{sh} = G2th$$

In een paper voortvloeiend uit het B.Sc.-eindwerk van J.M. de Wit² is een verbetering hierop voorgesteld:

$$GA_{sh} = Gt(2,17h + 1,89t - 0,37b)$$

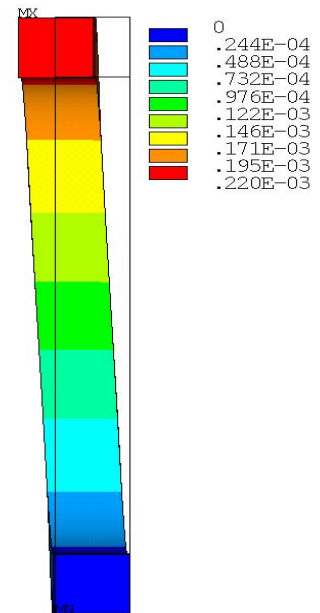
Om een passende formule te vinden is eerst geprobeerd met behulp van een spreadsheet deze formule aan te passen door de parameter r er bij in te verwerken en de factoren aan te passen, dus in de vorm

$$GA_{sh} = Gt(f_1h + f_2t - f_3b + f_4r)$$

Dit bleek uiteindelijk redelijk vruchteloos giswerk te zijn; voor een beperkt gebied van inputwaarden viel een acceptabel resultaat te halen maar voor het overgrote deel van de varianten zat er een verloop in de fout van enkele tot enkele tientallen procenten.

Vervolgens is een soort *reverse engineering* methode geprobeerd: door één parameter constant te houden en de resultaten van de ANSYS-berekening voor V/γ voor de overige parameters in één grafiek te plotten, en vervolgens aan de hand van visuele analyse van deze grafieken te proberen alle lijnen te laten samenvallen door V/γ te vermenigvuldigen met/delen door de verschillende variabelen b , t en r . Uiteindelijk viel er wel een redelijk verband te vinden maar hoewel de formule steeds complexer werd, bleef de percentuele fout in veel gevallen nog redelijk groot (zie bijlage C).

Uit deze eerste analyses bleek dat de resultaten van alle modellen met wanddikte $t = 2,5$ mm grote afwijkingen vertoonden ten opzichte van de rest, en dat in die afwijkingen niet een direct herkenbaar patroon was te vinden. Bij deze kleine wanddikte lijkt het standaardmodel dus niet geschikt te zijn, en de gegevens van deze modellen met $t = 2,5$ zijn verder buiten beschouwing gelaten.



Figuur 13: Zijaanzicht
middenplak

2 P.C.J. Hoogenboom & J.M. de Wit: *Shear Stiffness and Maximum Shear Stress of Square and Rectangular Hollow Sections*, ISOPE 2005

Uiteindelijk is gekozen voor de aanpak om de bestaande formule ($GA_{sh} = G2th$) geleidelijk uit te breiden. De eerste stap hierin was een equivalent van $2th$ op te stellen waar r in verwerkt is, h wordt dan vervangen door $h-2r$ + een factor van de ontwikkelde lengte in de afrondingsboog (figuur 15). Als heel de afrondingsboog wordt meegerekend zou de formule als volgt worden:

$$GA_{sh} = Gt(2h + (2\pi-4)r - \pi t)$$

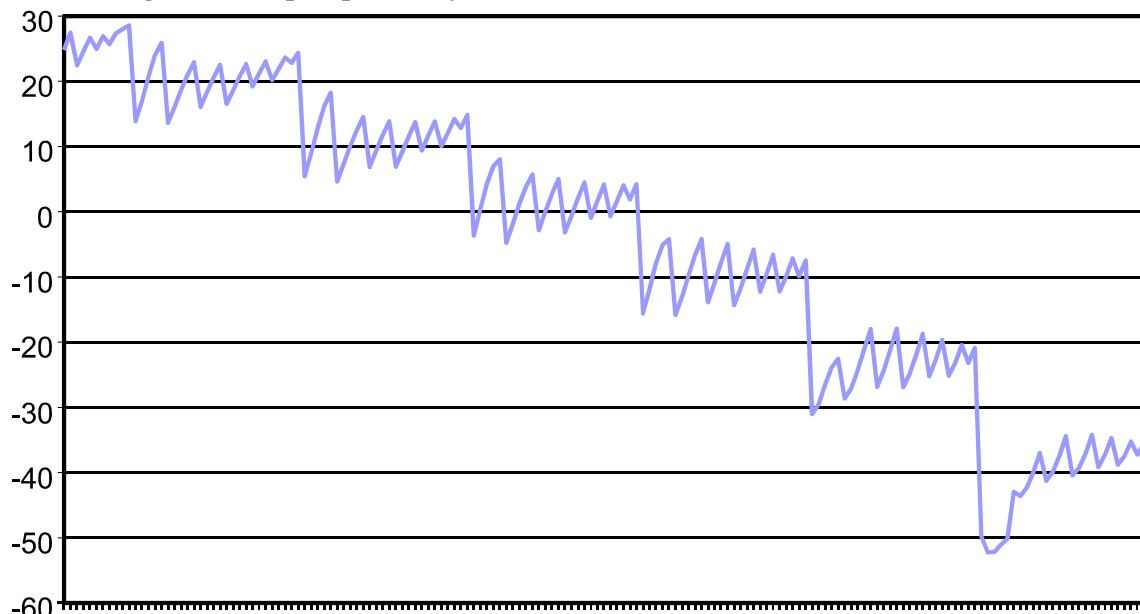
In een algemenere vorm:

$$GA_{sh} = Gt(f_1h + f_2r + f_3t)$$

Met behulp van het programma DataFit³ zijn de factoren a, b en c bepaald om de formule zo goed mogelijk bij de door ANSYS berekende waarden te laten passen. De eerste benadering was

$$GA_{sh} = Gt(1,51h - 0,26r + 0,74t)$$

De procentuele fout van deze benadering is in figuur 16 weergegeven; op de horizontale as staan de modelvarianten, gesorteerd op respectievelijk b , t en r .



Figuur 16: Procentuele fout in eerste benadering

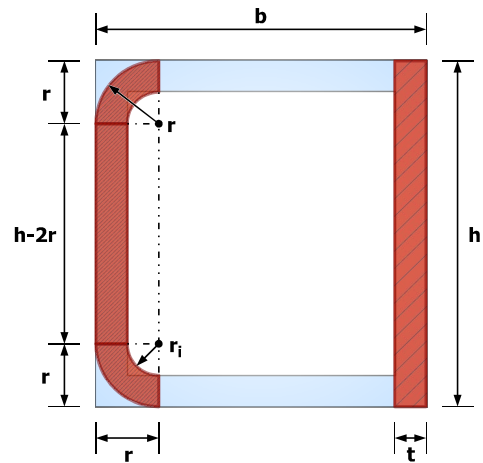
Hierin is duidelijk te zien dat de verhouding b/h een grote invloed heeft. In de volgende benadering is de parameter b lineair in rekening genomen:

$$GA_{sh} = Gt(f_1h + f_2r + f_3t + f_4b)$$

De curvefit hiervoor gaf

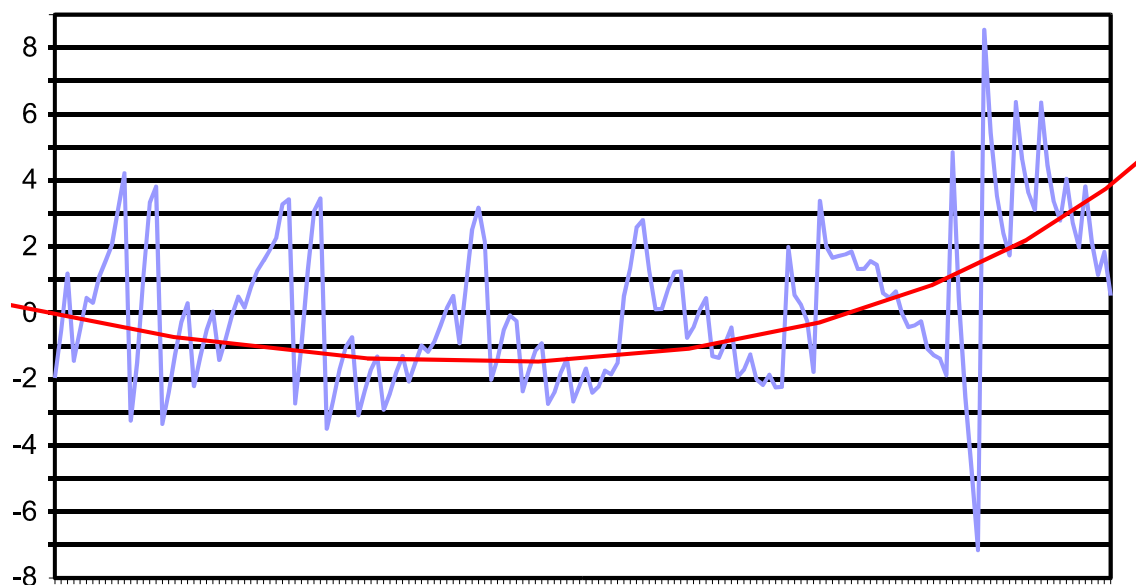
$$GA_{sh} = Gt(2,26h + 0,42r + 0,74t - 0,68b)$$

De fout in deze benadering is weergegeven in figuur 17.



Figuur 15: Vervanging voor th

3 DataFit is een programma voor curvefitten, <http://www.oakdaleengr.com/>



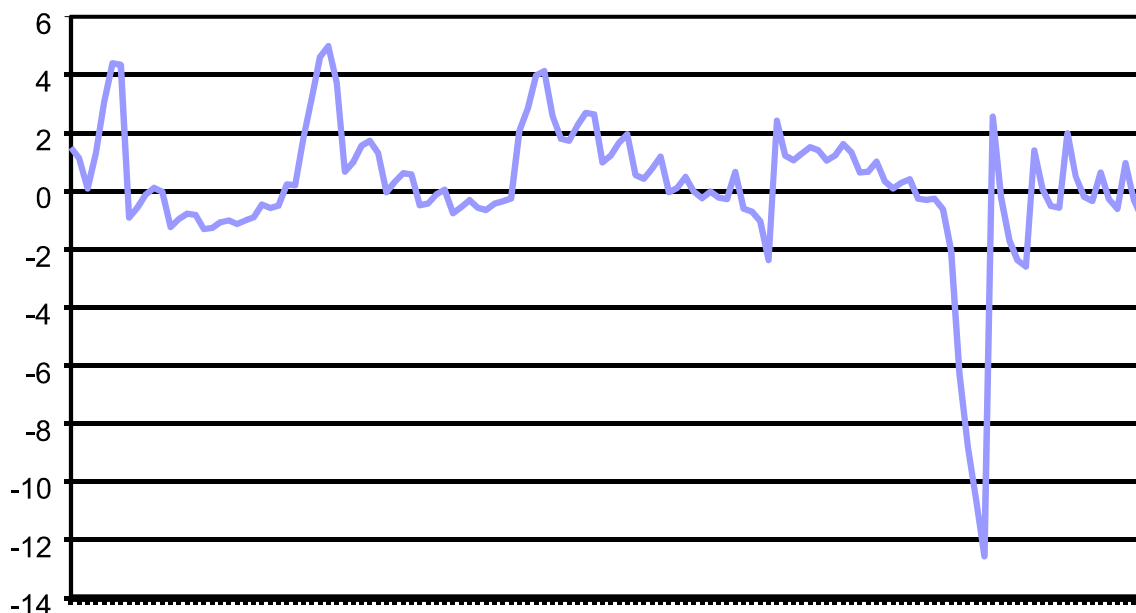
Figuur 17: Procentuele fout tweede benadering

Hierin valt op dat in het laatste deel ($b = 200$) de fout aanmerkelijk groter is dan in de rest, er lijkt een kwadratische invloed van b in te zitten. Ook blijkt de fout bij lagere waarden van b groter te worden met toenemende t en r , terwijl bij grotere waarden van b deze juist afneemt (voor data zie bijlage D). Er zijn dus kennelijk ook nog niet-lineaire verbanden t/b en r/b .

In de volgende benadering is geprobeerd een kwadratische factor van b te verwerken:

$$Gt(0,53h + 0,22r + 0,36t + 0,07b) \cdot (1 + 0,31(b/h - 3,2)^2)$$

Hoewel er nog steeds pieken in zitten, lijkt de tendens redelijk juist te zijn en blijft de absolute fout in de meeste gevallen onder de 2%.



Figuur 18: Procentuele fout bij derde benadering

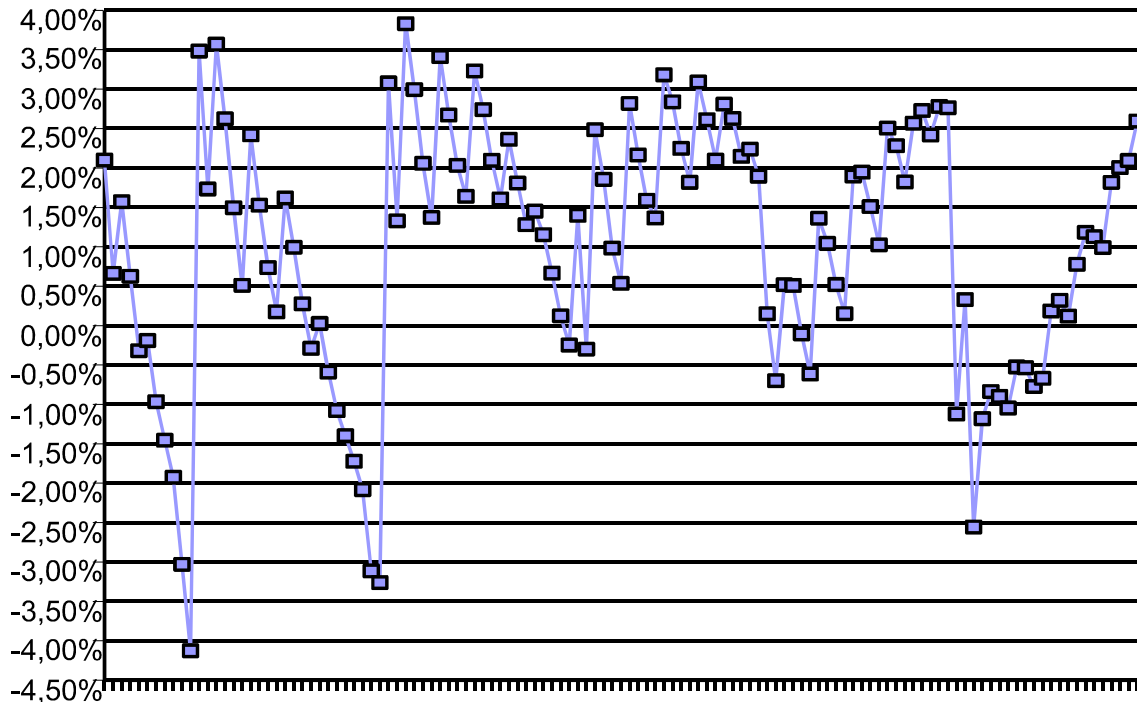
In vergelijking met de oorspronkelijke $G2th$ is de invloed van h bijzonder klein geworden, dus hoewel de meeste waarden aardig overeenkomen lijkt deze formule toch niet realistisch.

Om de benaderingsformule eenvoudig te houden is voor de lineair formule gekozen. Omdat de grootste fouten optreden bij hoge r/t en b/h -waarden zijn hiervoor randvoorwaarden opgesteld. De voorgestelde formule wordt:

$$GA_{sh} = Gt(2,26h + 0,42r + 0,74t - 0,68b)$$

met $b/h \leq 1,75$; $r/t < 4$ en $0,05 \leq t/h \leq 0,2$.

De fout hiervan is weergegeven in figuur 19:



Figuur 19: Procentuele fout benaderingsformule

Afgezien van enkele kleine pieken blijven alle absolute foutwaarden onder de 3%.

In bijlage E zijn van alle varianten de door ANSYS berekende waarden vergeleken met benaderingsformules.

5 Resultaten maximale schuifspanning

Bij het bekijken van de plots van het basismodel viel al op dat in de binnenhoeken van het profiel spanningsconcentraties optreden (zie figuur 20); in veel gevallen is deze piekspanning zelfs hoger dan de spanning halverwege de hoogte van de doorsnede waar het theoretische maximum optreedt. Deze piekspanningen treden echter slechts in een klein gebied op. Bovendien heeft staal een zekere vloeicapaciteit, zolang er voldoende vervormingscapaciteit is zullen deze spanningspieken wegvloeien. Er is dus geen probleem zolang de constructie overwegend statisch (dus niet op vermoeiing) belast wordt. Voor de bepaling van de maximale schuifspanning worden in dit project de piekspanningen in de hoeken buiten beschouwing gelaten, maar voor de volledigheid zijn wel de waarden van deze pieken verzameld.

Over wanneer de spanningen in de hoeken groter zijn dan die in het midden van de hoogte valt kwantitatief niet direct iets te zeggen, kwalitatief hooguit dat het eerder voorkomt bij doorsneden met hogere verhouding b/h en lagere r/t . Een overzicht van het spanningverloop is opgenomen in bijlage F.

Om een passende formule te vinden voor de maximaal optredende schuifspanning is weer een serie curvefit-iteraties gedaan zoals bij de bepaling van de afschuifstijfheid in hoofdstuk 4.

Als eerste is de vorm van de oorspronkelijke verbetering van de benaderingsformule (uit [1]) genomen:

$$\tau_{\max} = \frac{V}{t(1,79h - 1,31t)(1 - 0,042 \frac{h}{b})}$$

met de parameter r toegevoegd:

$$\tau_{\max} = \frac{V}{t(f_1 h + f_2 t + f_3 r)(1 + f_4 \frac{h}{b})}$$

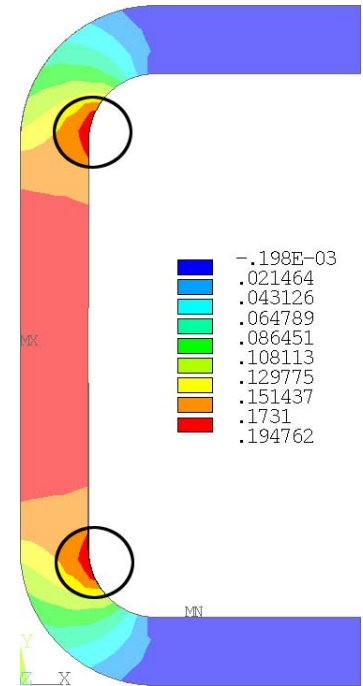
Uitgaande van de randvoorwaarden die in het vorige hoofdstuk zijn gesteld en het inbrengen van de factor t/r is na één iteratieslag al een bruikbare formule gevonden:

$$\tau_{\max} = \frac{V}{t(1,88h - 1,44t - 0,43r)(1 - 0,066 \frac{h}{b} - 0,01 \frac{t}{r})}$$

met $b/h \leq 1,75$; $r/t < 4$ en $0,05 \leq t/h \leq 0,2$.

Binnen deze grenzen is de grootste fout 2,89%.

In bijlage G zijn van alle varianten de door ANSYS berekende waarden vergeleken met benaderingsformules.



Figuur 20: Spanningen bij $b=100$, $t=10$, $r=20$

Conclusies en aanbevelingen

De voorgestelde formules

$$GA_{sh} = Gt(2,26h + 0,42r + 0,74t - 0,68b)$$

$$\tau_{max} = \frac{V}{t(1,88h - 1,44t - 0,43r)(1 - 0,066\frac{h}{b} - 0,01\frac{t}{r})}$$

$$(b/h \leq 1,75; r/t < 4 \text{ en } 0,05 \leq t/h \leq 0,2)$$

geven een redelijke benadering van de door ANSYS berekende waarden. Omdat echter de verhoudingen tussen wanddikte, afrondingsstraal en breedte soms een niet-lineair effect op de optredende afschuiving of schuifspanning lijken te hebben, is deze lineaire benadering misschien niet geschikt voor algemeen praktijkgebruik. Ook is niet zeker of de afwijkingen buiten de randvoorwaarden worden veroorzaakt door niet-lineaire verbanden tussen diverse parameters of eventueel ongeschiktheid van het basismodel voor deze varianten.

Een vervolgonderzoek zou verder in kunnen gaan om de invloeden van r/t en r/h nauwkeuriger in kaart te brengen, met zo mogelijk nog meer berekende modellen om duidelijker verbanden te kunnen zien.

Literatuurlijst

- (1) P.C.J. Hoogenboom & J.M. de Wit: *Shear Stiffness and Maximum Shear Stress of Square and Rectangular Hollow Sections*, ISOPE 2005
- (2) J.M. van der Meer: *Afschuifstijfheid van liggers en kolommen*, juni 2003
- (3) R. Spaan: *Afschuifstijfheid en maximale schuifspanning van ronde doorsneden*, november 2003
- (4) J.M. de Wit: *Afschuifstijfheid en maximale schuifspanning van rechthoekige kokerprofielen*, mei 2005

Evaluatie

Van de tijd die voor dit project beschikbaar was is een groot deel opgegaan aan het verkennen van ANSYS. Op zich vind ik het modelleren van problemen hiermee leuk werk, alleen bleek het telkens kleine variaties aan het model maken en het verzamelen van de uitkomsten nogal veel (en repetitief) werk te zijn. Ik heb daarom besloten een deel van de modelleertijd op te geven aan de mogelijkheid tot automatisering van het proces. Dit bleek achteraf een geslaagde keuze omdat in dezelfde tijd uiteindelijk een veel groter aantal modellen berekend kon worden, en eventuele vervolprojecten kunnen van dezelfde methode gebruik maken.

Hierna ben ik bij het maken van de benaderingsformules weer wat tijd verloren met verkeerde benaderingspogingen, en ben ik helaas niet meer toegekomen aan het verwerken van gegevens van de modellen met rechte buitenhoeken die al wel waren berekend.

Uiteindelijk Is het onderzoekswerk me wel bevallen, ook vanwege de soms interessante resultaten, zoals het feit dat de maximale spanning lang niet altijd volgens de klassieke theorie op de halve hoogte zit.

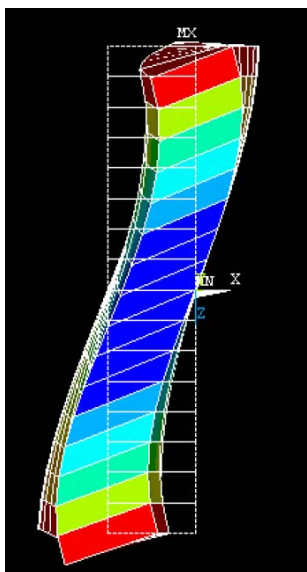
Bijlage A: Originele opdracht

BSc – eindwerk

Structural
Engineering

Afschuifstijfheid van kokers met ronde hoeken

Toelichting



Schuifvervorming van een plak uit een rechthoekige ligger
J.M. van der Meer, B.Sc. rapport 2003

Afschuifvervorming van liggers en kolommen kan een aanzienlijke invloed hebben op de krachtsverdeling in een raamwerk. Met name wanneer korte elementen in een constructie voorkomen is dit het geval. Daarom kunnen veel raamwerkprogramma's afschuifvervorming in rekening brengen. De constructeur moet daartoe de afschuifstijfheden van de elementen invoeren.

In een recent B.Sc. project¹ vonden we een formule voor de afschuifstijfheid van rechthoekige kokers. Echter, de invloed van de afgeronde hoeken is hierbij niet in rekening gebracht.

Opdracht

Modelleer kokerliggers van verschillende afmetingen met het eindige-elementenprogramma ANSYS. Breng met name de afgeronde hoeken van de kokers in rekening. Belast de liggers op afschuiving en bepaal de afschuifstijfheid en grootste schuifspanning. Controleer bestaande ontwerpformules en stel zonodig verbeteringen voor.

Secties

Nadere info

Constructiemechanica en Staalconstructies

dr.ir. P.C.J. Hoogenboom

ir. R. Abspoel

kamer 6.48 tel. 015 278 8081
p.hoogenboom@citg.tudelft.nl
tel. 015 278 5358
r.abspoel@citg.tudelft.nl

¹ J. de Wit, Afschuifstijfheid van rechthoekige kokerprofielen, BSc-eindwerk, Technische Universiteit Delft, juni 2005

Bijlage B: Scripts

Het basis-ANSYS-script *basis.txt*:

(een regel met ! aan het begin is commentaar)

```
! /batch
! (het eerste deel wordt bepaald
! door het script met de parameters)
! /FILENAME,100_100_10_20
! *SET,h,$H
! *SET,b,$B
! *SET,r,$R
! *SET,t,$T

*SET,md,10
*SET,fv,50
*SET,fh,fv*1/h

! "sanity check"
*IF,R,LE,T,STOP
*IF,B/2,LE,R,STOP
! stoppen als r>t of r<b/2

/PREP7
ET,1,SOLID95
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,210000
MPDATA,PRXY,1,,.3
! einde declaraties

! begin buitenaf rondingen
BLC4,0,0,r,r,(1-md)/2
BLC4,0,h-r,r,r,(1-md)/2
CYL4,r,r,r,180,,270,(1-md)/2
CYL4,r,h-r,r,90,,180,(1-md)/2
FLST,2,2,6,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,-2
FLST,3,2,6,ORDE,2
FITEM,3,3
FITEM,3,-4
VSBV,P51X,P51X
! einde buitenaf rondingen

! begin hoofdblok minus buitenaf rondingen
BLC4,0,0,b/2,h,(1-md)/2
FLST,3,2,6,ORDE,2
FITEM,3,5
FITEM,3,-6
VSBV,1,P51X
! einde hoofdblok minus buitenaf rondingen

! begin uitholling
BLC4,t,r,r-t,h-2*r,(1-md)/2
BLC4,r,t,b/2-r,h-2*t,(1-md)/2
CYL4,r,r,r-t,180,,270,(1-md)/2
CYL4,r,h-r,r-t,90,,180,(1-md)/2
FLST,3,4,6,ORDE,3
FITEM,3,1
FITEM,3,3
FITEM,3,-5
VSBV,2,P51X
! begin einde uitholling

! begin kopiëren en samenvoegen
FLST,3,1,6,ORDE,1
FITEM,3,6
VGEN,2,P51X,,,(1-md)/2,,0

FLST,3,1,6,ORDE,1
FITEM,3,6
VGEN,2,P51X,,,(1-md)/2,,0
VSBV,1,2
FLST,3,1,6,ORDE,1
FITEM,3,6
VGEN,2,P51X,,,(1-md)/2,,0
FLST,2,3,6,ORDE,3
FITEM,2,1
FITEM,2,3
FITEM,2,6
VADD,P51X
! einde kopiëren en samenvoegen

! begin opleggingen en krachten
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,40
FITEM,2,54
DK,P51X,, ,0,UY,, , , ,
FLST,2,1,3,ORDE,1
FITEM,2,62
DK,P51X,, ,0,UZ,, , , ,
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,11
FITEM,2,38
FK,P51X,FZ,fh
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,12
FITEM,2,37
FK,P51X,FZ,fh/2
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,14
FITEM,2,32
FK,P51X,FZ,-fh/2
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,4
FITEM,2,31
FK,P51X,FZ,-fh
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,31
FITEM,2,38
FK,P51X,FY,fv
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,32
FITEM,2,37
FK,P51X,FY,fv/2
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,12
FITEM,2,14
FK,P51X,FY,-fv/2
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,4
FITEM,2,11
FK,P51X,FY,-fv
FLST,2,6,5,ORDE,6
FITEM,2,15
FITEM,2,21
FITEM,2,56
FITEM,2,-57
FITEM,2,64
FITEM,2,-65
DA,P51X,SYMM
! einde opleggingen en krachten
```

```

! begin mesh
ESIZE,1/40,0,
FLST,2,2,5,ORDE,2
FITEM,2,2
FITEM,2,35
AESIZE,P51X,SQRT((b+h)*t/100),
! als mesh te fijn blijkt te zijn:
! AESIZE,P51X,SQRT((b+h)*t/75),
AESIZE,P51X,10,
CM,_Y,VOLU
VSEL,, , , 2
CM,_Y1,VOLU
CHKMSH,'VOLU'
CMSEL,S,_Y
VSWEEP,_Y1
CMDELE,_Y
CMDELE,_Y1
CMDELE,_Y2
FINISH
! einde mesh

*GET, interactive, ACTIVE, 0, INT
*IF, interactive, EQ, 0, THEN
! begin oplossing & opschonen tijdelijke bestanden
! alleen in batch mode
/SOLU
SOLVE
FINISH

/DELETE,,ppts
/DELETE,,bcs
/DELETE,,mntr
/DELETE,,esav
/DELETE,,full
FINISH
! einde oplossing & opschonen tijdelijke bestanden
*ENDIF

! begin postprocessing
/POST1
! eerste set berekende resultaten inlezen
SET,FIRST

/GRAPHICS,POWER
/ESHAPE,1,1
/EFACET,2

! in batchmode: grafische output naar bestand
*IF, interactive, EQ, 0, THEN
/SHOW,PNG
PNGR,COMP,ON,9
*ENDIF

! voor/achtergrondkleur inverteren
/rgb,index,100,100,100, 0
/rgb,index, 80, 80, 80,13
/rgb,index, 60, 60, 60,14
/rgb,index, 0, 0, 0,15

! begin selectie middendoorsnede
ETABLE,plak,CENT,Z
ESEL,S,ETAB,plak,(1-md)/2,(1+md)/2,,
! einde selectie middendoorsnede

! afbeeldingen maken & maximale waarden uitlezen
/VIEW,1,1,0,0
plnsol,U,Z,2,,
*get,uz_max,plnsol,0,max

/VIEW,1,0,0,1
plnsol,S,YZ,0,,
*get,taumax,plnsol,0,max
ETABLE,midden,CENT,Y

!
ESEL,R,ETAB,midden,0.4*h,0.6*h,,
plnsol,S,YZ,0,-1,
*get,taumid,plnsol,0,max
! einde postprocessing

/eof
! einde script

```

De scripting-mogelijkheden in Windows/DOS zijn vrij beperkt, daarom is voor het genereren van de input-bestanden voor ANSYS gebruik gemaakt van Cygwin, een UNIX-achtige omgeving voor Windows-computers. De BASH-shell is flexibeler en veelzijdiger dan de DOS-shell en maakt het verwerken van berekende gegevens makkelijker.

Op de volgende bladzijde staat het script in zijn geheel.

Cygwin is gratis te downloaden (<http://www.cygwin.com/>).

Het shell-script om ANSYS op te starten:

```
#!/bin/bash

set ANSYS_LOCK=OFF
set ANS_CONSEC=YES

# naam voor databestand:
data="alles"

H=100
u="_" # underscores geven problemen gecombineerd met variabelen

B=50
while [ $B -le 200 ] ; do                                # breedte-lus

    T_teller=25

    while [ $T_teller -le 200 ] ; do                      # wanddikte-lus; BASH rekt alleen met hele getallen

        read T< <(echo "scale=1; $T_teller/10" | bc) # deelt T_teller door 10 met 1 decimaal
        R=10

        while [ $R -le 30 ] ; do                          # radius-lus

            jobname=$H$u$B$u$T$u$R                        # bijv. 100_100_10_20

            # overslaan als berekening al gemaakt is
            if [ -e $jobname.rst ] ; then
                let R=R+5 ; continue                      # programmalus door naar volgende waarde
            fi

            echo "$jobname wordt nu berekend"

            # samenstellen ANSYS input-file:
            echo "/batch " > $jobname.inp
            echo "/FILENAME,$jobname,0 " >> $jobname.inp
            echo "*SET,h,$H" >> $jobname.inp
            echo "*SET,b,$B" >> $jobname.inp
            echo "*SET,r,$R" >> $jobname.inp
            echo "*SET,t,$T" >> $jobname.inp
            cat basis.txt >> $jobname.inp

            # ANSYS opstarten:
            /cygdrive/c/Program\ Files/Ansys\ Inc/v80/ANSYS/bin/intel/ansys.exe -p ansysuh -b -i $jobname.inp
            -o $jobname.out

            # gegevens bewaren van profielen waarvan geen berekening is gemaakt
            if [ ! -e $jobname.rst ] ; then
                echo "$jobname.inp,$H,$B,$T,$R" >> geenberekening.csv
                echo "$jobname is niet berekend."
                let R=R+5 ; continue                      # programmalus door naar volgende waarde
            fi

            # relevante waarden lezen uit ANSYS-uitvoerbestand:
            read uz_max < <(grep UZ_MAX $jobname.out | cut -d" " -f21)
            read taumax < <(grep TAUMAX $jobname.out | cut -d" " -f21)
            read taumid < <(grep TAUMID $jobname.out | cut -d" " -f21)

            # parameters en bijbehorende resultaten wegschrijven
            # naar komma-gescheiden tekstbestand:
            echo "$H,$B,$T,$R,$uz_max,$taumid,$taumax" >> $data.csv

            echo "berekening van $jobname is afgerond."

            let R=R+5                                # toename radius met 5mm
        done

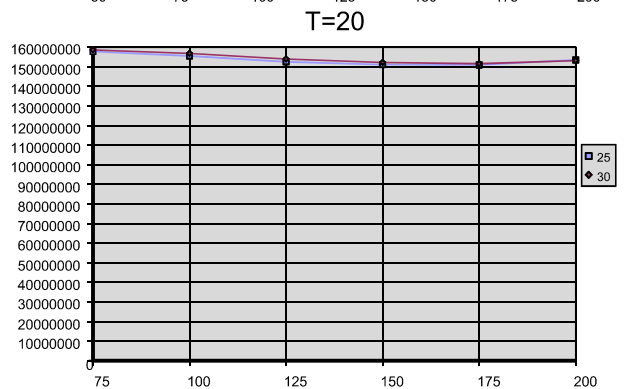
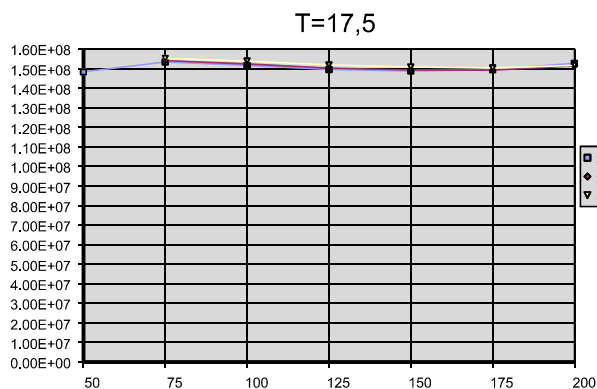
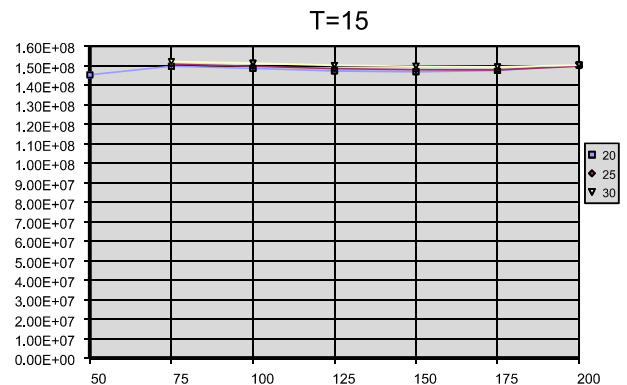
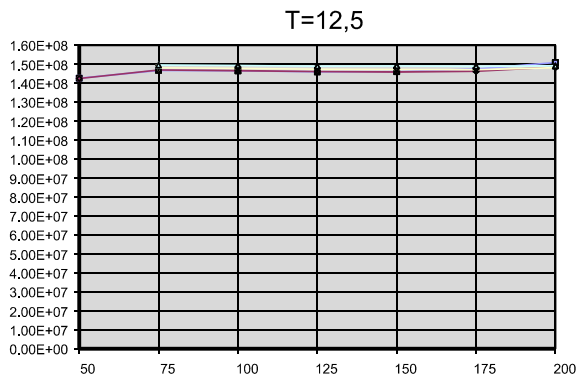
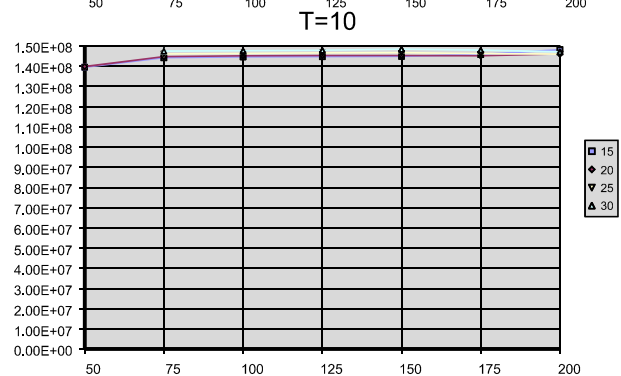
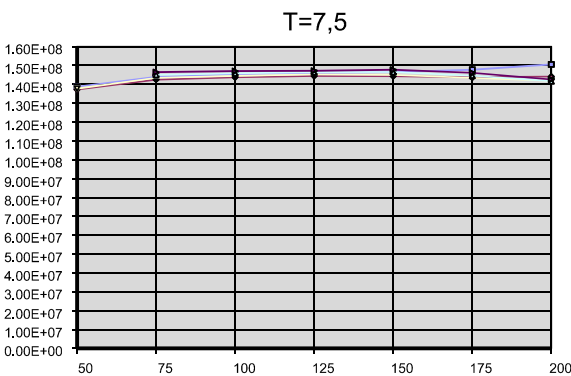
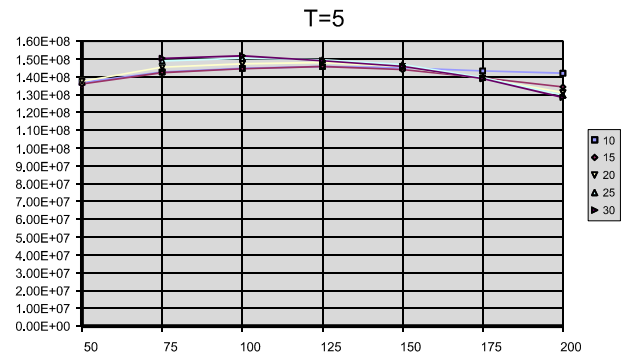
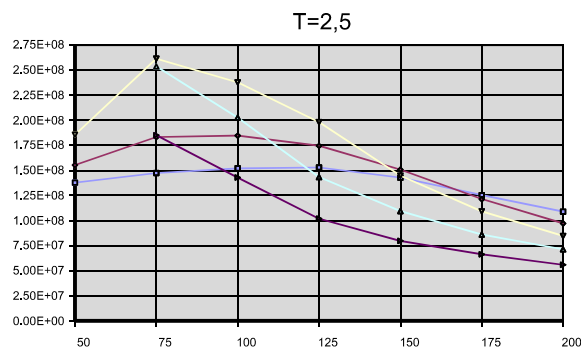
        let T_teller=T_teller+25                    # toename wanddikte met 2.5 (!) mm
    done

    let B=B+25                                        # toename breedte met 25mm
done
exit 0
```

Bijlage C: Grafieken benadering afschuifstijfheid

De tweede benaderingsmethode was het vermenigvuldigen van V/γ met steeds meer invloedsfactoren totdat een rechte lijn ontstaat voor alle grafieken. Dit is opgegeven omdat de formuleodeloos ingewikkeld werd.

Deze grafieken zijn voor $\frac{\text{constante} * th}{\sqrt{\left(\frac{b}{h}\right) * \left(1 - \frac{1}{r}\right) * \left(1 + 0,2\left(\frac{b}{h} - 1,25\right)^{(2)}\right)}}$



Bijlage D: Foutwaarden curvefit

tweede benadering:

B	T	R	% fout
50	5	10	-1,96
50	5	15	-0,52
50	5	20	1,18
50	7,5	10	-1,45
50	7,5	15	-0,5
50	7,5	20	0,45
50	10	15	0,31
50	10	20	1,08
50	12,5	15	1,56
50	12,5	20	2,03
50	15	20	3,13
50	17,5	20	4,21
75	5	10	-3,25
75	5	15	-1,5
75	5	20	1,1
75	5	25	3,33
75	5	30	3,81
75	7,5	10	-3,35
75	7,5	15	-2,4
75	7,5	20	-1,27
75	7,5	25	-0,29
75	7,5	30	0,29
75	10	15	-2,21
75	10	20	-1,32
75	10	25	-0,52
75	10	30	0,04
75	12,5	15	-1,42
75	12,5	20	-0,79
75	12,5	25	-0,08
75	12,5	30	0,49
75	15	20	0,16
75	15	25	0,78
75	15	30	1,27
75	17,5	20	1,57
75	17,5	25	1,9
75	17,5	30	2,26
75	20	25	3,28
75	20	30	3,43
100	5	10	-2,73
100	5	15	-0,98
100	5	20	1,28
100	5	25	3,08
100	5	30	3,45
100	7,5	10	-3,49
100	7,5	15	-2,66
100	7,5	20	-1,72
100	7,5	25	-1,04
100	7,5	30	-0,74
100	10	15	-3,09
100	10	20	-2,35
100	10	25	-1,71
100	10	30	-1,32
100	12,5	15	-2,92
100	12,5	20	-2,43
100	12,5	25	-1,79
100	12,5	30	-1,3
100	15	20	-2,07
100	15	25	-1,51
100	15	30	-0,99
100	17,5	20	-1,17
100	17,5	25	-0,87
100	17,5	30	-0,39
100	20	25	0,14
100	20	30	0,51

B	T	R	% fout
125	5	10	-0,92
125	5	15	0,77
125	5	20	2,53
125	5	25	3,17
125	5	30	2,15
125	7,5	10	-2,02
125	7,5	15	-1,39
125	7,5	20	-0,52
125	7,5	25	-0,07
125	7,5	30	-0,24
125	10	15	-2,37
125	10	20	-1,71
125	10	25	-1,14
125	10	30	-0,92
125	12,5	15	-2,74
125	12,5	20	-2,4
125	12,5	25	-1,81
125	12,5	30	-1,38
125	15	20	-2,67
125	15	25	-2,19
125	15	30	-1,68
125	17,5	20	-2,41
125	17,5	25	-2,22
125	17,5	30	-1,74
125	20	25	-1,85
125	20	30	-1,51
150	5	10	0,5
150	5	15	1,34
150	5	20	2,57
150	5	25	2,8
150	5	30	1,29
150	7,5	10	0,11
150	7,5	15	0,12
150	7,5	20	0,73
150	7,5	25	1,23
150	7,5	30	1,25
150	10	15	-0,75
150	10	20	-0,44
150	10	25	0,08
150	10	30	0,45
150	12,5	15	-1,3
150	12,5	20	-1,36
150	12,5	25	-0,92
150	12,5	30	-0,44
150	15	20	-1,93
150	15	25	-1,71
150	15	30	-1,25
150	17,5	20	-2,01
150	17,5	25	-2,17
150	17,5	30	-1,87
150	20	25	-2,25
150	20	30	-2,23

B	T	R	% fout
175	5	10	1,99
175	5	15	0,54
175	5	20	0,25
175	5	25	-0,26
175	5	30	-1,78
175	7,5	10	3,38
175	7,5	15	2,01
175	7,5	20	1,66
175	7,5	25	1,72
175	7,5	30	1,76
175	10	15	1,85
175	10	20	1,32
175	10	25	1,33
175	10	30	1,56
175	12,5	15	1,45
175	12,5	20	0,59
175	12,5	25	0,45
175	12,5	30	0,65
175	15	20	-0,02
175	15	25	-0,43
175	15	30	-0,38
175	17,5	20	-0,26
175	17,5	25	-1,08
175	17,5	30	-1,27
175	20	25	-1,38
175	20	30	-1,88
200	5	10	4,85
200	5	15	0,37
200	5	20	-2,53
200	5	25	-4,78
200	5	30	-7,16
200	7,5	10	8,54
200	7,5	15	5,43
200	7,5	20	3,54
200	7,5	25	2,41
200	7,5	30	1,74
200	10	15	6,36
200	10	20	4,62
200	10	25	3,62
200	10	30	3,11
200	12,5	15	6,35
200	12,5	20	4,47
200	12,5	25	3,36
200	12,5	30	2,79
200	15	20	4,04
200	15	25	2,73
200	15	30	1,98
200	17,5	20	3,82
200	17,5	25	2,15
200	17,5	30	1,15
200	20	25	1,84
200	20	30	0,52

Bijlage E: Vergelijking afschuifstijfheidsformules

De waarden van het afschuivend oppervlak A_{sh} als berekend met de oorspronkelijke benaderingsformule, de formule voorgesteld in [1] en de in dit project voorgestelde formule worden hier vergeleken met de door ANSYS bepaalde waarde:

Input				Ratio's			Output	A_{sh} waarden				Procentuele fout t.o.v. ANSYS		
H	B	T	R	T/H	T/B	R/T	U_{max}	A_{sh} (ANSYS)	A_{sh} (th)	A_{sh} (DeWit)	A_{sh} (nieuw)	% th	% De Wit	% Nieuw
100	50	2,5	10	0,03	0,05	4	7,53E-004	493,25	500	508,06	494,88	1,37%	3,00%	0,33%
100	50	2,5	15	0,03	0,05	6	6,48E-004	573,18	500	508,06	500	-12,77%	-11,36%	-12,77%
100	50	2,5	20	0,03	0,05	8	5,34E-004	695,68	500	508,06	505,13	-28,13%	-26,97%	-27,39%
100	50	5	10	0,05	0,1	2	3,80E-004	978,44	1000	1039,75	999	2,20%	6,27%	2,10%
100	50	5	15	0,05	0,1	3	3,70E-004	1002,6	1000	1039,75	1009,25	-0,26%	3,70%	0,66%
100	50	5	20	0,05	0,1	4	3,61E-004	1030,27	1000	1039,75	1019,5	-2,94%	0,92%	-1,05%
100	50	7,5	10	0,08	0,15	1,33	2,49E-004	1488,97	1500	1595,06	1512,38	0,74%	7,13%	1,57%
100	50	7,5	15	0,08	0,15	2	2,45E-004	1518,24	1500	1595,06	1527,75	-1,20%	5,06%	0,63%
100	50	7,5	20	0,08	0,15	2,67	2,40E-004	1548,07	1500	1595,06	1543,13	-3,10%	3,04%	-0,32%
100	50	10	15	0,1	0,2	1,5	1,80E-004	2059,38	2000	2174	2055,5	-2,88%	5,57%	-0,19%
100	50	10	20	0,1	0,2	2	1,77E-004	2096,22	2000	2174	2076	-4,59%	3,71%	-0,96%
100	50	12,5	15	0,13	0,25	1,2	1,41E-004	2630,77	2500	2776,56	2592,5	-4,97%	5,54%	-1,45%
100	50	12,5	20	0,13	0,25	1,6	1,39E-004	2669,48	2500	2776,56	2618,13	-6,35%	4,01%	-1,92%
100	50	15	20	0,15	0,3	1,33	1,14E-004	3268,52	3000	3402,75	3169,5	-8,22%	4,11%	-3,03%
100	50	17,5	20	0,18	0,35	1,14	9,55E-005	3890,65	3500	4052,56	3730,13	-10,04%	4,16%	-4,13%
100	75	2,5	10	0,03	0,03	4	8,14E-004	456,4	500	484,94	452,38	9,55%	6,25%	-0,88%
100	75	2,5	15	0,03	0,03	6	6,35E-004	584,82	500	484,94	457,5	-14,50%	-17,08%	-21,77%
100	75	2,5	20	0,03	0,03	8	4,38E-004	848,04	500	484,94	462,63	-41,04%	-42,82%	-45,45%
100	75	2,5	25	0,03	0,03	10	4,47E-004	830,54	500	484,94	467,75	-39,80%	-41,61%	-43,68%
100	75	2,5	30	0,03	0,03	12	6,09E-004	609,82	500	484,94	472,88	-18,01%	-20,48%	-22,46%
100	75	5	10	0,05	0,07	2	4,21E-004	883,22	1000	993,5	914	13,22%	12,49%	3,48%
100	75	5	15	0,05	0,07	3	4,09E-004	908,5	1000	993,5	924,25	10,07%	9,36%	1,73%
100	75	5	20	0,05	0,07	4	3,94E-004	942,7	1000	993,5	934,5	6,08%	5,39%	-0,87%
100	75	5	25	0,05	0,07	5	3,81E-004	974,96	1000	993,5	944,75	2,57%	1,90%	-3,10%
100	75	5	30	0,05	0,07	6	3,75E-004	990,48	1000	993,5	955	0,96%	0,31%	-3,58%
100	75	7,5	10	0,08	0,1	1,33	2,78E-004	1337,11	1500	1525,69	1384,88	12,18%	14,10%	3,57%
100	75	7,5	15	0,08	0,1	2	2,72E-004	1364,44	1500	1525,69	1400,25	9,94%	11,82%	2,62%
100	75	7,5	20	0,08	0,1	2,67	2,66E-004	1394,76	1500	1525,69	1415,63	7,55%	9,39%	1,50%
100	75	7,5	25	0,08	0,1	3,33	2,61E-004	1423,71	1500	1525,69	1431	5,36%	7,16%	0,51%
100	75	7,5	30	0,08	0,1	4	2,57E-004	1447,33	1500	1525,69	1446,38	3,64%	5,41%	-0,07%
100	75	10	15	0,1	0,13	1,5	2,02E-004	1840,95	2000	2081,5	1885,5	8,64%	13,07%	2,42%
100	75	10	20	0,1	0,13	2	1,98E-004	1877,31	2000	2081,5	1906	6,54%	10,88%	1,53%
100	75	10	25	0,1	0,13	2,5	1,94E-004	1912,44	2000	2081,5	1926,5	4,58%	8,84%	0,74%
100	75	10	30	0,1	0,13	3	1,91E-004	1943,61	2000	2081,5	1947	2,90%	7,09%	0,17%
100	75	12,5	15	0,13	0,17	1,2	1,59E-004	2342,06	2500	2660,94	2380	6,74%	13,62%	1,62%
100	75	12,5	20	0,13	0,17	1,6	1,56E-004	2381,95	2500	2660,94	2405,63	4,96%	11,71%	0,99%
100	75	12,5	25	0,13	0,17	2	1,53E-004	2424,54	2500	2660,94	2431,25	3,11%	9,75%	0,28%
100	75	12,5	30	0,13	0,17	2,4	1,51E-004	2463,98	2500	2660,94	2456,88	1,46%	7,99%	-0,29%
100	75	15	20	0,15	0,2	1,33	1,27E-004	2913,71	3000	3264	2914,5	2,96%	12,02%	0,03%
100	75	15	25	0,15	0,2	1,67	1,25E-004	2962,71	3000	3264	2945,25	1,26%	10,17%	-0,59%
100	75	15	30	0,15	0,2	2	1,23E-004	3008,45	3000	3264	2976	-0,28%	8,49%	-1,08%
100	75	17,5	20	0,18	0,23	1,14	1,07E-004	3481,26	3500	3890,69	3432,63	0,54%	11,76%	-1,40%
100	75	17,5	25	0,18	0,23	1,43	1,05E-004	3529,25	3500	3890,69	3468,5	-0,83%	10,24%	-1,72%
100	75	17,5	30	0,18	0,23	1,71	1,04E-004	3578,89	3500	3890,69	3504,38	-2,20%	8,71%	-2,08%
100	75	20	25	0,2	0,27	1,25	8,99E-005	4129,59	4000	4541	4001	-3,14%	9,96%	-3,11%
100	75	20	30	0,2	0,27	1,5	8,89E-005	4178,26	4000	4541	4042	-4,27%	8,68%	-3,26%
100	100	2,5	10	0,03	0,03	4	8,78E-004	422,83	500	461,81	409,88	18,25%	9,22%	-3,06%
100	100	2,5	15	0,03	0,03	6	7,02E-004	529,07	500	461,81	415	-5,49%	-12,71%	-21,56%
100	100	2,5	20	0,03	0,03	8	5,36E-004	692,78	500	461,81	420,13	-27,83%	-33,34%	-39,36%
100	100	2,5	25	0,03	0,03	10	6,23E-004	595,88	500	461,81	425,25	-16,09%	-22,50%	-28,63%
100	100	2,5	30	0,03	0,03	12	8,78E-004	423,04	500	461,81	430,38	18,19%	9,17%	1,73%
100	100	5	10	0,05	0,05	2	4,62E-004	804,23	1000	947,25	829	24,34%	17,78%	3,08%
100	100	5	15	0,05	0,05	3	4,48E-004	828,24	1000	947,25	839,25	20,74%	14,37%	1,33%
100	100	5	20	0,05	0,05	4	4,33E-004	857,61	1000	947,25	849,5	16,60%	10,45%	-0,95%
100	100	5	25	0,05	0,05	5	4,20E-004	884,02	1000	947,25	859,75	13,12%	7,15%	-2,75%
100	100	5	30	0,05	0,05	6	4,14E-004	898	1000	947,25	870	11,36%	5,48%	-3,12%

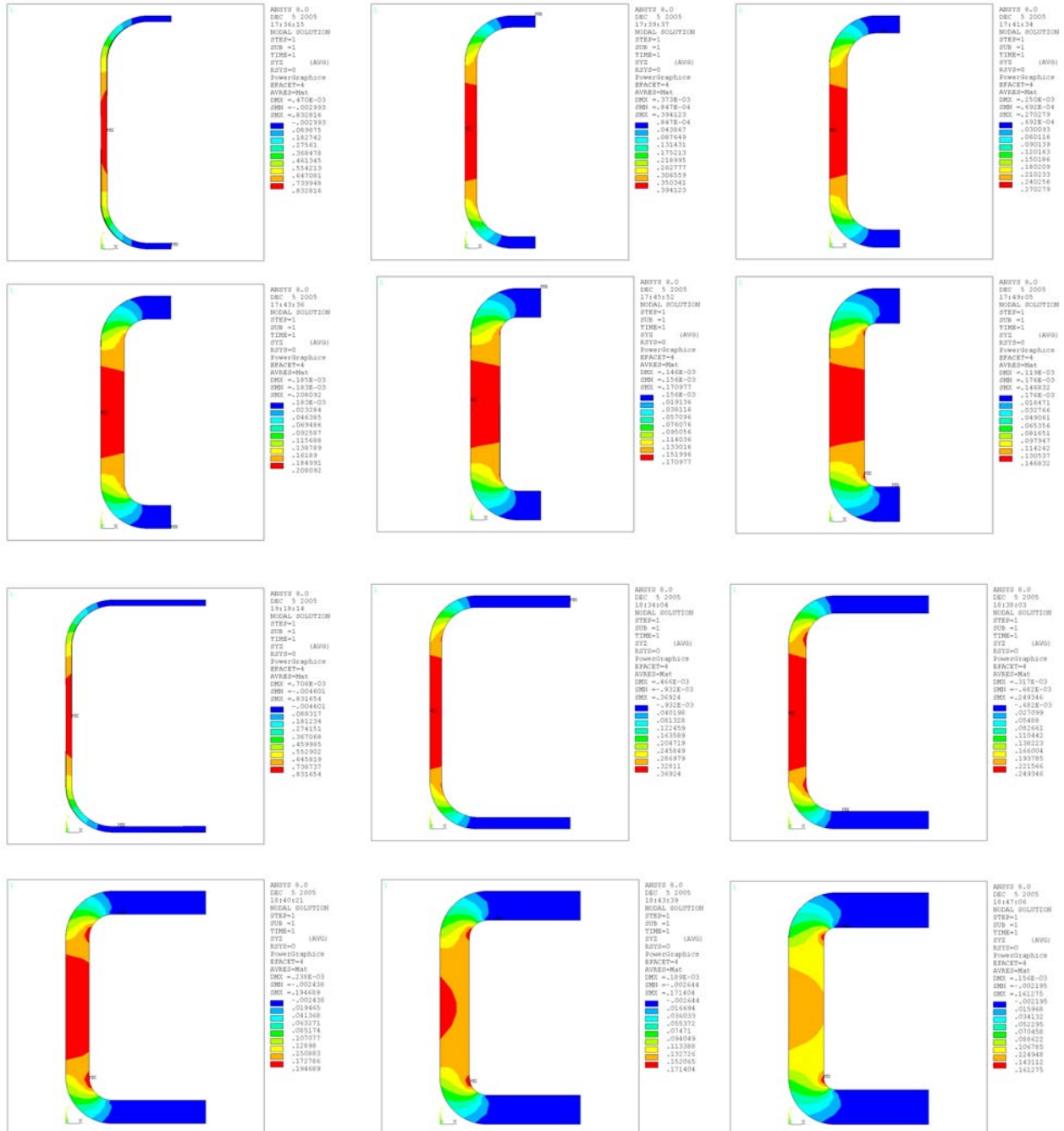
Input				Ratio's			Output	A _{sh} waarden				Procentuele fout t.o.v. ANSYS		
H	B	T	R	T/H	T/B	R/T	U _{max}	A _{sh} (ANSYS)	A _{sh} (th)	A _{sh} (DeWit)	A _{sh} (nieuw)	% th	% De Wit	% Nieuw
100	100	7,5	10	0,08	0,08	1,33	3,07E-004	1210,98	1500	1456,31	1257,38	23,87%	20,26%	3,83%
100	100	7,5	15	0,08	0,08	2	3,01E-004	1235,74	1500	1456,31	1272,75	21,39%	17,85%	3,00%
100	100	7,5	20	0,08	0,08	2,67	2,94E-004	1262,13	1500	1456,31	1288,13	18,85%	15,39%	2,06%
100	100	7,5	25	0,08	0,08	3,33	2,89E-004	1285,85	1500	1456,31	1303,5	16,65%	13,26%	1,37%
100	100	7,5	30	0,08	0,08	4	2,85E-004	1304,92	1500	1456,31	1318,88	14,95%	11,60%	1,07%
100	100	10	15	0,1	0,1	1,5	2,24E-004	1658,87	2000	1989	1715,5	20,56%	19,90%	3,41%
100	100	10	20	0,1	0,1	2	2,20E-004	1690,81	2000	1989	1736	18,29%	17,64%	2,67%
100	100	10	25	0,1	0,1	2,5	2,16E-004	1721,5	2000	1989	1756,5	16,18%	15,54%	2,03%
100	100	10	30	0,1	0,1	3	2,12E-004	1748,32	2000	1989	1777	14,40%	13,77%	1,64%
100	100	12,5	15	0,13	0,13	1,2	1,77E-004	2099,65	2500	2545,31	2167,5	19,07%	21,23%	3,23%
100	100	12,5	20	0,13	0,13	1,6	1,74E-004	2134,62	2500	2545,31	2193,13	17,12%	19,24%	2,74%
100	100	12,5	25	0,13	0,13	2	1,71E-004	2173,15	2500	2545,31	2218,75	15,04%	17,13%	2,10%
100	100	12,5	30	0,13	0,13	2,4	1,68E-004	2208,86	2500	2545,31	2244,38	13,18%	15,23%	1,61%
100	100	15	20	0,15	0,15	1,33	1,43E-004	2598,09	3000	3125,25	2659,5	15,47%	20,29%	2,36%
100	100	15	25	0,15	0,15	1,67	1,41E-004	2642,45	3000	3125,25	2690,25	13,53%	18,27%	1,81%
100	100	15	30	0,15	0,15	2	1,38E-004	2686,61	3000	3125,25	2721	11,66%	16,33%	1,28%
100	100	17,5	20	0,18	0,18	1,14	1,20E-004	3090,24	3500	3728,81	3135,13	13,26%	20,66%	1,45%
100	100	17,5	25	0,18	0,18	1,43	1,18E-004	3134,81	3500	3728,81	3171	11,65%	18,95%	1,15%
100	100	17,5	30	0,18	0,18	1,71	1,17E-004	3185,65	3500	3728,81	3206,88	9,87%	17,05%	0,67%
100	100	20	25	0,2	0,2	1,25	1,02E-004	3656,46	4000	4356	3661	9,40%	19,13%	0,12%
100	100	20	30	0,2	0,2	1,5	1,00E-004	3711,14	4000	4356	3702	7,78%	17,38%	-0,25%
100	125	2,5	10	0,03	0,02	4	9,64E-004	385,13	500	438,69	367,38	29,83%	13,91%	-4,61%
100	125	2,5	15	0,03	0,02	6	8,20E-004	453	500	438,69	372,5	10,37%	-3,16%	-17,77%
100	125	2,5	20	0,03	0,02	8	7,10E-004	522,85	500	438,69	377,63	-4,37%	-16,10%	-27,78%
100	125	2,5	25	0,03	0,02	10	9,73E-004	381,77	500	438,69	382,75	30,97%	14,91%	0,26%
100	125	2,5	30	0,03	0,02	12	1,36E-003	273,12	500	438,69	387,88	83,07%	60,62%	42,01%
100	125	5	10	0,05	0,04	2	5,06E-004	733,72	1000	901	744	36,29%	22,80%	1,40%
100	125	5	15	0,05	0,04	3	4,91E-004	756,51	1000	901	754,25	32,19%	19,10%	-0,30%
100	125	5	20	0,05	0,04	4	4,76E-004	780,58	1000	901	764,5	28,11%	15,43%	-2,06%
100	125	5	25	0,05	0,04	5	4,66E-004	796,33	1000	901	774,75	25,58%	13,14%	-2,71%
100	125	5	30	0,05	0,04	6	4,65E-004	798,4	1000	901	785	25,25%	12,85%	-1,68%
100	125	7,5	10	0,08	0,06	1,33	3,37E-004	1102,46	1500	1386,94	1129,88	36,06%	25,80%	2,49%
100	125	7,5	15	0,08	0,06	2	3,30E-004	1124,39	1500	1386,94	1145,25	33,41%	23,35%	1,86%
100	125	7,5	20	0,08	0,06	2,67	3,23E-004	1149,32	1500	1386,94	1160,63	30,51%	20,68%	0,98%
100	125	7,5	25	0,08	0,06	3,33	3,18E-004	1169,73	1500	1386,94	1176	28,23%	18,57%	0,54%
100	125	7,5	30	0,08	0,06	4	3,14E-004	1183,04	1500	1386,94	1191,38	26,79%	17,23%	0,70%
100	125	10	15	0,1	0,08	1,5	2,47E-004	1503,11	2000	1896,5	1545,5	33,06%	26,17%	2,82%
100	125	10	20	0,1	0,08	2	2,42E-004	1532,81	2000	1896,5	1566	30,48%	23,73%	2,17%
100	125	10	25	0,1	0,08	2,5	2,38E-004	1561,67	2000	1896,5	1586,5	28,07%	21,44%	1,59%
100	125	10	30	0,1	0,08	3	2,34E-004	1585,35	2000	1896,5	1607	26,16%	19,63%	1,37%
100	125	12,5	15	0,13	0,1	1,2	1,96E-004	1894,7	2500	2429,69	1955	31,95%	28,24%	3,18%
100	125	12,5	20	0,13	0,1	1,6	1,93E-004	1925,92	2500	2429,69	1980,63	29,81%	26,16%	2,84%
100	125	12,5	25	0,13	0,1	2	1,89E-004	1962,12	2500	2429,69	2006,25	27,41%	23,83%	2,25%
100	125	12,5	30	0,13	0,1	2,4	1,86E-004	1995,58	2500	2429,69	2031,88	25,28%	21,75%	1,82%
100	125	15	20	0,15	0,12	1,33	1,59E-004	2332,37	3000	2986,5	2404,5	28,62%	28,05%	3,09%
100	125	15	25	0,15	0,12	1,67	1,57E-004	2373,27	3000	2986,5	2435,25	26,41%	25,84%	2,61%
100	125	15	30	0,15	0,12	2	1,54E-004	2415,29	3000	2986,5	2466	24,21%	23,65%	2,10%
100	125	17,5	20	0,18	0,14	1,14	1,35E-004	2760,06	3500	3566,94	2837,63	26,81%	29,23%	2,81%
100	125	17,5	25	0,18	0,14	1,43	1,33E-004	2799,91	3500	3566,94	2873,5	25,00%	27,39%	2,63%
100	125	17,5	30	0,18	0,14	1,71	1,30E-004	2848,23	3500	3566,94	2909,38	22,88%	25,23%	2,15%
100	125	20	25	0,2	0,16	1,25	1,14E-004	3248,23	4000	4171	3321	23,14%	28,41%	2,24%
100	125	20	30	0,2	0,16	1,5	1,13E-004	3299,45	4000	4171	3362	21,23%	26,42%	1,90%
100	150	2,5	10	0,03	0,02	4	1,15E-003	324,35	500	415,56	324,88	54,16%	28,12%	0,16%
100	150	2,5	15	0,03	0,02	6	1,05E-003	352,9	500	415,56	330	41,68%	17,76%	-6,49%
100	150	2,5	20	0,03	0,02	8	1,08E-003	344,41	500	415,56	335,13	45,18%	20,66%	-2,70%
100	150	2,5	25	0,03	0,02	10	1,41E-003	262,79	500	415,56	340,25	90,26%	58,13%	29,47%
100	150	2,5	30	0,03	0,02	12	1,93E-003	192,85	500	415,56	345,38	159,27%	115,48%	79,09%
100	150	5	10	0,05	0,03	2	5,64E-004	658,01	1000	854,75	659	51,97%	29,90%	0,15%
100	150	5	15	0,05	0,03	3	5,51E-004	673,96	1000	854,75	669,25	48,38%	26,83%	-0,70%
100	150	5	20	0,05	0,03	4	5,36E-004	692,96	1000	854,75	679,5	44,31%	23,35%	-1,94%
100	150	5	25	0,05	0,03	5	5,27E-004	705,07	1000	854,75	689,75	41,83%	21,23%	-2,17%
100	150	5	30	0,05	0,03	6	5,27E-004	704,64	1000	854,75	700	41,92%	21,30%	-0,66%
100	150	7,5	10	0,08	0,05	1,33	3,72E-004	997,19	1500	1317,56	1002,38	50,42%	32,13%	0,52%
100	150	7,5	15	0,08	0,05	2	3,67E-004	1012,59	1500	1317,56	1017,75	48,14%	30,12%	0,51%
100	150	7,5	20	0,08	0,05	2,67	3,59E-004	1034,21	1500	1317,56	1033,13	45,04%	27,40%	-0,10%
100	150	7,5	25	0,08	0,05	3,33	3,52E-004	1054,97	1500	1317,56	1048,5	42,18%	24,89%	-0,61%

H	B	T	R	T/H	T/B	R/T	Umax	A _{sh} (ANSYS)	A _{sh} (th)	A _{sh} (DeWit)	A _{sh} (nieuw)	% th	% De Wit	% Nieuw
100	150	7,5	30	0,08	0,05	4	3,47E-004	1070,68	1500	1317,56	1063,88	40,10%	23,06%	-0,64%
100	150	10	15	0,1	0,07	1,5	2,74E-004	1357	2000	1804	1375,5	47,38%	32,94%	1,36%
100	150	10	20	0,1	0,07	2	2,69E-004	1381,58	2000	1804	1396	44,76%	30,58%	1,04%
100	150	10	25	0,1	0,07	2,5	2,64E-004	1409,16	2000	1804	1416,5	41,93%	28,02%	0,52%
100	150	10	30	0,1	0,07	3	2,59E-004	1434,81	2000	1804	1437	39,39%	25,73%	0,15%
100	150	12,5	15	0,13	0,08	1,2	2,17E-004	1710,05	2500	2314,06	1742,5	46,19%	35,32%	1,90%
100	150	12,5	20	0,13	0,08	1,6	2,14E-004	1734,33	2500	2314,06	1768,13	44,15%	33,43%	1,95%
100	150	12,5	25	0,13	0,08	2	2,10E-004	1767,06	2500	2314,06	1793,75	41,48%	30,96%	1,51%
100	150	12,5	30	0,13	0,08	2,4	2,06E-004	1800,92	2500	2314,06	1819,38	38,82%	28,49%	1,02%
100	150	15	20	0,15	0,1	1,33	1,77E-004	2096,96	3000	2847,75	2149,5	43,06%	35,80%	2,51%
100	150	15	25	0,15	0,1	1,67	1,74E-004	2131,58	3000	2847,75	2180,25	40,74%	33,60%	2,28%
100	150	15	30	0,15	0,1	2	1,71E-004	2171,43	3000	2847,75	2211	38,16%	31,15%	1,82%
100	150	17,5	20	0,18	0,12	1,14	1,50E-004	2476,53	3500	3405,06	2540,13	41,33%	37,49%	2,57%
100	150	17,5	25	0,18	0,12	1,43	1,48E-004	2507,56	3500	3405,06	2576	39,58%	35,79%	2,73%
100	150	17,5	30	0,18	0,12	1,71	1,46E-004	2550,22	3500	3405,06	2611,88	37,24%	33,52%	2,42%
100	150	20	25	0,2	0,13	1,25	1,28E-004	2900,32	4000	3986	2981	37,92%	37,43%	2,78%
100	150	20	30	0,2	0,13	1,5	1,26E-004	2940,69	4000	3986	3022	36,02%	35,55%	2,76%
100	175	2,5	10	0,03	0,01	4	1,46E-003	254,06	500	392,44	282,38	96,80%	54,47%	11,14%
100	175	2,5	15	0,03	0,01	6	1,46E-003	253,75	500	392,44	287,5	97,04%	54,65%	13,30%
100	175	2,5	20	0,03	0,01	8	1,60E-003	231,94	500	392,44	292,63	115,57%	69,20%	26,16%
100	175	2,5	25	0,03	0,01	10	2,01E-003	184,6	500	392,44	297,75	170,85%	112,59%	61,29%
100	175	2,5	30	0,03	0,01	12	2,59E-003	143,3	500	392,44	302,88	248,92%	173,86%	111,36%
100	175	5	10	0,05	0,03	2	6,40E-004	580,51	1000	808,5	574	72,26%	39,27%	-1,12%
100	175	5	15	0,05	0,03	3	6,38E-004	582,33	1000	808,5	584,25	71,72%	38,84%	0,33%
100	175	5	20	0,05	0,03	4	6,29E-004	590,85	1000	808,5	594,5	69,25%	36,84%	0,62%
100	175	5	25	0,05	0,03	5	6,21E-004	598,02	1000	808,5	604,75	67,22%	35,20%	1,13%
100	175	5	30	0,05	0,03	6	6,20E-004	599,14	1000	808,5	615	66,91%	34,94%	2,65%
100	175	7,5	10	0,08	0,04	1,33	4,14E-004	897,82	1500	1248,19	874,88	67,07%	39,02%	-2,56%
100	175	7,5	15	0,08	0,04	2	4,12E-004	900,9	1500	1248,19	890,25	66,50%	38,55%	-1,18%
100	175	7,5	20	0,08	0,04	2,67	4,07E-004	913,26	1500	1248,19	905,63	64,25%	36,67%	-0,84%
100	175	7,5	25	0,08	0,04	3,33	4,00E-004	929,34	1500	1248,19	921	61,40%	34,31%	-0,90%
100	175	7,5	30	0,08	0,04	4	3,93E-004	945,37	1500	1248,19	936,38	58,67%	32,03%	-0,95%
100	175	10	15	0,1	0,06	1,5	3,05E-004	1218,25	2000	1711,5	1205,5	64,17%	40,49%	-1,05%
100	175	10	20	0,1	0,06	2	3,01E-004	1232,46	2000	1711,5	1226	62,28%	38,87%	-0,52%
100	175	10	25	0,1	0,06	2,5	2,96E-004	1253,2	2000	1711,5	1246,5	59,59%	36,57%	-0,53%
100	175	10	30	0,1	0,06	3	2,91E-004	1276,86	2000	1711,5	1267	56,63%	34,04%	-0,77%
100	175	12,5	15	0,13	0,07	1,2	2,41E-004	1540,32	2500	2198,44	1530	62,30%	42,73%	-0,67%
100	175	12,5	20	0,13	0,07	1,6	2,39E-004	1552,75	2500	2198,44	1555,63	61,01%	41,58%	0,19%
100	175	12,5	25	0,13	0,07	2	2,36E-004	1576,19	2500	2198,44	1581,25	58,61%	39,48%	0,32%
100	175	12,5	30	0,13	0,07	2,4	2,31E-004	1604,94	2500	2198,44	1606,88	55,77%	36,98%	0,12%
100	175	15	20	0,15	0,09	1,33	1,98E-004	1879,87	3000	2709	1894,5	59,59%	44,11%	0,78%
100	175	15	25	0,15	0,09	1,67	1,95E-004	1902,73	3000	2709	1925,25	57,67%	42,37%	1,18%
100	175	15	30	0,15	0,09	2	1,92E-004	1934,18	3000	2709	1956	55,10%	40,06%	1,13%
100	175	17,5	20	0,18	0,1	1,14	1,67E-004	2220,62	3500	3243,19	2242,63	57,61%	46,05%	0,99%
100	175	17,5	25	0,18	0,1	1,43	1,66E-004	2237,82	3500	3243,19	2278,5	56,40%	44,93%	1,82%
100	175	17,5	30	0,18	0,1	1,71	1,64E-004	2268,87	3500	3243,19	2314,38	54,26%	42,94%	2,01%
100	175	20	25	0,2	0,11	1,25	1,44E-004	2586,79	4000	3801	2641	54,63%	46,94%	2,10%
100	175	20	30	0,2	0,11	1,5	1,42E-004	2614,12	4000	3801	2682	53,01%	45,40%	2,60%
100	200	2,5	10	0,03	0,01	4	1,91E-003	194,92	500	369,31	239,88	156,52%	89,47%	23,06%
100	200	2,5	15	0,03	0,01	6	2,07E-003	179,13	500	369,31	245	179,13%	106,17%	36,78%
100	200	2,5	20	0,03	0,01	8	2,34E-003	158,81	500	369,31	250,13	214,84%	132,55%	57,50%
100	200	2,5	25	0,03	0,01	10	2,75E-003	134,96	500	369,31	255,25	270,49%	173,65%	89,13%
100	200	2,5	30	0,03	0,01	12	3,49E-003	106,55	500	369,31	260,38	369,27%	246,62%	144,37%
100	200	5	10	0,05	0,03	2	7,31E-004	507,85	1000	762,25	489	96,91%	50,10%	-3,71%
100	200	5	15	0,05	0,03	3	7,50E-004	495,29	1000	762,25	499,25	101,90%	53,90%	0,80%
100	200	5	20	0,05	0,03	4	7,56E-004	491,24	1000	762,25	509,5	103,56%	55,17%	3,72%
100	200	5	25	0,05	0,03	5	7,57E-004	490,4	1000	762,25	519,75	103,91%	55,43%	5,98%
100	200	5	30	0,05	0,03	6	7,59E-004	489,05	1000	762,25	530	104,48%	55,86%	8,37%
100	200	7,5	10	0,08	0,04	1,33	4,60E-004	807,86	1500	1178,81	747,38	85,68%	45,92%	-7,49%
100	200	7,5	15	0,08	0,04	2	4,66E-004	797,48	1500	1178,81	762,75	88,09%	47,82%	-4,35%
100	200	7,5	20	0,08	0,04	2,67	4,66E-004	797,7	1500	1178,81	778,13	88,04%	47,78%	-2,45%
100	200	7,5	25	0,08	0,04	3,33	4,62E-004	804,16	1500	1178,81	793,5	86,53%	46,59%	-1,33%
100	200	7,5	30	0,08	0,04	4	4,56E-004	814,25	1500	1178,81	808,88	84,22%	44,77%	-0,66%
100	200	10	15	0,1	0,05	1,5	3,40E-004	1093,84	2000	1619	1035,5	82,84%	48,01%	-5,33%
100	200	10	20	0,1	0,05	2	3,39E-004	1095,31	2000	1619	1056	82,60%	47,81%	-3,59%
100	200	10	25	0,1	0,05	2,5	3,36E-004	1105,03	2000	1619	1076,5	80,99%	46,51%	-2,58%
100	200	10	30	0,1	0,05	3	3,32E-004	1120,35	2000	1619	1097	78,52%	44,51%	-2,08%

Input				Ratio's			Output	A _{sh} waarden				Procentuele fout t.o.v. ANSYS		
H	B	T	R	T/H	T/B	R/T	U _{max}	A _{sh} (ANSYS)	A _{sh} (th)	A _{sh} (DeWit)	A _{sh} (nieuw)	% th	% De Wit	% Nieuw
100	200	12,5	15	0,13	0,06	1,2	2,67E-004	1391,99	2500	2082,81	1317,5	79,60%	49,63%	-5,35%
100	200	12,5	20	0,13	0,06	1,6	2,67E-004	1391,32	2500	2082,81	1343,13	79,69%	49,70%	-3,46%
100	200	12,5	25	0,13	0,06	2	2,65E-004	1401,71	2500	2082,81	1368,75	78,35%	48,59%	-2,35%
100	200	12,5	30	0,13	0,06	2,4	2,62E-004	1419,75	2500	2082,81	1394,38	76,09%	46,70%	-1,79%
100	200	15	20	0,15	0,08	1,33	2,20E-004	1691,42	3000	2570,25	1639,5	77,37%	51,96%	-3,07%
100	200	15	25	0,15	0,08	1,67	2,18E-004	1700,02	3000	2570,25	1670,25	76,47%	51,19%	-1,75%
100	200	15	30	0,15	0,08	2	2,16E-004	1718,28	3000	2570,25	1701	74,59%	49,58%	-1,01%
100	200	17,5	20	0,18	0,09	1,14	1,85E-004	2002,63	3500	3081,31	1945,13	74,77%	53,86%	-2,87%
100	200	17,5	25	0,18	0,09	1,43	1,85E-004	2005,11	3500	3081,31	1981	74,55%	53,67%	-1,20%
100	200	17,5	30	0,18	0,09	1,71	1,84E-004	2020,84	3500	3081,31	2016,88	73,20%	52,48%	-0,20%
100	200	20	25	0,2	0,1	1,25	1,60E-004	2322,22	4000	3616	2301	72,25%	55,71%	-0,91%
100	200	20	30	0,2	0,1	1,5	1,59E-004	2332,49	4000	3616	2342	71,49%	55,03%	0,41%

Bijlage F: Visueel overzicht verloop schuifspanning

Een overzicht van enkele doorsneden:



Bijlage G: vergelijking schuifspanningsformules

De waarden van de maximale schuifspanning als berekend met de oorspronkelijke benaderingsformule, de formule voorgesteld in [1] en de in dit project voorgestelde formule worden hier vergeleken met de door ANSYS bepaalde waarde:

Input				Ratio's			Output		% over	T _{max}				Procentuele fout t.o.v. ANSYS		
H	B	T	R	T/H	T/B	R/T	TauMax	TauHoek	Hoek/ mid	T _{max} (ANSYS)	T _{max} (V/2.th)	T _{max} (De Wit)	T _{max} (nieuw)	% V/2.th	% De Wit	% nieuw
100	50	2,5	10	0,03	0,05	4	0,758			0,76	0,6	0,75	0,77	-20,84%	-1,64%	1,80%
100	50	2,5	15	0,03	0,05	6	0,789			0,79	0,6	0,75	0,78	-23,95%	-5,51%	-1,11%
100	50	2,5	20	0,03	0,05	8	0,834			0,83	0,6	0,75	0,79	-28,06%	-10,62%	-5,36%
100	50	5	10	0,05	0,1	2	0,390			0,39	0,3	0,38	0,39	-23,10%	-2,63%	1,21%
100	50	5	15	0,05	0,1	3	0,397			0,4	0,3	0,38	0,4	-24,42%	-4,30%	0,50%
100	50	5	20	0,05	0,1	4	0,406			0,41	0,3	0,38	0,4	-26,14%	-6,49%	-0,66%
100	50	7,5	10	0,08	0,15	1,33	0,267			0,27	0,2	0,26	0,27	-25,20%	-3,46%	0,79%
100	50	7,5	15	0,08	0,15	2	0,272			0,27	0,2	0,26	0,27	-26,58%	-5,24%	-0,12%
100	50	7,5	20	0,08	0,15	2,67	0,278			0,28	0,2	0,26	0,28	-28,16%	-7,28%	-1,17%
100	50	10	15	0,1	0,2	1,5	0,210			0,21	0,15	0,2	0,21	-28,59%	-6,01%	-0,56%
100	50	10	20	0,1	0,2	2	0,215			0,21	0,15	0,2	0,21	-30,23%	-8,17%	-1,77%
100	50	12,5	15	0,13	0,25	1,2	0,173			0,17	0,12	0,16	0,17	-30,50%	-6,69%	-0,91%
100	50	12,5	20	0,13	0,25	1,6	0,177			0,18	0,12	0,16	0,17	-32,13%	-8,87%	-2,17%
100	50	15	20	0,15	0,3	1,33	0,151			0,15	0,1	0,14	0,15	-33,73%	-9,20%	-2,17%
100	50	17,5	20	0,18	0,35	1,14	0,133	0,136	2,87%	0,13	0,09	0,12	0,13	-35,31%	-9,50%	-2,13%
100	75	2,5	10	0,03	0,03	4	0,728			0,73	0,6	0,72	0,73	-17,64%	-0,70%	0,71%
100	75	2,5	15	0,03	0,03	6	0,772			0,77	0,6	0,72	0,74	-22,28%	-6,30%	-3,90%
100	75	2,5	20	0,03	0,03	8	0,835			0,84	0,6	0,72	0,75	-28,15%	-13,37%	-10,11%
100	75	2,5	25	0,03	0,03	10	0,882			0,88	0,6	0,72	0,76	-31,94%	-17,95%	-13,83%
100	75	2,5	30	0,03	0,03	12	0,901			0,9	0,6	0,72	0,77	-33,37%	-19,67%	-14,60%
100	75	5	10	0,05	0,07	2	0,372			0,37	0,3	0,37	0,38	-19,34%	-0,91%	0,91%
100	75	5	15	0,05	0,07	3	0,377			0,38	0,3	0,37	0,38	-20,35%	-2,14%	0,70%
100	75	5	20	0,05	0,07	4	0,383			0,38	0,3	0,37	0,38	-21,59%	-3,67%	0,27%
100	75	5	25	0,05	0,07	5	0,391			0,39	0,3	0,37	0,39	-23,29%	-5,75%	-0,70%
100	75	5	30	0,05	0,07	6	0,402			0,4	0,3	0,37	0,39	-25,31%	-8,24%	-2,12%
100	75	7,5	10	0,08	0,1	1,33	0,255			0,25	0,2	0,25	0,26	-21,54%	-1,75%	0,48%
100	75	7,5	15	0,08	0,1	2	0,258			0,26	0,2	0,25	0,26	-22,37%	-2,78%	0,40%
100	75	7,5	20	0,08	0,1	2,67	0,261			0,26	0,2	0,25	0,26	-23,51%	-4,20%	0,05%
100	75	7,5	25	0,08	0,1	3,33	0,267			0,27	0,2	0,25	0,26	-24,98%	-6,05%	-0,69%
100	75	7,5	30	0,08	0,1	4	0,273			0,27	0,2	0,25	0,27	-26,64%	-8,13%	-1,67%
100	75	10	15	0,1	0,13	1,5	0,198			0,2	0,15	0,19	0,2	-24,42%	-3,48%	0,04%
100	75	10	20	0,1	0,13	2	0,201			0,2	0,15	0,19	0,2	-25,49%	-4,84%	-0,27%
100	75	10	25	0,1	0,13	2,5	0,205			0,2	0,15	0,19	0,2	-26,80%	-6,52%	-0,84%
100	75	10	30	0,1	0,13	3	0,209			0,21	0,15	0,19	0,21	-28,35%	-8,50%	-1,72%
100	75	12,5	15	0,13	0,17	1,2	0,163	0,186	14,22%	0,16	0,12	0,16	0,16	-26,40%	-4,12%	-0,26%
100	75	12,5	20	0,13	0,17	1,6	0,165			0,17	0,12	0,16	0,16	-27,42%	-5,45%	-0,56%
100	75	12,5	25	0,13	0,17	2	0,169			0,17	0,12	0,16	0,17	-28,79%	-7,23%	-1,26%
100	75	12,5	30	0,13	0,17	2,4	0,172			0,17	0,12	0,16	0,17	-30,27%	-9,16%	-2,08%
100	75	15	20	0,15	0,2	1,33	0,142	0,150	5,67%	0,14	0,1	0,13	0,14	-29,43%	-6,18%	-0,97%
100	75	15	25	0,15	0,2	1,67	0,144	0,144	0,48%	0,14	0,1	0,13	0,14	-30,46%	-7,54%	-1,23%
100	75	15	30	0,15	0,2	2	0,147	0,148	1,08%	0,15	0,1	0,13	0,14	-31,83%	-9,36%	-1,93%
100	75	17,5	20	0,18	0,23	1,14	0,124	0,153	23,49%	0,12	0,09	0,12	0,12	-30,99%	-6,32%	-0,76%
100	75	17,5	25	0,18	0,23	1,43	0,127	0,134	6,12%	0,13	0,09	0,12	0,12	-32,32%	-8,12%	-1,48%
100	75	17,5	30	0,18	0,23	1,71	0,129	0,134	3,92%	0,13	0,09	0,12	0,13	-33,37%	-9,55%	-1,75%
100	75	20	25	0,2	0,27	1,25	0,113	0,128	13,59%	0,11	0,08	0,1	0,11	-33,56%	-7,88%	-0,84%
100	75	20	30	0,2	0,27	1,5	0,115	0,124	7,01%	0,12	0,08	0,1	0,11	-35,01%	-9,89%	-1,73%
100	100	2,5	10	0,03	0,03	4	0,715			0,71	0,6	0,71	0,72	-16,07%	-0,29%	0,17%
100	100	2,5	15	0,03	0,03	6	0,767			0,77	0,6	0,71	0,72	-21,75%	-7,03%	-5,57%
100	100	2,5	20	0,03	0,03	8	0,837			0,84	0,6	0,71	0,73	-28,36%	-14,89%	-12,53%
100	100	2,5	25	0,03	0,03	10	0,889			0,89	0,6	0,71	0,74	-32,48%	-19,78%	-16,56%
100	100	2,5	30	0,03	0,03	12	0,935			0,93	0,6	0,71	0,75	-35,81%	-23,74%	-19,70%
100	100	5	10	0,05	0,05	2	0,362			0,36	0,3	0,36	0,37	-17,16%	0,28%	1,15%
100	100	5	15	0,05	0,05	3	0,366			0,37	0,3	0,36	0,37	-18,12%	-0,88%	1,03%
100	100	5	20	0,05	0,05	4	0,372			0,37	0,3	0,36	0,37	-19,40%	-2,43%	0,60%
100	100	5	25	0,05	0,05	5	0,381			0,38	0,3	0,36	0,38	-21,17%	-4,56%	-0,41%
100	100	5	30	0,05	0,05	6	0,390			0,39	0,3	0,36	0,38	-23,05%	-6,85%	-1,59%
100	100	7,5	10	0,08	0,08	1,33	0,248	0,261	5,16%	0,25	0,2	0,25	0,25	-19,31%	-0,43%	0,85%
100	100	7,5	15	0,08	0,08	2	0,250			0,25	0,2	0,25	0,25	-19,98%	-1,26%	1,00%
100	100	7,5	20	0,08	0,08	2,67	0,253			0,25	0,2	0,25	0,26	-21,03%	-2,54%	0,81%
100	100	7,5	25	0,08	0,08	3,33	0,257			0,26	0,2	0,25	0,26	-22,23%	-4,03%	0,47%
100	100	7,5	30	0,08	0,08	4	0,262			0,26	0,2	0,25	0,26	-23,60%	-5,73%	-0,06%

Input				Ratio's			Output		% over	T _{max}				Procentuele fout t.o.v. ANSYS		
H	B	T	R	T/H	T/B	R/T	TauMax	TauHoek	Hoek/ mid	T _{max} (ANSYS)	T _{max} (V/2.th)	T _{max} (De Wit)	T _{max} (nieuw)	% V/2.th	% De Wit	% nieuw
100	100	10	15	0,1	0,1	1,5	0,193	0,205	6,49%	0,19	0,15	0,19	0,19	-22,14%	-2,02%	0,57%
100	100	10	20	0,1	0,1	2	0,195			0,19	0,15	0,19	0,2	-22,98%	-3,08%	0,60%
100	100	10	25	0,1	0,1	2,5	0,197			0,2	0,15	0,19	0,2	-23,93%	-4,28%	0,56%
100	100	10	30	0,1	0,1	3	0,201			0,2	0,15	0,19	0,2	-25,22%	-5,90%	0,11%
100	100	12,5	15	0,13	0,13	1,2	0,158	0,195	23,58%	0,16	0,12	0,15	0,16	-24,13%	-2,60%	0,34%
100	100	12,5	20	0,13	0,13	1,6	0,160	0,167	4,83%	0,16	0,12	0,15	0,16	-24,88%	-3,57%	0,44%
100	100	12,5	25	0,13	0,13	2	0,162	0,164	1,69%	0,16	0,12	0,15	0,16	-25,81%	-4,75%	0,41%
100	100	12,5	30	0,13	0,13	2,4	0,164	0,168	2,14%	0,16	0,12	0,15	0,16	-26,86%	-6,11%	0,24%
100	100	15	20	0,15	0,15	1,33	0,137	0,156	13,98%	0,14	0,1	0,13	0,14	-26,96%	-4,31%	0,03%
100	100	15	25	0,15	0,15	1,67	0,138	0,147	6,26%	0,14	0,1	0,13	0,14	-27,66%	-5,22%	0,28%
100	100	15	30	0,15	0,15	2	0,140	0,147	5,18%	0,14	0,1	0,13	0,14	-28,57%	-6,42%	0,29%
100	100	17,5	20	0,18	0,18	1,14	0,120	0,157	30,75%	0,12	0,09	0,11	0,12	-28,64%	-4,55%	0,14%
100	100	17,5	25	0,18	0,18	1,43	0,122	0,138	13,65%	0,12	0,09	0,11	0,12	-29,56%	-5,78%	0,06%
100	100	17,5	30	0,18	0,18	1,71	0,123	0,133	8,32%	0,12	0,09	0,11	0,12	-30,39%	-6,89%	0,17%
100	100	20	25	0,2	0,2	1,25	0,109	0,133	22,69%	0,11	0,08	0,1	0,11	-30,93%	-5,64%	0,59%
100	100	20	30	0,2	0,2	1,5	0,110	0,125	13,33%	0,11	0,08	0,1	0,11	-31,84%	-6,87%	0,60%
100	125	2,5	10	0,03	0,02	4	0,712			0,71	0,6	0,71	0,71	-15,72%	-0,74%	-0,84%
100	125	2,5	15	0,03	0,02	6	0,758			0,76	0,6	0,71	0,71	-20,88%	-6,82%	-5,87%
100	125	2,5	20	0,03	0,02	8	0,829			0,83	0,6	0,71	0,72	-27,58%	-14,71%	-12,83%
100	125	2,5	25	0,03	0,02	10	0,908			0,91	0,6	0,71	0,73	-33,93%	-22,19%	-19,51%
100	125	2,5	30	0,03	0,02	12	0,999			1	0,6	0,71	0,74	-39,94%	-29,27%	-25,93%
100	125	5	10	0,05	0,04	2	0,358			0,36	0,3	0,36	0,36	-16,10%	0,69%	0,99%
100	125	5	15	0,05	0,04	3	0,362			0,36	0,3	0,36	0,36	-17,15%	-0,57%	0,78%
100	125	5	20	0,05	0,04	4	0,369			0,37	0,3	0,36	0,37	-18,70%	-2,43%	0,04%
100	125	5	25	0,05	0,04	5	0,378			0,38	0,3	0,36	0,37	-20,61%	-4,72%	-1,12%
100	125	5	30	0,05	0,04	6	0,388			0,39	0,3	0,36	0,38	-22,69%	-7,23%	-2,53%
100	125	7,5	10	0,08	0,06	1,33	0,244	0,283	15,91%	0,24	0,2	0,24	0,25	-18,12%	0,16%	0,87%
100	125	7,5	15	0,08	0,06	2	0,246			0,25	0,2	0,24	0,25	-18,75%	-0,61%	1,09%
100	125	7,5	20	0,08	0,06	2,67	0,249			0,25	0,2	0,24	0,25	-19,67%	-1,73%	1,09%
100	125	7,5	25	0,08	0,06	3,33	0,253			0,25	0,2	0,24	0,25	-20,82%	-3,14%	0,84%
100	125	7,5	30	0,08	0,06	4	0,257			0,26	0,2	0,24	0,26	-22,03%	-4,62%	0,55%
100	125	10	15	0,1	0,08	1,5	0,189	0,212	11,89%	0,19	0,15	0,19	0,19	-20,75%	-1,14%	0,90%
100	125	10	20	0,1	0,08	2	0,191	0,194	1,52%	0,19	0,15	0,19	0,19	-21,53%	-2,11%	1,04%
100	125	10	25	0,1	0,08	2,5	0,193			0,19	0,15	0,19	0,2	-22,41%	-3,21%	1,11%
100	125	10	30	0,1	0,08	3	0,196	0,198	1,16%	0,2	0,15	0,19	0,2	-23,43%	-4,48%	1,05%
100	125	12,5	15	0,13	0,1	1,2	0,156	0,204	31,43%	0,16	0,12	0,15	0,16	-22,87%	-1,84%	0,55%
100	125	12,5	20	0,13	0,1	1,6	0,157	0,173	10,34%	0,16	0,12	0,15	0,16	-23,47%	-2,61%	0,87%
100	125	12,5	25	0,13	0,1	2	0,158	0,164	3,80%	0,16	0,12	0,15	0,16	-24,20%	-3,54%	1,12%
100	125	12,5	30	0,13	0,1	2,4	0,160	0,167	4,59%	0,16	0,12	0,15	0,16	-25,03%	-4,59%	1,30%
100	125	15	20	0,15	0,12	1,33	0,134	0,158	17,67%	0,13	0,1	0,13	0,13	-25,59%	-3,36%	0,45%
100	125	15	25	0,15	0,12	1,67	0,136	0,149	9,63%	0,14	0,1	0,13	0,14	-26,24%	-4,20%	0,79%
100	125	15	30	0,15	0,12	2	0,137	0,148	8,00%	0,14	0,1	0,13	0,14	-26,95%	-5,13%	1,10%
100	125	17,5	20	0,18	0,14	1,14	0,118	0,164	38,83%	0,12	0,09	0,11	0,12	-27,35%	-3,66%	0,50%
100	125	17,5	25	0,18	0,14	1,43	0,119	0,140	17,89%	0,12	0,09	0,11	0,12	-27,88%	-4,37%	0,99%
100	125	17,5	30	0,18	0,14	1,71	0,120	0,133	10,57%	0,12	0,09	0,11	0,12	-28,61%	-5,34%	1,26%
100	125	20	25	0,2	0,16	1,25	0,106	0,133	25,20%	0,11	0,08	0,1	0,11	-29,48%	-4,49%	1,25%
100	125	20	30	0,2	0,16	1,5	0,107	0,125	17,10%	0,11	0,08	0,1	0,11	-29,79%	-4,91%	2,13%
100	150	2,5	10	0,03	0,02	4	0,730			0,73	0,6	0,7	0,7	-17,75%	-3,70%	-4,15%
100	150	2,5	15	0,03	0,02	6	0,773			0,77	0,6	0,7	0,71	-22,43%	-9,17%	-8,58%
100	150	2,5	20	0,03	0,02	8	0,852			0,85	0,6	0,7	0,72	-29,59%	-17,56%	-16,05%
100	150	2,5	25	0,03	0,02	10	0,962			0,96	0,6	0,7	0,72	-37,64%	-26,98%	-24,74%
100	150	2,5	30	0,03	0,02	12	1,063			1,06	0,6	0,7	0,73	-43,58%	-33,93%	-31,07%
100	150	5	10	0,05	0,03	2	0,359			0,36	0,3	0,36	0,36	-16,36%	-0,20%	-0,27%
100	150	5	15	0,05	0,03	3	0,363			0,36	0,3	0,36	0,36	-17,38%	-1,42%	-0,44%
100	150	5	20	0,05	0,03	4	0,371			0,37	0,3	0,36	0,37	-19,03%	-3,39%	-1,31%
100	150	5	25	0,05	0,03	5	0,380			0,38	0,3	0,36	0,37	-21,13%	-5,90%	-2,70%
100	150	5	30	0,05	0,03	6	0,391			0,39	0,3	0,36	0,37	-23,34%	-8,53%	-4,25%
100	150	7,5	10	0,08	0,05	1,33	0,244	0,298	22,22%	0,24	0,2	0,24	0,24	-17,91%	-0,16%	0,18%
100	150	7,5	15	0,08	0,05	2	0,245	0,250	1,75%	0,25	0,2	0,24	0,25	-18,45%	-0,82%	0,51%
100	150	7,5	20	0,08	0,05	2,67	0,248			0,25	0,2	0,24	0,25	-19,27%	-1,81%	0,63%
100	150	7,5	25	0,08	0,05	3,33	0,251			0,25	0,2	0,24	0,25	-20,33%	-3,11%	0,51%
100	150	7,5	30	0,08	0,05	4	0,255			0,25	0,2	0,24	0,26	-21,52%	-4,55%	0,26%
100	150	10	15	0,1	0,07	1,5	0,188	0,214	13,68%	0,19	0,15	0,19	0,19	-20,34%	-1,19%	0,48%
100	150	10	20	0,1	0,07	2	0,190	0,197	3,70%	0,19	0,15	0,19	0,19	-20,92%	-1,92%	0,87%
100	150	10	25	0,1	0,07	2,5	0,191	0,194	1,10%	0,19	0,15	0,19	0,19	-21,66%	-2,84%	1,13%
100	150	10	30	0,1	0,07	3	0,194	0,196	1,39%	0,19	0,15	0,19	0,2	-22,59%	-4,00%	1,19%
100	150	12,5	15	0,13	0,08	1,2	0,155	0,209	35,16%	0,15	0,12	0,15	0,15	-22,46%	-1,89%	0,13%
100	150	12,5	20	0,13	0,08	1,6	0,156	0,178	14,55%	0,16	0,12	0,15	0,16	-22,98%	-2,55%	0,56%
100	150	12,5	25	0,13	0,08	2	0,157	0,166	5,86%	0,16	0,12	0,15	0,16	-23,60%	-3,34%	0,96%
100	150	12,5	30	0,13	0,08	2,4	0,158	0,165	4,14%	0,16	0,12	0,15	0,16	-24,15%	-4,02%	1,53%
100	150	15	20	0,15	0,1	1,33	0,133	0,162	21,64%	0,13	0,1	0,13	0,13	-24,83%	-2,94%	0,51%
100	150	15	25	0,15	0,1	1,67	0,134	0,151	12,53%	0,13	0,1	0,13	0,14	-25,50%	-3,80%	0,84%

Input				Ratio's			Output		% over	T _{max}				Procentuele fout t.o.v. ANSYS		
H	B	T	R	T/H	T/B	R/T	TauMax	TauHoek	Hoek/ mid	T _{max} (ANSYS)	T _{max} (V/2.th)	T _{max} (De Wit)	T _{max} (nieuw)	% V/2.th	% De Wit	% nieuw
100	150	15	30	0,15	0,1	2	0,135	0,147	9,08%	0,13	0,1	0,13	0,14	-25,89%	-4,30%	1,61%
100	150	17,5	20	0,18	0,12	1,43	0,117	0,168	43,59%	0,12	0,09	0,11	0,12	-26,67%	-3,32%	0,48%
100	150	17,5	25	0,18	0,12	1,43	0,118	0,140	19,00%	0,12	0,09	0,11	0,12	-27,13%	-3,93%	1,07%
100	150	17,5	30	0,18	0,12	1,71	0,119	0,134	12,83%	0,12	0,09	0,11	0,12	-27,73%	-4,72%	1,55%
100	150	20	25	0,2	0,13	1,25	0,105	0,136	29,59%	0,11	0,08	0,1	0,11	-28,68%	-3,97%	1,42%
100	150	20	30	0,2	0,13	1,5	0,106	0,128	20,85%	0,11	0,08	0,1	0,11	-29,18%	-4,64%	2,05%
100	175	2,5	10	0,03	0,01	4	0,764			0,76	0,6	0,7	0,69	-21,45%	-8,41%	-9,07%
100	175	2,5	15	0,03	0,01	6	0,814			0,81	0,6	0,7	0,7	-26,31%	-14,07%	-13,74%
100	175	2,5	20	0,03	0,01	8	0,902			0,9	0,6	0,7	0,71	-33,46%	-22,41%	-21,18%
100	175	2,5	25	0,03	0,01	10	1,017			1,02	0,6	0,7	0,72	-40,97%	-31,17%	-29,24%
100	175	2,5	30	0,03	0,01	12	1,125			1,12	0,6	0,7	0,73	-46,66%	-37,80%	-35,26%
100	175	5	10	0,05	0,03	2	0,365			0,37	0,3	0,36	0,36	-17,83%	-2,36%	-2,68%
100	175	5	15	0,05	0,03	3	0,370			0,37	0,3	0,36	0,36	-18,87%	-3,59%	-2,89%
100	175	5	20	0,05	0,03	4	0,377			0,38	0,3	0,36	0,36	-20,49%	-5,52%	-3,72%
100	175	5	25	0,05	0,03	5	0,388			0,39	0,3	0,36	0,37	-22,62%	-8,05%	-5,17%
100	175	5	30	0,05	0,03	6	0,399			0,4	0,3	0,36	0,37	-24,78%	-10,62%	-6,68%
100	175	7,5	10	0,08	0,04	1,33	0,246	0,303	23,28%	0,25	0,2	0,24	0,24	-18,74%	-1,57%	-1,49%
100	175	7,5	15	0,08	0,04	2	0,247	0,259	4,67%	0,25	0,2	0,24	0,24	-19,15%	-2,07%	-1,02%
100	175	7,5	20	0,08	0,04	2,67	0,250			0,25	0,2	0,24	0,25	-19,96%	-3,05%	-0,89%
100	175	7,5	25	0,08	0,04	3,33	0,253			0,25	0,2	0,24	0,25	-20,83%	-4,11%	-0,78%
100	175	7,5	30	0,08	0,04	4	0,256			0,26	0,2	0,24	0,25	-21,96%	-5,47%	-0,96%
100	175	10	15	0,1	0,06	1,5	0,189	0,216	14,22%	0,19	0,15	0,19	0,19	-20,64%	-1,98%	-0,57%
100	175	10	20	0,1	0,06	2	0,190	0,201	5,75%	0,19	0,15	0,19	0,19	-21,16%	-2,61%	-0,11%
100	175	10	25	0,1	0,06	2,5	0,192	0,196	2,01%	0,19	0,15	0,19	0,19	-21,79%	-3,40%	0,29%
100	175	10	30	0,1	0,06	3	0,194	0,196	1,13%	0,19	0,15	0,19	0,19	-22,50%	-4,27%	0,64%
100	175	12,5	15	0,13	0,07	1,2	0,155	0,218	40,88%	0,15	0,12	0,15	0,15	-22,53%	-2,38%	-0,63%
100	175	12,5	20	0,13	0,07	1,6	0,156	0,184	18,13%	0,16	0,12	0,15	0,16	-22,99%	-2,96%	-0,12%
100	175	12,5	25	0,13	0,07	2	0,157	0,169	7,72%	0,16	0,12	0,15	0,16	-23,43%	-3,51%	0,52%
100	175	12,5	30	0,13	0,07	2,4	0,158	0,167	6,06%	0,16	0,12	0,15	0,16	-23,98%	-4,21%	1,06%
100	175	15	20	0,15	0,09	1,33	0,133	0,166	25,06%	0,13	0,1	0,13	0,13	-24,65%	-3,10%	0,08%
100	175	15	25	0,15	0,09	1,67	0,134	0,155	15,79%	0,13	0,1	0,13	0,13	-25,14%	-3,74%	0,64%
100	175	15	30	0,15	0,09	2	0,134	0,149	10,85%	0,13	0,1	0,13	0,14	-25,61%	-4,34%	1,31%
100	175	17,5	20	0,18	0,1	1,14	0,117	0,173	48,15%	0,12	0,09	0,11	0,12	-26,47%	-3,46%	0,07%
100	175	17,5	25	0,18	0,1	1,43	0,117	0,142	21,69%	0,12	0,09	0,11	0,12	-26,76%	-3,84%	0,91%
100	175	17,5	30	0,18	0,1	1,71	0,118	0,136	15,47%	0,12	0,09	0,11	0,12	-27,32%	-4,58%	1,44%
100	175	20	25	0,2	0,11	1,25	0,105	0,139	32,61%	0,1	0,08	0,1	0,11	-28,44%	-4,03%	1,09%
100	175	20	30	0,2	0,11	1,5	0,105	0,131	24,49%	0,11	0,08	0,1	0,11	-28,63%	-4,28%	2,16%
100	200	2,5	10	0,03	0,01	4	0,812			0,81	0,6	0,7	0,69	-26,11%	-14,09%	-14,88%
100	200	2,5	15	0,03	0,01	6	0,864			0,86	0,6	0,7	0,7	-30,59%	-19,31%	-19,15%
100	200	2,5	20	0,03	0,01	8	0,956			0,96	0,6	0,7	0,71	-37,25%	-27,05%	-26,04%
100	200	2,5	25	0,03	0,01	10	1,067			1,07	0,6	0,7	0,72	-43,77%	-34,62%	-32,92%
100	200	2,5	30	0,03	0,01	12	1,184			1,18	0,6	0,7	0,72	-49,32%	-41,08%	-38,80%
100	200	5	10	0,05	0,03	2	0,377	0,390	3,48%	0,38	0,3	0,36	0,35	-20,33%	-5,62%	-6,10%
100	200	5	15	0,05	0,03	3	0,381			0,38	0,3	0,36	0,36	-21,31%	-6,78%	-6,28%
100	200	5	20	0,05	0,03	4	0,389			0,39	0,3	0,36	0,36	-22,82%	-8,57%	-7,01%
100	200	5	25	0,05	0,03	5	0,398			0,4	0,3	0,36	0,37	-24,65%	-10,73%	-8,11%
100	200	5	30	0,05	0,03	6	0,410			0,41	0,3	0,36	0,37	-26,75%	-13,23%	-9,57%
100	200	7,5	10	0,08	0,04	1,33	0,250	0,322	28,60%	0,25	0,2	0,24	0,24	-20,14%	-3,57%	-3,68%
100	200	7,5	15	0,08	0,04	2	0,252	0,274	8,96%	0,25	0,2	0,24	0,24	-20,61%	-4,13%	-3,29%
100	200	7,5	20	0,08	0,04	2,67	0,254	0,256	0,58%	0,25	0,2	0,24	0,25	-21,27%	-4,93%	-3,00%
100	200	7,5	25	0,08	0,04	3,33	0,257			0,26	0,2	0,24	0,25	-22,12%	-5,95%	-2,87%
100	200	7,5	30	0,08	0,04	4	0,260			0,26	0,2	0,24	0,25	-23,04%	-7,07%	-2,82%
100	200	10	15	0,1	0,05	1,5	0,191	0,222	16,36%	0,19	0,15	0,18	0,19	-21,53%	-3,37%	-2,18%
100	200	10	20	0,1	0,05	2	0,192	0,207	7,79%	0,19	0,15	0,18	0,19	-22,02%	-3,97%	-1,69%
100	200	10	25	0,1	0,05	2,5	0,194	0,202	4,36%	0,19	0,15	0,18	0,19	-22,58%	-4,66%	-1,21%
100	200	10	30	0,1	0,05	3	0,195	0,197	0,97%	0,2	0,15	0,18	0,19	-23,11%	-5,31%	-0,64%
100	200	12,5	15	0,13	0,06	1,2	0,155	0,223	43,77%	0,16	0,12	0,15	0,15	-22,77%	-2,98%	-1,43%
100	200	12,5	20	0,13	0,06	1,6	0,156	0,180	15,40%	0,16	0,12	0,15	0,15	-23,24%	-3,57%	-0,94%
100	200	12,5	25	0,13	0,06	2	0,157	0,172	9,36%	0,16	0,12	0,15	0,16	-23,77%	-4,24%	-0,43%
100	200	12,5	30	0,13	0,06	2,4	0,158	0,167	5,60%	0,16	0,12	0,15	0,16	-24,27%	-4,87%	0,18%
100	200	15	20	0,15	0,08	1,33	0,133	0,170	27,71%	0,13	0,1	0,13	0,13	-24,69%	-3,46%	-0,48%
100	200	15	25	0,15	0,08	1,67	0,134	0,155	15,51%	0,13	0,1	0,13	0,13	-25,33%	-4,28%	-0,11%
100	200	15	30	0,15	0,08	2	0,135	0,151	12,27%	0,13	0,1	0,13	0,14	-25,81%	-4,89%	0,53%
100	200	17,5	20	0,18	0,09	1,14	0,116	0,185	59,24%	0,12	0,09	0,11	0,12	-26,23%	-3,44%	-0,10%
100	200	17,5	25	0,18	0,09	1,43	0,117	0,145	23,51%	0,12	0,09	0,11	0,12	-26,78%	-4,16%	0,37%
100	200	17,5	30	0,18	0,09	1,71	0,118	0,139	18,18%	0,12	0,09	0,11	0,12	-27,11%	-4,59%	1,24%
100	200	20	25	0,2	0,1	1,25	0,104	0,142	36,48%	0,1	0,08	0,1	0,11	-27,94%	-3,66%	1,29%
100	200	20	30	0,2	0,1	1,5	0,104	0,134	28,09%	0,1	0,08	0,1	0,11	-28,15%	-3,94%	2,33%