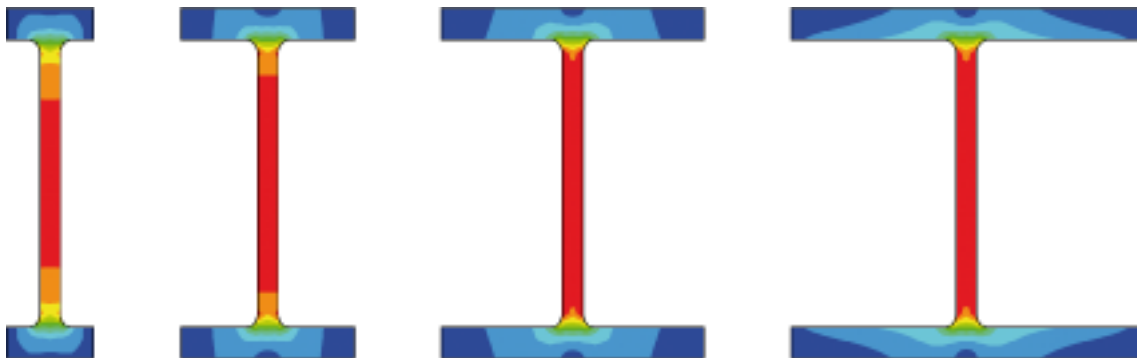


Schuifspanning en afschuifstijfheid in I-profielen

Eindrapport Bachelor Eindwerkstuk

december 2007

B.M. van de Weerd, ct1213423



Voorwoord

Dit stuk beschrijft een onderzoek naar schuifspanning en afschuifweerstand in stalen I-profielen en vormt mijn eindthesis voor het bachelor programma Civiele Techniek van de Technische Universiteit Delft. Juist omdat ik uiteindelijk vooral de kant van het ontwerpen op wil, leek het me interessant om nu een technisch onderzoek te doen. Ik wou graag eens de theorie in duiken en enig inzicht verkrijgen in hoe een dergelijk onderzoek eraan toe gaat.

Ik heb het onderzoek naar eigen tevredenheid doorlopen en ben zowel blij met de resultaten als met de ervaring. Graag bedank ik dr. Ir. P.C.J. Hoogenboom en dr. A. Romeijn voor de begeleiding.

Delft, december 2007.

B.M. van de Weerd

Samenvatting

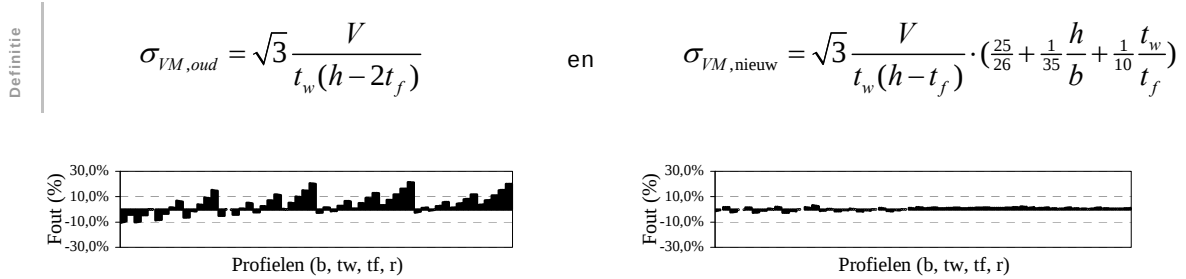
Dit rapport beschrijft een onderzoek naar de verschillende resultaten tussen de analytische berekening dan wel de berekening door middel van de Eindige Elementen-methode van schuifspanning en afschuifstijfheid in stalen I-profielen.

De gangbare formules om deze grootheden te bepalen zijn ooit analytisch afgeleid, en in feite vereenvoudigingen van de werkelijkheid. Deze formules zijn handzaam en worden al jarenlang naar voldoening gebruikt. In dit onderzoek zijn ze echter eens onder een numeriek licht gehouden, om te zien hoe nauwkeurig ze nu werkelijk zijn. Bovendien zijn er nieuwe formules ontwikkeld, iets complexer maar een stuk nauwkeuriger.

Het eerste hoofdstuk van dit rapport beschrijft de analytische afleiding van de oude formules. Vervolgens worden in hoofdstuk twee de uitgangspunten van het Eindige Elementen onderzoek opgesteld. Het derde hoofdstuk beschrijft de modelering en het vierde de gebruikte en geschreven software. In de hoofdstukken vijf en zes worden de onderzoeksresultaten getoond, als ook de nieuwe formules. De gevonden resultaten en formules worden uiteindelijk in hoofdstuk zeven geïnterpreteerd, waarna er conclusies uit worden getrokken en een aantal aanbevelingen voor verder onderzoek worden gedaan. Alle meetresultaten zijn ten slotte in de bijlagen terug te vinden.

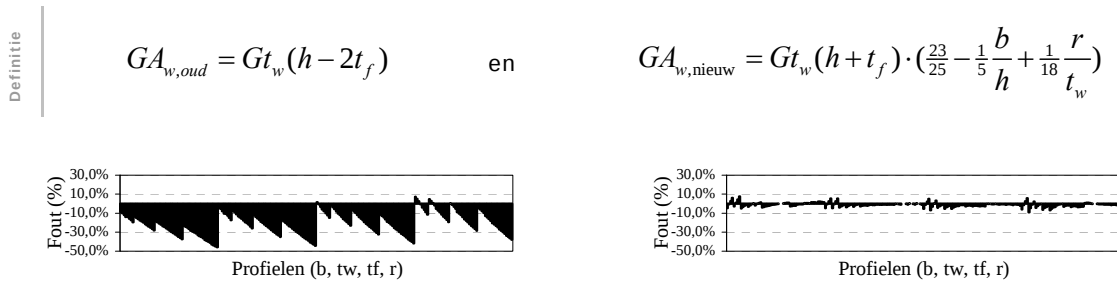
De oude en nieuwe formules, als ook de mate waarin deze overeenkomen met de meetresultaten, zijn hieronder weergegeven.

Schuifspanning (Variatiecoëfficiënt 0,003)



Figuur 1.1. De procentuele fouten in de oude en nieuwe formules, relatief aan de meetwaarden.

Afschuifstijfheid (Variatiecoëfficiënt 0,016)



Figuur 1.2. De procentuele fouten in de oude en nieuwe formules, relatief aan de meetwaarden.

Inhoudsopgave

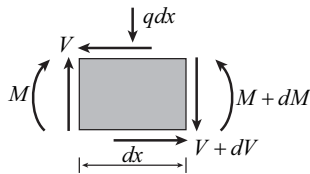
Voorwoord	1
Samenvatting	2
Inhoudsopgave	3
1 Inleiding	4
1.1 Analytische afleiding van de schuifspanning	4
1.2 Analytische afleiding van de afschuifstijfheid	5
2 Uitgangspunten	6
2.1 Probleemstelling	6
2.2 Onderzoeksvraag	6
2.3 Onderzoeksgrenzen	6
2.4 Uitvoering	6
2.5 Technische aannamen	6
3 Modelling	7
3.1 Het hoogste niveau: Constructiemechanica	7
3.2 Een niveau lager: Constructie-element	8
3.3 Het laagste niveau: Volumieke Eindige Elementen	9
3.4 Controle	9
3.5 Varianten	9
4 De software	11
4.1 Het batchscript	11
4.2 Het invoerscript	11
4.3 De gegevensverwerking	11
5 Resultaten van de schuifspanning	12
5.1 Meetresultaten	12
5.2 Vergelijking met de theorie	13
5.3 Een verbeterde benaderingsformule	14
6 Resultaten van de afschuifstijfheid	15
6.1 Meetresultaten	15
6.2 Vergelijking met de theorie	15
6.3 Een verbeterde benaderingsformule	16
7 Interpretaties, conclusies en aanbevelingen	18
7.1 Interpretaties	18
7.2 Conclusies	19
7.3 Aanbevelingen	19
Literatuurlijst	20
Bijlage A – Startnotitie	21
Bijlage B – Opbouw van de nieuwe ontwerpformules	22
Bijlage C – Statistieken bij de nieuwe ontwerpformules	24
Bijlage D – Scripts	25
Bijlage E – Database	27

1 Inleiding

De begrippen schuifspanning en afschuiftijfheid kunnen respectievelijk worden beschreven door middel van de theorie van Euler en Bernoulli en die van Timoshenko. Deze theorieën gebruiken zogenaamde statische, constitutieve en kinematische betrekkingen om door middel van differentiaalvergelijkingen van krachtenwerking tot vervorming te komen.

1.1 Analytische afleiding van de schuifspanning

De schuifspanning volgt direct uit de dwarskracht die in een doorsnede aanwezig is. Deze speelt op zijn beurt een rol in de genoemde statische betrekkingen, ook wel het krachtenevenwicht, zie figuur 1.1. In dit krachtenevenwicht staat de dwarskracht met het buigend moment in evenwicht. Ter illustratie, de dwarskracht maakt het verschil tussen een aantal losse latten die bij buiging langs elkaar glijden en dezelfde latten die door middel van spijkers aan elkaar genageld zijn en samen zullen moeten buigen. Het hoeft nauwelijks gezegd te worden dat het tweede geval een stuk steviger is.



Figuur 1.1. Een elementair deeltje.

Krachtenevenwicht:

$$q dx + dV = 0 \rightarrow \frac{dV}{dx} = -q$$

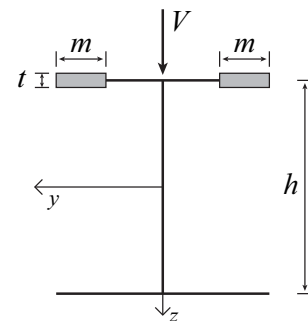
Momentenevenwicht:

$$-dM + V dx = 0 \rightarrow \frac{dM}{dx} = V$$

Waar de dwarskracht V over de totale doorsnede van een ligger werkt, kan deze ook per stukje oppervlakte van het profiel bepaald worden, de schuifspanning. Om hiertoe te komen wordt over de hoogte van een doorsnede herhaaldelijk een deel beschouwd dat tracht af te schuiven van de rest. Dit afschuivende deel wordt uitgedrukt in een oppervlakte vermenigvuldigd met diens afstand tot het centrum van de doorsnede, het statisch moment S_z^a . Verder zijn de lengte b^a van de grens tussen het afschuivende deel en de rest, en het traagheidsmoment I_{zz} van belang. De formule luidt als volgt:

Definitie

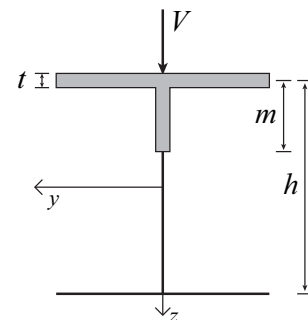
$$\tau = \frac{V S_z^a}{b^a I_{zz}}$$



Figuur 1.2. Afschuivend flensdeel.

In het geval van een vierkant dunwandig I-vormig profiel met gelijke profieldikte worden de flenzen en het lijf apart bekeken. Figuren 1.2 en 1.3 tonen de respectievelijke afschuivende delen. In de flenzen blijft de afstand tot het centrum constant, waardoor de spanning daar naar het midden toe lineair toeneemt. Wanneer het afschuivende deel gelijk is aan de hele bovenflens, breidt het afschuivende deel zich echter naar het lijf uit, waardoor de afstand tot het centrum af begint te nemen. Nu ontstaat een kwadratisch verband en dus wordt een parabolisch verloop van het spanningsdiagram verkregen.

De werkelijke afleiding van het schuifspanningsverloop volgt zoals beschreven.



Figuur 1.3. Afschuivend lijfdeel.

Voor het traagheidsmoment geldt $I_{zz} = \frac{7}{12}th^3$

Voor de flenzen geldt $b^a = 2t$ en $S_z^a = thm$.

Hieruit volgt de formule voor de schuifspanning, $\tau(m) = \frac{6}{7} \frac{V}{th} \frac{m}{h}$,

En dus $\tau(0) = 0$ en $\tau(\frac{1}{2}h) = \frac{3}{7} \frac{V}{th}$

Voor het lijf geldt $b^a = t$ en $S_z^a = \frac{1}{2}th^2 + \frac{1}{2}tm - \frac{1}{2}tm^2$

Hieruit volgt wederom de formule voor de schuifspanning, $\tau(m) = \frac{6}{7} \frac{V}{th} (1 + \frac{m}{h} - \frac{m^2}{h^2})$,

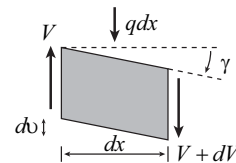
En dus $\tau(0) = \frac{6}{7} \frac{V}{th}$ en $\tau(\frac{1}{2}h) = \frac{15}{14} \frac{V}{th}$

Het moet hierbij gezegd worden dat deze afleiding zeer eenvoudig is door de gelukkige afmetingen van het profiel. Wanneer het profiel hoger is dan breed, of wanneer de flens dikker is dan het lijf wordt de berekening direct een stuk ingewikkelder. Het concept achter de analytische afleiding is hiermee echter wel duidelijk.

Aangezien de spanningen in het lijf de enige zijn die verticale afschuiving tegen kunnen houden, wordt wel gezegd dat de dwarskracht in zijn geheel door het lijf wordt opgenomen. De maximaal optredende schuifspanning wordt hierbij aangenomen als het quotiënt van de dwarskracht en het oppervlakte van het lijf.

1.2 Analytische afleiding van de afschuiftijfheid

Afschuiftijfheid is deel van de theorie pas een aantal eeuwen later aan de al bestaande theorie is toegevoegd. Hoewel dwarskrachten al wel voorkomen in de eerste theorieën, zijn de vervormingen die ermee gepaard gaan lange tijd achterwege gelaten. Geheel in overeenkomst met de bestaande theorie is deze uiteindelijk met afschuiving uitgebreid door middel van kinematische, constitutieve en statische betrekkingen. Figuur 1.4 toont een deel van de theorie.



Figuur 1.4. Een elementair deeltje.

De kinematische grootheid die de afschuiving beschrijft is de schuifvervorming γ .

$$\gamma \approx \frac{dv}{dx}$$

Deze kinematische grootheid is vervolgens gekoppeld aan de gemiddelde schuifspanning τ in een constitutieve betrekking, waarin ook een afschuifmodulus G wordt geïntroduceerd.

$$\tau = G\gamma$$

De schuifspanning is op zijn beurt weer gekoppeld aan de dwarskracht door middel van een afschuifoppervlak A_w .

$$\tau = \frac{V}{A_w}$$

Bovenstaande formules kunnen vervolgens samen worden gevoerd.

$$\gamma = \frac{dv}{dx} = \frac{V}{GA_w}$$

Waarmee uiteindelijk de afschuiftijfheid GA_w is gedefinieerd.

2 Uitgangspunten

2.1 Probleemstelling

Het probleem zit in het verschil in de resultaten van verschillende beschikbare methoden om een stalen balk door te rekenen. Tijdens het berekenen van de schuifspanningen in een dergelijke balk is gebleken dat de resultaten uit numerieke Eindige Elementen berekeningen hier en daar afwijken van die uit analytische berekeningen. Deze afwijken lijken het resultaat te zijn van analytische vereenvoudigingen ten behoeve van een hanteerbare berekening. Een voorbeeld hiervan is het feit dat een profiel in essentie wordt gezien als opgebouwd uit lijnelementen.

Uiteindelijk kan het zo zijn dat de ontwerpnormen voor de staalbouw niet voldoen. Hoewel er waarschijnlijk geen sprake zal zijn van onveilige normen, zou het toch kunnen blijken dat hier en daar overdimensionering plaatsvindt.

Binnen het probleem richt dit onderzoek zich specifiek op stalen balken met een I-vormig profiel.

2.2 Onderzoeksvraag

De onderzoeksvraag luidt als volgt:

"Op welke wijze wijken de resultaten van een Eindige Elementen benadering af van die van een analytische benadering bij het doorrekenen van de schuifspanningen in een stalen balk met I-profiel, in hoeverre vormen deze afwijkingen een werkelijk probleem, en hoe kan het probleem door middel van eenvoudige formules opgelost worden?"

2.3 Onderzoeksgrenzen

Het onderzoek richt zich exclusief op de schuifspanningen in en afschuifstijfheden van stalen balken met een I-profiel. Binnen deze grenzen zal hoofdzakelijk gekeken worden naar profielafmetingen die daadwerkelijk op de markt worden aangeboden. Er zal worden gekeken naar werkelijke profielen uit de series IPE en HE en naar een aantal gegenereerde profielen.

2.4 Uitvoering

Na korte kennismaking met het Eindige Elementenprogramma zal zo snel mogelijk gebruikt worden gemaakt van modelleeralgoritmes. De invoer zal bestaan uit profielafmetingen en zal in de vorm van een databasebestand aan het programma beschikbaar gemaakt worden.

Om de rekentijd te beperken zal waar mogelijk gebruik worden gemaakt van symmetrie.

Mechanisch zal het probleem worden gebaseerd op een eenvoudige situatie, waarin metingen zo min mogelijk storing ondervinden van andere aanwezige spanningen, vervormingen en beperkingen in de software.

2.5 Technische aannamen

Het rekenwerk gaat uit van een isotropisch materiaal dat overeenkomt met constructiestaal. Tevens wordt aangenomen dat het materiaal zich elastisch gedraagt en de vloeigrens niet bereikt wordt. Ten slotte gelden de volgende materiaaleigenschappen.

De E-modulus heeft een waarde van $E = 210 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$.

De contractiecoëfficiënt heeft een waarde van $\nu = 0,3$.

Definitie

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

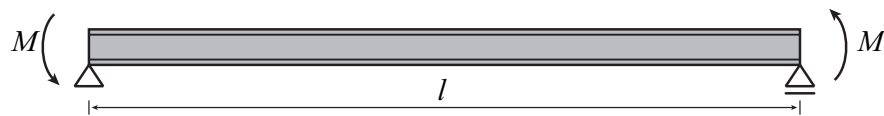
De afschuifmodulus heeft hiermee een waarde van $G = 80,77 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$.

3 Modelling

Om uiteindelijk het beste beeld te krijgen van de schuifspanning die in een ligger optreedt en de afschuifstijfheid ervan zullen deze in de optimale omstandigheden gemeten moeten worden. Dit heeft voornamelijk betrekking op de manier waarop het probleem gemodelleerd wordt. In de modellering zijn drie niveaus te onderscheiden. Het hoogste niveau is de constructie in zijn geheel, die vanuit de constructiemechanica beschreven kan worden. Het tweede niveau gaat in op de constructie-elementen zelf, de afmetingen daarvan en de plaatsen waar de krachten werkelijk aangrijpen. Het derde niveau volgt uit de rekenmethode, de Eindige Elementen Methode, en beschrijft de kleinste elementen.

3.1 Het hoogste niveau: Constructiemechanica

Het moeten meten onder optimale omstandigheden betekent allereerst dat de schuifkracht die de te meten verschijnselen veroorzaakt aanwezig moet zijn. Daarnaast is het van belang dat er geen andere krachten aanwezig mogen zijn dan deze schuifkracht. Bovendien moeten de metingen vrij zijn van storingen als gevolg van introductie van krachten of de aanwezigheid van opleggingen. Een voor de hand liggend model dat aan deze eisen voldoet is een eenvoudige ligger, opgelegd op twee steunpunten en aan de beide uiteinden in dezelfde richting belast door een moment. Figuur 3.1 geeft het mechanicaschema van een dergelijk model weer.



Figuur 3.1. Een ligger op twee steunpunten met momentbelasting.

Deze constructie is statisch bepaald, met een lineaire momentenlijn in de vorm van een zandloper en, belangrijker, een constante dwarskrachtenlijn. Uit eenvoudige vergelijking volgen de oplegreacties.

Afleiding

$$2M - B_v l = 0 \rightarrow B_v = -A_v = \frac{2M}{l}$$

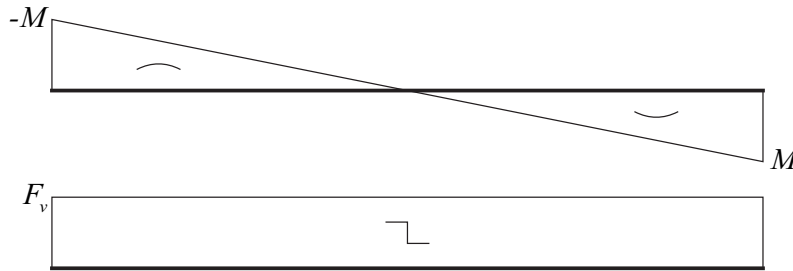
Storingen treden in de regel niet meer op na een afstand die overeenkomt met de afmetingen rond het introductiepunt. In dit geval mag worden aangenomen dat deze afstand gelijk is aan de hoogte van de ligger. Onder de voorwaarde dat de ligger op zijn minst tweemaal zo lang moet zijn als hoog, heerst er in het midden van de balk een dwarskracht vrij van storingen. Bovendien heerst er hier geen buigend moment. De constructie lijkt geschikt te zijn voor metingen.

Het wordt echter al snel duidelijk dat er toch nog een zekere storing optreedt. De middelste doorsnede ondergaat als gevolg van de momentbelastingen een zekere verplaatsing. Hierdoor is het niet mogelijk een goede meting te doen van de werkelijke afschuiving, waardoor het model niet geschikt is.

Een belangrijk gegeven is echter dat het evenwicht van de ligger niet zozeer aan de opleggingen zelf, maar aan de oplegreacties wordt ontleend. Wanneer de opleggingen worden vervangen door puntbelastingen gelijk aan de oorspronkelijke oplegreacties, is de ligger nog steeds in evenwicht. Als de ligger nu bij het midden wordt opgelegd verandert er nagenoeg niets, behalve dat hier nu geen verplaatsingen meer optreden. Figuur 3.2 geeft het mechanicaschema van het gebruikte model weer. Figuur 3.3 geeft daaronder tevens de momentenlijn en de dwarskrachtenlijn weer.



Figuur 3.2. Een in het midden opgelegde ligger met belastingen aan de uiteinden.



Figuur 3.3. De momentenlijn en de dwarskrachtenlijn.

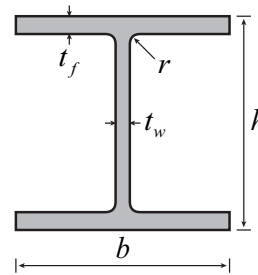
Deze constructie is nog steeds statisch bepaald. De oplegreacties zijn in principe gelijk aan nul, aangezien de belastingen elkaar in evenwicht houden. De puntlasten zorgen voor een moment rechtsom, terwijl de momentbelastingen voor een even groot moment linksom zorgen. Hiertoe dienen de belastingen wel in een exacte verhouding tot elkaar te staan. Deze verhouding volgt uit wat in principe de al eerder gegeven vergelijking is, waarin de oplegreacties vervangen zijn door puntlasten.

Afleiding

$$2M - F_v l = 0 \rightarrow F_v = \frac{2M}{l}$$

3.2 Een niveau lager: Constructie-element

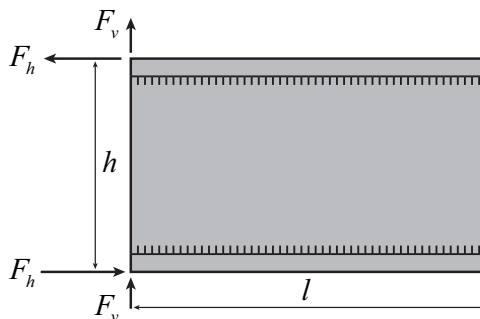
Nadat het probleem in mechanische concepten gemodelleerd is, kan dieper op het constructie-element zelf worden ingegaan. Ten eerste zijn er de afmetingen daarvan, die aan de hand van vijf parameters beschreven kunnen worden. Om te beginnen zijn er de hoogte h en de breedte b , gemeten tussen de uiterste vezels. Dan zijn er de diktes van het materiaal, de flensdikte t_w en de lijfdikte t_f . Tot slot is er de afrondingsstraal r van de oksels van het profiel. De veel voorkomende variaties zullen later behandeld worden. Figuur 3.4 toont de beschreven parameters.



Figuur 3.4. De profielparameters.

Nu kan een goed beeld gekregen worden van de werkelijke belasting. Het loont om de lasten te verdelen over de gehele oppervlakte van het element. Dit beperkt niet zozeer de mate waarin introductiestoringen optreden, maar wel de grootte ervan. Bovendien kan bij verdeling over de breedte van het element gekeken worden of de verdeling van de schuifspanning zich werkelijk vooral naar het lijf beweegt.

De puntlasten worden op de bovenste en onderste vezels in het midden en in de hoeken aangebracht. De momentlasten worden ontbonden in koppels van puntlasten, die op dezelfde punten in het element aangrijpen. Figuur 3.5 toont de belastingen aan een uiteinde van de ligger.



Figuur 3.5. De aangebrachte lasten.

Afleiding

$$2M - 2F_v l = 2F_h h - 2F_v l = 0$$

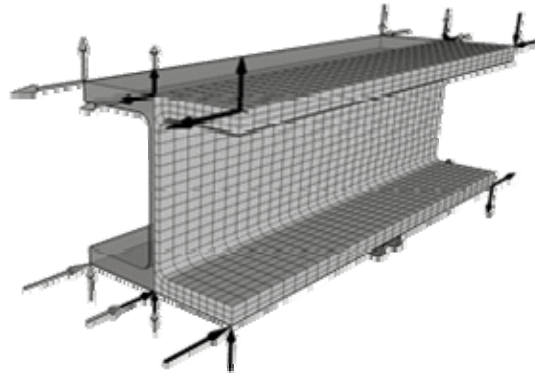
$$F_h = F_v \frac{l}{h}$$

3.3 Het laagste niveau: Volumieke Eindige Elementen

Met alle afmetingen gedefinieerd kan het model worden omgezet in een rekenmodel volgens de Eindige Elementen Methode. Het gebruikte computerprogramma gebruikt hier een groot aantal blokjes voor, elementen, die elk twintig controlepunten bevatten, de zogenaamde nodes. Het is ook mogelijk om elementen met acht controlepunten te gebruiken, maar daarmee loopt de kwaliteit van de berekening achteruit. Tevens is het mogelijk om tetraëders te gebruiken, maar die zijn weer niet goed in staat een plak uit het midden van de balk te laten zien.

Een grotere hoeveelheid elementen geeft een hogere nauwkeurigheid in de berekening. Aan de andere kant is het vooral de hoeveelheid blokjes die de snelheid bepaalt waarmee het programma een model doorrekent. Bovendien heeft de gebruikte versie van het computerprogramma een bovengrens in het toegestane aantal controlepunten. Deze omstandigheden vragen om een zo efficiënt mogelijk gebruik van elementen.

Verreweg de grootste besparing in de hoeveelheid elementen is het gebruik van symmetrie. Het gebruikte computerprogramma geeft de mogelijkheid een symmetrievlak te definiëren, waardoor slechts de helft van het model daadwerkelijk gemodelleerd hoeft te worden. Kleinere besparingen kunnen worden behaald door de lengte van elementen toe te laten nemen naar de uiteinden van de ligger. Hoewel de nauwkeurigheid van de berekening door langgerekte elementen achteruit gaat, wordt dit ruimschoots goedge maakt doordat uiteindelijk meer elementen gebruikt kunnen worden.



Figuur 3.6. Het model opgebouwd uit elementjes.

Het uiteindelijke rekenmodel is weergegeven in figuur 3.6. De linkerhelft wordt niet daadwerkelijk gemodelleerd. In de rechterhelft zijn de afzonderlijke elementen te onderscheiden. De puntlasten aan beide kanten van het symmetrievlak zijn tevens in verschillende kleurtonen weergegeven. Te zien is dat in het symmetrievlak slechts de halve puntlast werkelijk is gemodelleerd, aangezien deze door de symmetriewerking uiteindelijk verdubbeld wordt.

3.4 Controle

Voordat er uiteindelijk conclusies kunnen worden getrokken uit het gebruikte model, is het van belang te kijken of de gemaakte berekeningen wel de werkelijkheid beschrijft. Hiertoe kunnen de uitkomsten van een aantal testmodellen worden getoetst aan bepaalde verwachtingen en uiteraard aan de constructiemechanica.

Hoewel hier enigszins op de feiten vooruit gelopen wordt, kan alvast gesteld worden dat de spanningsplots van het gebruikte computerprogramma in de eerste plaats allemaal voldoen aan de verwachtingen. Over de lengte van de ligger is de dwarskracht inderdaad nagenoeg constant. Bovendien zijn de lineaire verdeling van de schuifspanning in de flenzen en de kwadratische verdeling in het lijf duidelijk zichtbaar. Verwachte vervormingen waar de belastingen aangrijpen zijn inderdaad aanwezig.

In de tweede plaats is het ook al snel duidelijk dat de uitkomsten overeenkomen met de theoretische uitkomsten. Vooral bij profielen met gemiddelde afmetingen zijn de door de computer berekende uitkomsten vrijwel gelijk aan de theorie.

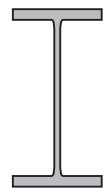
Al met al kan gesteld worden dat de modellering zoals hierboven beschreven voldoet aan alle eisen.

3.5 Varianten

De metingen van de schuifspanning en de afschuifstijfheid worden uitgevoerd op een groot aantal modellen met verschillende afmetingen. Op deze manier kan een goed beeld gevormd worden van de invloed die verschillende parameters hierop hebben. Wel is het van belang om een reeks modellen door te rekenen die overeenkomen met de in werkelijkheid gebruikte

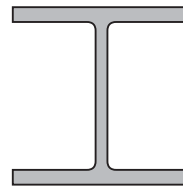
staalprofielen. Om deze reden worden in de eerste plaats modellen met dezelfde afmetingen als die werkelijk voorkomen gebruikt. Daarnaast wordt nog een reeks modellen met fictieve maar systematisch gevarieerde afmetingen gebruikt. Uiteindelijk worden meer dan driehonderd modellen doorgerekend, waaruit conclusies kunnen worden getrokken in de geest van zowel praktijkstudies als parameterstudies.

De werkelijk voorkomende afmetingen worden uit de profielseries IPE en HE gehaald. IPE profielen zijn over het algemeen zeer dun en een stuk hoger dan breed, en worden veel gebruikt als horizontale liggers. HE profielen zijn vaak wat dikker en overwegend even hoog als breed, waardoor ze naast de functie van horizontale ligger ook uitermate geschikt zijn als kolommen. Hieronder staan de series weergegeven die worden doorgerekend.



IPE A
IPE
IPE O
IPE R
IPE V
IPE 750

Figuur 3.7. Een IPE-profiel.



HE AA
HE A
HE B
HE M

Figuur 3.8. Een HE-profiel.

De modellen met fictieve afmetingen zijn grotendeels gebaseerd op bovenstaande series. Het probleem is echter dat deze profielen echter vanuit productieredenen slechts beperkte systematiek in de variaties tonen. Om een beeld te krijgen van de invloed van verschillende parameters op de te meten waarden biedt enige systematiek de nodige houvast.

De gegenereerde modellen hebben allemaal dezelfde hoogte en verschillen van elkaar in de andere parameters. In de bovenstaande profielseries is steeds gezocht naar de grootste en kleinste verhoudingen tussen de hoogte enerzijds en stuk voor stuk de overige parameters anderzijds. Tussen deze extreme verhoudingen zijn een aantal waarden uitgekozen. Uiteindelijk worden alle mogelijke doch reële combinaties van verkregen waarden mogelijk doorgerekend. Onderstaande tabel geeft een overzicht van de door te rekenen profielen weer.

Eigenschap Parameter	Maximale verhouding	Waarde [mm]	Increment [mm]	Minimale verhouding	Waarde [mm]
Breedte b	$h / b = 4$	25	25	$h / b = 1$	100
Lijfdikte t_w	$h / t_w = 50$	2	2	$h / t_w = 12.5$	8
Flensdikte t_f	$h / t_f = 33.33$	3	2	$h / t_f = 5.88$	17
Afrondingsstraal r	$h / r = 50$	2	2	$h / r = 12.5$	8

Tabel 3.1. Overzicht van gegenereerde profielafmetingen.

Hierbij moet opgemerkt worden dat een dergelijk grote variatie in flensdiktes niet werkelijk in de berekening zal voorkomen. De flensdikte is namelijk gerelateerd aan de lijfdikte en zal minimaal net iets dikker en maximaal net iets meer dan tweemaal zo dik zijn als deze.

Uiteindelijk worden 168 werkelijke en 224 gegenereerde profielen doorgerekend, waarmee de conclusies uiteindelijk op basis van 392 varianten getrokken kunnen worden.

4 De software

Zowel de modellering als de metingen worden gedaan met behulp van het Eindige Elementenpakket ANSYS. Dit programma biedt naast een grafische interface tevens de mogelijkheid om problemen door middel van scripts in te voeren en op te lossen. Wanneer een dergelijk invoerscript vanuit een ander batchscript wordt ingelezen en uitgevoerd kan een groot aantal profielen vol automatisch worden doorgerekend zonder dat een gebruiker zich ermee hoeft te bemoeien.

ANSYS biedt uitgebreide mogelijkheden met betrekking tot de weergave van de resultaten. Het programma kan contourplots maken van spanning en rek in elk gewenst deel van het model. Ook de exacte meetwaarden kunnen bewaard worden om in andere computerprogramma's te gebruiken.

Uiteindelijk worden de gegevens verwerkt in het spreadsheetprogramma Microsoft Excel en het curvefitting-programma DataFit.

4.1 Het batchscript

Het batchscript wordt uitgevoerd in Cygwin, een UNIX-emulator die in Microsoft Windows werkt. Cygwin maakt gebruik van de Bourne Again Shell (.bash), een relatief langzame geïnterpreteerde programmeertaal, maar uitermate geschikt om dit soort scripts uit te voeren.

Het batchscript haalt de invoerparameters uit een zogenaamd Comma-separated Values (.csv) bestand, een type databasebestand dat door de meeste spreadsheetprogramma's gelezen en bewerkt kan worden. Dit bestand bevat de parameters van alle door te rekenen profielen.

Wanneer alle gegevens ingelezen zijn, wordt een uniek invoerscript gecreëerd en uitgevoerd in ANSYS. Na de berekening worden de belangrijke waarden opgeslagen in een ander .csv bestand. Vervolgens worden de volgende parameters ingelezen.

4.2 Het invoerscript

Het invoerscript creëert de modellen door eerst het kopvlak te maken, hierin vervolgens een net van tweedimensionale eindige elementen in te hangen en het geheel ten slotte met elementen en al uit te trekken tot de gewenste lengte. Puntlasten en opleggingen worden aangebracht om het model vervolgens door te rekenen.

Wanneer de berekening enkele minuten later voltooid is worden een aantal plots gemaakt. Uiteindelijk wordt een uitvoerbestand aangemaakt waarin alle details zijn terug te vinden.

4.3 De gegevensverwerking

Wanneer alle profielen zijn doorgerekend kunnen de verzamelde gegevens worden verwerkt in een database. Theorie en meetwaarden worden hierin naast elkaar gezet en vergeleken. Het inzicht in de invloed van verschillende parameters wordt vervolgens gebruikt in het opstellen van een geschikte verbeteringsformule, waarbij het curvefitting-programma wordt ingezet.

Alle scripts zijn terug te vinden in bijlage B, de databasebestanden in bijlage E.

5 Resultaten van de schuifspanning

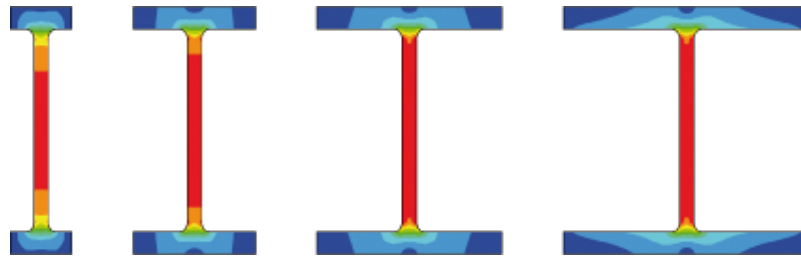
In het eerste hoofdstuk is de analytische afleiding van de schuifspanning behandeld. Hierin werd vastgesteld dat deze in de flenzen naar het midden toe lineair toenam, terwijl er in het lijf een kwadratisch verloop uit kwam. Dit had te maken met het feit dat de afstand van het afschuivende deel tot het centrum van de doorsnede in de flenzen constant bleef, terwijl deze in het lijf over de hoogte varieerde. Het probleem met de afleiding was dat het lijf en de flenzen in bepaalde opzichten werden geschematiseerd tot wanden zonder dikte, en de afrondingsstraal bovendien überhaupt niet werd meegerekend.

Uiteraard is het schematiseren tot wanden zonder dikte geheel niet onterecht. Deze hoofdvorm blijft zelfs bij de dikste profielen duidelijk zichtbaar, terwijl dünnere profielen de schematisering steeds dichter benaderen. De verwachting is dan ook dat het werkelijke spanningsverloop in grote lijnen met de theorie overeen zal komen. Het mag echter niet aangenomen worden dat het verloop ook constant blijft over de dikte. Aan de hand van metingen aan rechthoekige profielen kan verwacht worden dat de spanning in het lijf naar het midden toe iets afneemt. Dit duidt op hogere spanning rond de uithollingen, wat suggereert dat de spanning in de flenzen juist naar buiten toe afneemt.

Ten slotte mag aan de hand van metingen aan rechthoekige kokerprofielen verwacht worden dat hoge piekspanningen zich in het lijf voor zullen doen bij de afrondingen. Dit zou veroorzaakt kunnen worden door een soort mechanische versterking waarbij de flens om deze plek draait maar juist in het midden wordt vastgehouden.

5.1 Meetresultaten

De resultaten worden opgeslagen in grote tabellen, waarin de schuifspanning in elk knooppunt is vastgelegd. Voor een beter overzicht worden de waarden vervolgens grafisch weergegeven met behulp van contourplots. Hierin worden de knooppunten die tussen bepaalde waarden in liggen voorzien van de bijbehorende kleur, oplopend van blauw tot rood. Figuur 5.1 toont een aantal plots, waarbij wel opgemerkt moet worden dat de kleuren van de figuren onderling niet met elkaar overeenkomen.

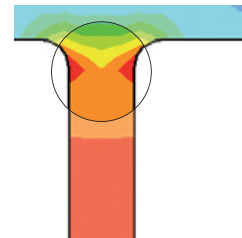


Figuur 5.1. Spanningsplots bij verschillende profielafmetingen.

Wat direct opvalt, is dat de schuifspanningen in de lijven zoals verwacht veel hoger zijn. Ook is te zien dat de afstand tussen contourlijnen hier naar het midden toe steeds groter worden, in overeenkomst met het parabolische verloop uit de theorie. Dat dit in de bredere figuren minder duidelijk zichtbaar is, wordt eenvoudig verklaart aan de hand van het feit dat de lijfdiktes hier in verhouding kleiner zijn. Plots met meer detail wijzen erop dat het spanningsverloop inderdaad de vorm aanneemt van een parabool.

De flenzen, waar duidelijk lagere spanningen te zien zijn, lijken ook met de theorie overeen te komen. In bovenstaande figuren blijven de afstanden tussen contourlijnen over de lengte van de flens gelijk, in overeenkomst met het lineaire verloop uit de theorie. Ook hier blijven meer gedetailleerde plots steeds de theorie steeds ondersteunen.

Ook de spanningspieken bij de afrondingen zijn terug te vinden. In dikke profielen met brede flenzen blijken deze pieken zelfs hoger te zijn dan de spanningen op halve hoogte van het lijf. Deze spanningen zullen een combinatie zijn van een werkelijk mechanisch fenomeen en een onnauwkeurigheid als gevolg van de rekenmethode. Figuur 5.2 toont een contourplot waarin de piekspanningen te zien zijn.



Figuur 5.2. Pieken.

5.2 Vergelijking met de theorie

De schuifspanningen in het lijf en die in de flenzen werken niet in hetzelfde vlak. Toch is het belangrijk dat een goed beeld gevormd kan worden van de invloed van beide soorten spanningen. Omdat dit lastig is wanneer steeds voor twee aparte vlakken de waarden bekeken moeten worden, wordt in plaats van deze twee aparte spanningen één type spanning gebruikt waarin beiden verwerkt zijn. Dit type spanning is de Von Mises equivalentenspanning, genoemd naar Richard Edler von Mises, welke strikt genomen een idee geeft van de grootte van de spanningstensor.

De Von Mises spanning is in een lokaal assenstelsel gedefinieerd als

$$\sigma_{VM} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{(\sigma_{xx} - \sigma_{yy})^2 + (\sigma_{yy} - \sigma_{zz})^2 + (\sigma_{zz} - \sigma_{xx})^2 + 6(\sigma_{xy} + \sigma_{yz} + \sigma_{zx})^2}$$

Echter, aangezien alle spanningen behalve de schuifspanningen gelijk zijn aan nul, wordt dit

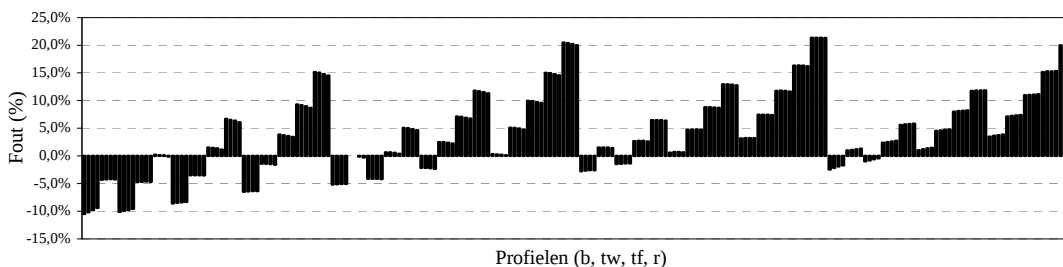
$$\sigma_{VM} = \frac{1}{\sqrt{2}} \sqrt{6(\sigma_{yz} + \sigma_{zx})^2} = \sqrt{3}(\sigma_{yz} + \sigma_{zx}) = \tau\sqrt{3}$$

Deze waarde is tevens de gemeten waarde, en staat in de rest van dit rapport voor de schuifspanning.

De maximale spanning wordt volgens de theorie uitstekend benaderd door het quotiënt van de dwarskracht en het schuifoppervlak A_w , gedefinieerd als de oppervlakte van het lijf, waarbij de afrondingen en de flenzen dus niet worden meegerekend. Vervolgens wordt ook deze spanning vermenigvuldigd met de wortel uit drie.

$$\sigma_{VM,oud} = \tau_{max,oud} \sqrt{3} = \sqrt{3} \frac{V}{A_w} = \sqrt{3} \frac{V}{t_w(h - 2t_f)}$$

Voor elk berekende model kunnen nu de gemeten en de theoretische maximale schuifspanningen met elkaar vergeleken worden. In de eerste plaats komen deze over het algemeen aardig overeen. Wel zijn er de nodige verschillen. Wanneer de procentuele fouten in een grafiek naast elkaar worden uitgezet, wordt duidelijk hoe groot die fouten zijn en waardoor ze veroorzaakt worden. Figuur 5.3 toont deze grafiek voor de gegenereerde profielen, achtereenvolgens geordend op toenemende breedte, lijfdikte, flensdikte en afrondingsstraal.



Figuur 5.3. De procentuele fouten in de theoriewaarden, relatief aan de meetwaarden.

Wat direct opvalt, is het feit dat de afrondingsstraal maar erg weinig invloed heeft, te zien aan de clustering van profielen waarbij alleen de afrondingsstraal niet overeenkomt. De sprongen van telkens vier à vijf procent wijzen op de invloed van de flensdikte, die groot lijkt te zijn. De sprongen tussen de trapjes van telkens achtereenvolgens twee, drie, vier en vijf treden laten zien waar de lijfdikte varieert. Hierbij is het lastiger om te zien wat de invloed is, maar deze lijkt kleiner te zijn dan die van de flensdikte. De vier grootste sprongen geven verspringende breedtes aan, waarvan de invloed overeenkomt met die van de lijfdikte.

De invloeden kunnen ook achterhaald worden door een enkel profiel te nemen, en hiervan vervolgens telkens één parameter van te veranderen. Wanneer dit bijvoorbeeld gedaan wordt met profiel p250, zelf met een procentuele fout van 2,5%, resulteert dit in een overzicht zoals beschreven in tabel 5.1.

Profiel p250	Eén stap lager	Eén stap hoger	Invloed
Breedte (b = 50)	- 6,0 %	+ 2,3 %	Groot tot gemiddeld.
Lijfdikte (tw = 6)	+ 2,5 %	- 2,3 %	Gemiddeld.
Flensdikte (tf = 9)	- 5,7 %	+ 5,6 %	Groot.
Afrondingsstraal (r = 4)	+ 0,0 %	-0,1 %	Nagenoeg geen.

Tabel 5.1. De invloeden van de verschillende parameters op de procentuele fouten.

Hoewel in bovenstaande tabel slechts de invloed rond een enkel profiel beschouwd is, en bovendien een profiel waarvan alle parameters redelijk gemiddelde waarden hebben, zijn de beschreven invloeden in alle profielen terug te vinden. De afrondingsstraal heeft nauwelijks invloed, de lijfdikte enige en de flensdikte al behoorlijke. Gezien de gelijke toename van de fout lijken deze invloeden tevens constant te zijn. De toename in de fout onder invloed van de breedte wordt echter kleiner naarmate deze zelf groter wordt, wat op een non-lineair verband duidt.

5.3 Een verbeterde benaderingsformule

Nu de invloed van de parameters enigszins bekend is, kan getracht worden een betere formule op te stellen om de maximale spanning te bepalen. Uit de vorige paragraaf is gebleken dat behalve de afrondingsstraal alle parameters wel enige invloed hebben. Aangezien de eenheden van de oude formule al kloppen, is het verstandig deze als uitgangspunt te nemen, om deze te vervolgens te vermenigvuldigen met een dimensieloze factor. Dit komt ook de complexiteit ten goede, aangezien de formule zo overzichtelijk blijft. Het ligt voor de hand de factor op te bouwen uit de quotiënten van de hoogte en de breedte en van de lijfdikte en de flensdikte. Om uiteindelijk tot een goede formule te komen, wordt elke variabele voorzien van een coëfficiënt.

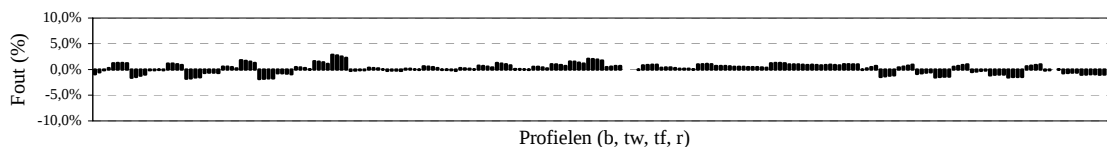
Definitie

$$\sigma_{VM, \text{nieuw}} = \tau_{\text{max, nieuw}} \sqrt{3} = \sqrt{3} \frac{V}{\alpha_1 t_w (\alpha_2 h + \alpha_3 t_f)} \cdot (1 + \alpha_4 + \alpha_5 \frac{h}{b} + \alpha_6 \frac{t_w}{t_f})$$

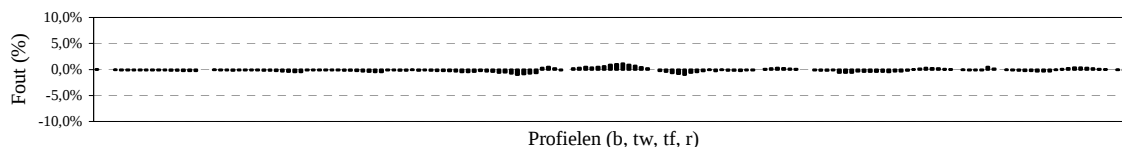
Met behulp van het curvefitting-programma DataFit kunnen voor de coëfficiënten in bovenstaande formule de optimale waarden bepaald worden. De eerste resultaten suggereren dat α_1 en α_2 gelijk gesteld kunnen worden aan 1, terwijl α_3 opvallend genoeg gelijk gesteld kan worden aan -1. Dit komt de overzichtelijkheid van de formule zeer ten goede. Na dit in te vullen kunnen de optimale waarden van de overgebleven coëfficiënten opnieuw bepaald worden. Uiteindelijk resulteert dit in een nieuwe, zeer nauwkeurige formule. Figuur 5.4 toont de procentuele fout in de nieuwe formule voor de gegenereerde profielen, terwijl figuur 5.5 deze toont voor de werkelijk bestaande profielen. Een positieve fout zit hierbij aan de veilige kant. Enige statistieken bij de nieuwe formule zijn terug te vinden in bijlage C.

Definitie

$$\sigma_{VM, \text{nieuw}} = \tau_{\text{max, nieuw}} \sqrt{3} = \sqrt{3} \frac{V}{t_w (h - t_f)} \cdot \left(\frac{25}{26} + \frac{1}{35} \frac{h}{b} + \frac{1}{10} \frac{t_w}{t_f} \right)$$



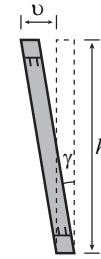
Figuur 5.4. De procentuele fouten in de nieuwe formule, relatief aan de meetwaarden. (Gegenereerde profielen)



Figuur 5.5. De procentuele fouten in de nieuwe formule, relatief aan de meetwaarden. (Werkelijke profielen)

6 Resultaten van de afschuifstijfheid

In het eerste hoofdstuk is de definitie van de afschuifstijfheid afgeleid, aan de hand van een elementair deeltje dat verticaal afschoof. De afschuifvervorming γ was gedefinieerd als het quotiënt van de verticale afschuiving en de horizontale afmeting van het elementaire deeltje. Aangezien de berekende modellen in het midden vastgehouden worden, en daardoor niet verticaal af kunnen schuiven, treedt dezelfde vervorming op als gevolg van horizontale afschuiving. De afschuifvervorming is nu gedefinieerd als het quotiënt van de totale horizontale afschuiving in de bovenste vezel en de hoogte van het profiel. Figuur 6.1 toont deze afschuifvervorming.



Figuur 6.1. Afschuifvervorming

De waarde die gemeten wordt is de werkelijke maximale afschuiving. De afschuifstijfheid is daar een functie van. Aangezien hier slechts een enkele eenvoudige waarde gemeten wordt, in plaats van een complex spanningsverloop, valt er weinig te zeggen over verwachtingen. De afschuiving zal nagenoeg lineair met de hoogte toenemen en het afschuifoppervlak zal overeenkomen met de oppervlakte van het lijf.

6.1 Meetresultaten

De resultaten worden opgeslagen in grote tabellen, waarin de afschuiving in elk knooppunt is vastgelegd. Voor een beter overzicht worden de waarden vervolgens grafisch weergegeven met behulp van contourplots. Hierin worden de knooppunten die tussen bepaalde waarden in liggen voorzien van de bijbehorende kleur, oplopend van blauw tot rood. Figuur 6.2 toont een dergelijke plot in een plak uit de ligger, waarbij ook de onvervormde toestand te zien is.



Figuur 6.2.

Het is aan de hand van de vorm van de plot al direct duidelijk dat de afschuiving lineair met de hoogte toeneemt, hoewel de gelijke afstanden tussen contourlijnen hier ook op wijzen. Interessant is dat de flenzen vrijwel onvervormd blijven, te zien aan het feit dat deze in vervormde toestand nog steeds rechthoekig zijn. Dit laat ook weer zien dat het inderdaad het lijf is dat de dwarskracht opneemt.

6.2 Vergelijking met de theorie

Met behulp van de gemeten uitwijking kan de werkelijke afschuifstijfheid bepaald worden. Deze volgt uit het quotiënt van het product van de dwarskracht en de hoogte, en deze afschuiving. Hoewel de flenzen nauwelijks vervormen, is het verstandig om hier wel degelijk de volle hoogte te nemen. De afschuifvervorming volgt echter per definitie al uit een benadering, waardoor de fout die hier ontstaat verwaarloosbaar is.

Definitie

$$GA_{w,oud} = \frac{V}{\gamma} = \frac{Vh}{v}$$

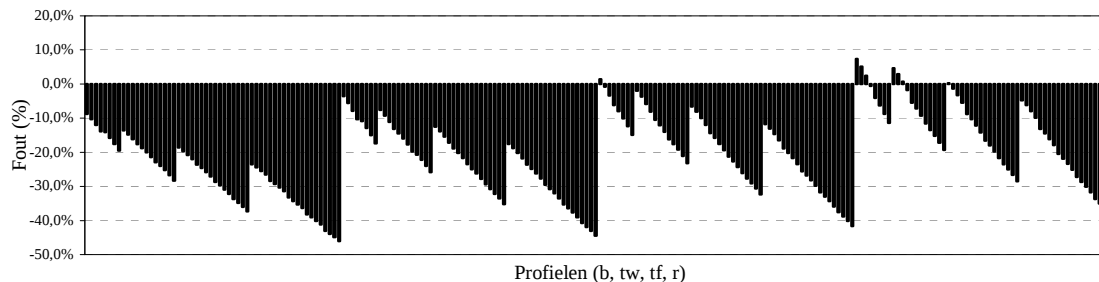
De afschuifstijfheid wordt volgens de theorie uitstekend benaderd door het product van de afschuifmodulus en het schuifoppervlak A_w , gedefinieerd als de oppervlakte van het lijf, waarbij de afrondingen en de flenzen dus niet worden meegerekend.

Definitie

$$GA_{w,oud} = Gt_w(h - 2t_f)$$

Voor elk berekend model kunnen nu de gemeten en de theoretische maximale afschuifstijfheden met elkaar vergeleken worden. Hoewel de waarden wat orde van grootte betreft steeds aardig met elkaar overeenkomen, is het duidelijk dat de theoretische afschuifstijfheid bijna zonder uitzondering te laag is. Wanneer de procentuele fouten in een grafiek naast elkaar worden uitgezet,

wordt duidelijk hoe groot die fouten zijn en waardoor ze veroorzaakt worden. Figuur 6.3 toont deze grafiek voor de gegenereerde profielen, achtereenvolgens geordend op toenemende breedte, lijfdikte, flensdikte en afrondingsstraal.



Figuur 6.3. De procentuele fouten in de theoriewaarden, relatief aan de meetwaarden.

Wat direct opvalt, is dat, anders dan bij de schuifspanning, de afrondingsstraal hier wel degelijk invloed heeft, zelfs zoveel dat de bij variaties in flensdikte geen sprong meer te zien is. Uiteraard betekent dit niet meteen dat de flensdikte geen invloed meer heeft. Integendeel, het lineaire verloop wijst tot op zekere hoogte op een samenspel tussen afrondingsstraal en flensdikte. De kleine sprongen wijzen op de invloed van de lijfdikte. Hier valt kwalitatief weinig over te zeggen, behalve dat deze niet erg groot lijkt. Tot slot wijzen de grootste sprongen wederom op de invloed van de breedte, die bij hogere waarden zelfs leidt tot overschatting van de afschuifstijfheid.

De invloeden kunnen ook achterhaald worden door een enkel profiel te nemen, en hiervan vervolgens telkens één parameter van te veranderen. Wanneer dit bijvoorbeeld gedaan wordt met profiel p250, zelf met een procentuele fout van -20,2%, resulteert dit in een overzicht zoals beschreven in tabel 6.1.

Profiel p250	Eén stap lager	Eén stap hoger	Invloed
Breedte ($b = 50$)	- 4,4 %	+ 4,4 %	Groot.
Lijfdikte ($tw = 6$)	- 2,0 %	+ 1,4 %	Gemiddeld.
Flensdikte ($tf = 9$)	+ 6,3 %	- 6,0 %	Groot.
Afrondingsstraal ($r = 4$)	+ 1,3 %	- 1,5 %	Gemiddeld.

Tabel 6.1. De invloeden van de verschillende parameters op de procentuele fouten.

Hoewel in bovenstaande tabel slechts de invloed rond een enkel profiel beschouwd is, en bovendien een profiel waarvan alle parameters redelijk gemiddelde waarden hebben, zijn de beschreven invloeden in alle profielen terug te vinden. De breedte heeft behoorlijke invloed, welke bovendien lineair lijkt. De lijfdikte heeft minder grote invloed, hoewel deze niet verwaarloosbaar is. De flensdikte heeft wederom grote, lineaire invloed. De afrondingsstraal heeft minder grote invloed, maar weet wel de sprongen tussen variërende flensdikte te overbruggen.

Opvallend is overigens het feit dat zowel de bij grotere flensdikte als bij grotere de afrondingsstraal de absolute fout groter wordt. Hoewel de afrondingsstraal niet in de theoretische formule voorkomt, kan gezegd worden dat de flensdikte geheel verkeerd gebruikt wordt. Waar de formule de hoogte hiermee vermindert, blijkt deze juist in toenemende mate stijfheid te verlenen.

6.3 Een verbeterde benaderingsformule

Nu de invloed van de parameters enigszins bekend is, kan getracht worden een betere formule op te stellen om de maximale spanning te bepalen. Aangezien uit de vorige paragraaf is gebleken dat alle parameters wel enige invloed hebben, is het belangrijk deze allemaal te gebruiken. Bovendien is gebleken dat de flensdikte tot nu toe verkeerd gebruikt werd, wat gecorrigeerd kan worden.

Aangezien de eenheden van de oude formule al kloppen, is het verstandig hier verder zo min mogelijk aan te sleutelen, maar deze te vermenigvuldigen met een dimensieloze factor. Het is voor de hand liggend deze factor op te bouwen uit het quotiënt van de breedte en de hoogte en dat van de lijfdikte en de afrondingsstraal. Om uiteindelijk tot een goede formule te komen, wordt elke variabele voorzien van een coëfficiënt. In eerste instantie wordt de flensdikte slechts in de formule zelf gebruikt, uiteraard ook voorzien van een quotiënt.

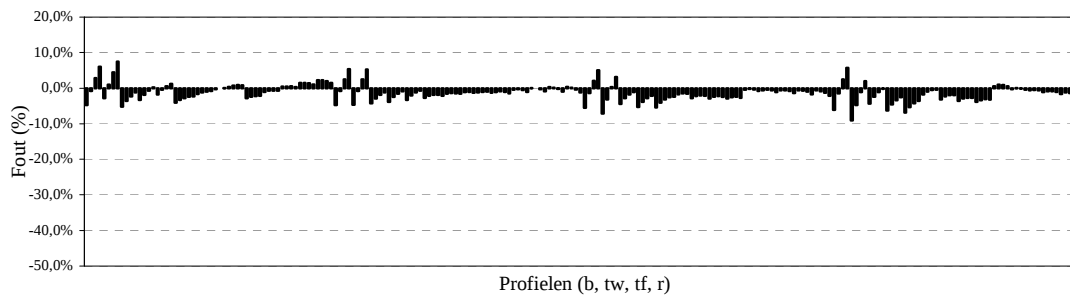
Definitie

$$GA_{w,nieuw} = G\alpha_1 t_w (\alpha_2 h + \alpha_3 t_f) \cdot (1 + \alpha_4 + \alpha_5 \frac{b}{h} + \alpha_6 \frac{r}{t_w})$$

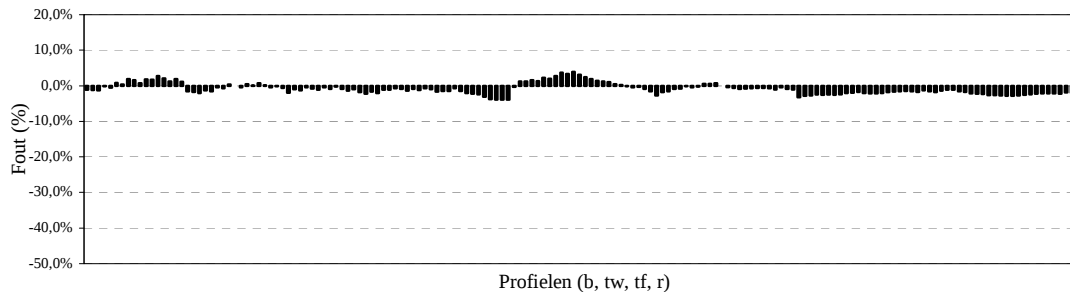
Met behulp van het curvefitting-programma DataFit kunnen voor de coëfficiënten in bovenstaande formule de optimale waarden bepaald worden. De eerste resultaten suggereren dat α_1 en α_2 gelijk gesteld kunnen worden aan 1, en zo ook α_3 , zoals enigszins verwacht. Dit komt de overzichtelijkheid van de formule zeer ten goede. Na dit in te vullen kunnen de optimale waarden van de overgebleven coëfficiënten opnieuw bepaald worden. Uiteindelijk resulteert dit in een nieuwe, zeer nauwkeurige formule. Figuur 6.4 toont de procentuele fout in de nieuwe formule voor de gegenereerde profielen, terwijl figuur 6.5 deze toont voor de werkelijk bestaande profielen. Een negatieve fout zit aan de veilige kant. Enige statistieken bij de nieuwe formule zijn terug te vinden in bijlage C.

Definitie

$$GA_{w,nieuw} = Gt_w (h + t_f) \cdot (\frac{23}{25} - \frac{1}{5} \frac{b}{h} + \frac{1}{18} \frac{r}{t_w})$$



Figuur 6.4. De procentuele fouten in de nieuwe formule, relatief aan de meetwaarden. (Gegenereerde profielen)



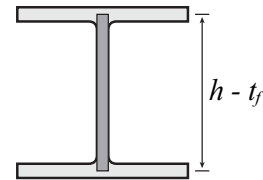
Figuur 6.5. De procentuele fouten in de nieuwe formule, relatief aan de meetwaarden. (Werkelijke profielen)

7 Interpretaties, conclusies en aanbevelingen

Na enige analyse van de onderzoeksresultaten en de verbeteringsformules dienen deze juist worden geïnterpreteerd, om er vervolgens conclusies uit te kunnen trekken. Hoewel de invloeden van de verschillende parameters al waren beschreven met het oog op verbeteringsformules, kan de wijze waarop deze hier uiteindelijk in voorkomen daarnaast ook belangrijke inzichten geven. Hieruit kunnen weer de nodige conclusies getrokken worden, aan de hand waarvan vervolgens aanbevelingen gedaan kunnen worden voor verder onderzoek.

7.1 Interpretaties

Misschien wel het meest opvallend aan de verbeteringsformules is voor zowel de schuifspanning als de afschuifstijfheid het deel vóór de dimensieloze factor. Door in beide gevallen met de profielhoogte minus tweemaal de flensdikte te rekenen, wordt er feitelijk vanuit gegaan dat de flenzen in het geheel geen bijdrage leveren. Hoewel dit in essentie inderdaad klopt, blijken klein delen toch wel degelijk een bijdrage te leveren. Het gaat hier vooral om het gedeelte net boven en onder het conventionele lijf: de meewerkende lijfhoogte is nagenoeg gelijk aan de hoogte minus éénmaal de flensdikte in het geval van de schuifspanning, en zelfs de hoogte plus éénmaal de flensdikte in het geval van de afschuifstijfheid.



Figuur 7.1. Het nieuwe lijfdeel.

Het is op zijn plaats om hier de plasticiteitsleer aan te halen, en wat daarvan in de staalnormen terecht is gekomen. Hier is wel degelijk een besef dat een deel van de flens op den duur ook een bijdrage gaat leveren, namelijk wanneer de spanning in het conventionele elastische lijfdeel de vloeigrens heeft bereikt. Dit moment komt uiteraard niet geheel uit de lucht vallen. Immers, onderscheid maken tussen delen die wel of niet een bijdrage leveren is op zich al een vereenvoudiging. In werkelijkheid loopt de spanning door de flenzen heen snel maar toch wel degelijk geleidelijk terug.

In de elastische theorie lijkt het erop dat de grens van het lijfdeel op die plek is genomen net voordat het spanningsverloop snel begint af te nemen. Wat uiteindelijk blijkt is dat deze grens wel iets ruimer genomen mag worden.

Voor de volledigheid is in Bijlage B een overzicht terug te vinden van de schuifspanningen en de afschuifstijfheden berekend op basis van de nieuwe basisformules met ruimer genomen lijfdeel, maar zonder de dimensieloze factor.

Definitie

$$\sigma_{VM,basis} = \sqrt{3} \frac{V}{t_w(h-t_f)} \quad \text{en} \quad GA_{w,nieuw,basis} = Gt_w(h+t_f)$$

Van bovenstaande basisformules kan niet gezegd worden dat ze de werkelijkheid veel beter beschrijven dan de oude formules. Bovendien zit de fout aan de onveilige kant. Pas bij vermenigvuldigd met de dimensieloze factoren wordt een flinke winst in nauwkeurigheid geboekt. Hieronder wordt een overzicht gegeven van het bereik van deze factoren, terwijl Bijlage B een overzicht geeft van de invloed ervan op de nieuwe basisformules.

Parameters	Waardes	Coëfficiënt	Invloed
h/b	0,91 tot 4,00	1/35	+2,60 % tot +11,4 %
t_w/t_f	0,40 tot 0,89	1/10	+4,00 % tot +8,89 %
Totaal bereik, inclusief basisgetal 96,2 %:			102,8 % tot 116,4 %

Tabel 7.1. Het bereik van de dimensieloze factor bij de schuifspanning, in procenten.

Parameters	Waardes	Coëfficiënt	Invloed
b/h	0,25 tot 1,10	-1/5	-22,0 % tot -5,00 %
r/t_w	0,25 tot 4,00	1/18	+1,39 % tot +22,0 %
Totaal bereik, inclusief basisgetal 92,0 %:			71,4 % tot 109,0 %

Tabel 7.2. Het bereik van de dimensieloze factor bij de afschuifstijfheid, in procenten.

7.2 Conclusies

De onderzoeksvraag voor dit onderzoek ging over de wijze waarop de resultaten van een Eindige Elementen berekening afwijken van de analytische resultaten, in hoeverre dit een probleem vormt en hoe het probleem met behulp van eenvoudige ontwerpformules opgelost kan worden. Op deze vragen kan nu een antwoord gegeven worden.

De wijze waarop de onderzoeksresultaten afwijken van de analytische resultaten wordt behandeld in de hoofdstukken 5 en 6. Over het algemeen worden de optredende schuifspanningen overschat, soms tot bijna 25%. Hetzelfde geldt echter niet voor de zeer dunne profielen, waar de schuifspanning blijkbaar wél wordt onderschat, tot 10%. In de vorige paragraaf is uitgelegd dat deze misschatting een resultaat is van de vereenvoudiging. Zeker bij de wat dikkere profielen trekken de flenzen ook een deel van de schuifspanning naar zich toe.

De afschuiftijfheid wordt over het algemeen onderschat, soms tot wel 45%. Zeer dunne profielen worden beter ingeschat en soms zelfs enigszins overschat. Ook bij de afschuiftijfheid is de misschatting een resultaat van vereenvoudiging.

Of de afwijkingen een probleem vormen is moeilijk te zeggen. Hoewel bij overschatting van de schuifspanning en onderschatting van de afschuiftijfheid wel veilig gerekend wordt, kan gezegd worden dat de oude ontwerpformules zoals verwacht neigen tot overdimensionering. Bij de zeer dunne profielen is juist het tegengestelde waar, hoewel de misschatting hier minder is. Deze zal niet problematisch zijn, aangezien het staal nog enigszins kan vloeien voordat er een probleem optreedt.

Tevens in de hoofdstukken 5 en 6 worden verbeterde ontwerpformules gegeven, die een veel nauwkeuriger beeld geven. De procentuele fouten worden in de meest extreme gevallen teruggebracht tot 8%, maar over het algemeen tot ongeveer 2 à 3%. Bovendien zit de fout in de meeste gevallen aan de veilige kant. Uiteindelijk kan gesproken worden van een flinke winst. De formules staan hieronder weergegeven, vergezeld van de variatiecoëfficiënten.

Definitie	Schuifspanning:	$\sigma_{VM, \text{nieuw}} = \sqrt{3} \frac{V}{t_w (h - t_f)} \cdot \left(\frac{25}{26} + \frac{1}{35} \frac{h}{b} + \frac{1}{10} \frac{t_w}{t_f} \right)$	$s/(1-m)=0,0003$
Definitie	Afschuiftijfheid:	$GA_{w, \text{nieuw}} = G t_w (h + t_f) \cdot \left(\frac{23}{25} - \frac{1}{5} \frac{b}{h} + \frac{1}{18} \frac{r}{t_w} \right)$	$s/(1-m)=0,016$

7.3 Aanbevelingen

Dit onderzoek roept, zoals een onderzoek hoort te doen, minstens even veel vragen op als antwoorden. Niet alle resultaten en bevindingen kunnen binnen de gestelde onderzoeksgrenzen op de juiste wijze geïnterpreteerd worden. Eventueel verder onderzoek begint bij dit soort overgebleven vraagstukken.

Er zal altijd een gat zijn tussen Eindige Elementen en werkelijk metaal. De werkelijkheid zal dichter benaderd worden naarmate de resolutie hoger is. De software gaf echter een bovengrens voor het toegestane aantal elementen, wat een beperking opleverde. Hoewel een hogere resolutie geen drastisch verschillende resultaten zal opleveren, kan wel gezegd worden dat de resultaten daarmee beter geïnterpreteerd hadden kunnen worden.

De spanningspieken die in het lijf bij de afrondingen werden gevonden zouden verder kunnen worden onderzocht. Deze pieken zullen als eerste de vloeigrens bereiken, en hebben dus invloed op het plastische gedrag.

Er wordt geconcludeerd dat de oude ontwerpformules naar overdimensionering neigen. De materiaalwinst die hier eventueel behaald kan worden is niet recht evenredig met de winst in nauwkeurigheid van de gevonden ontwerpformules. Deze mogelijke materiaalwinst vraagt tevens om verder onderzoek.

Literatuurlijst

Hartsuijker, C 2001, *Toegepaste Mechanica – deel 2: Spanningen, vervormingen en verplaatsingen*, Delft, Academic Service

Simone, A 2007, *ct3110: Analysis of Slender Structures*, Delft

Timoshenko, S en Goodier, JN 1970, *Theory of elasticity, 3d ed.*, New York, McGraw-Hill

Bijlage A – Startnotitie

Inleiding

De homogene eigenschappen van staal maken het mogelijk om analytisch op een zeer schone wijze de werkelijkheid te benaderen. Vanuit de wiskunde is men al vele jaren lang in staat een stalen balk door te rekenen.

Recentelijk is gebleken dat de analytische afleiding van schuifspanningen in een stalen balk niet altijd overeenkomt met de afleiding aan de hand van een Eindige Elementen benadering. In een aantal gevallen treden significant hogere piekspanningen op dan die waar men tot nu toe altijd rekening mee heeft gehouden. Bovendien treden deze spanningen niet altijd daar op waar men ze tot nu toe verwachtte. Het is nu van belang om na te gaan of deze ontdekkingen niet tot een wijziging in de normen zouden moeten leiden.

Voor een aantal profieltypen is al enig onderzoek gedaan naar het verloop van deze schuifspanningen. Er is gekeken naar massieve en holle profielen, zowel rechthoekig als rond. Daarnaast is gekeken naar rechthoekige profielen met ronde hoeken. Veel meer dan deze profielen wordt in de bouw echter gebruik gemaakt van het I-profiel. Dit profiel staat al sinds de industriële revolutie symbool voor de staalbouw en het gebruik ervan is daar ook naar.

Probleemstelling

Het probleem is een verschil in de resultaten van verschillende beschikbare methoden om een stalen balk door te rekenen. Tijdens het berekenen van de schuifspanningen in een dergelijke balk is gebleken dat de resultaten uit numerieke Eindige Elementen berekeningen hier en daar afwijken van die uit analytische berekeningen. Dit zou kunnen betekenen dat de ontwerpnormen voor de staalbouw niet voldoen. Binnen het probleem richt dit onderzoek zich specifiek op stalen balken met een I-vormig profiel.

Onderzoeksvraag

De onderzoeksvraag luidt als volgt:

“Op welke wijze wijken de resultaten van een Eindige Elementen benadering af van die van een analytische benadering bij het doorrekenen van de schuifspanningen in een stalen balk met I-profiel”

Onderzoeksgrenzen

Het onderzoek richt zich exclusief op de schuifspanningen in stalen balken met een I-profiel. Binnen deze grenzen zal hoofdzakelijk gekeken worden naar profielafmetingen die daadwerkelijk op de markt worden aangeboden. Afhankelijk van het succes in de automatisering van het onderzoek zal gekeken worden naar profielen van het type IPE en van het type HE.

Spanningen zullen bekeken worden op maatgevende doorsneden in de balk, zowel wat betreft dwarskracht als met oog op de invloed van aanwezige buigende momenten.

Modellering

Na korte kennismaking met het Eindige Elementenpakket zal zo snel mogelijk gebruikt worden gemaakt van modelleeralgoritmes. De invoer zal bestaan uit profielafmetingen en zal in de vorm van een spreadsheetprogramma aan het programma beschikbaar gemaakt worden.

Om de rekentijd te beperken zal waar mogelijk gebruik worden gemaakt van symmetrie.

Mechanisch zal het probleem worden gebaseerd op een balk op twee steunpunten, dusdanig gepositioneerd dat de maatgevende doorsneden geen invloeden ondervinden vanuit translaties en dergelijke.

Aannamen

Het rekenwerk gaat uit van staal van kwaliteit S235. Dit houdt in dat:

De E-modulus een waarde heeft van $210 \cdot 10^3 \text{ N/mm}^2$.

De afschuifmodulus een waarde heeft van $8 \cdot 10^4 \text{ N/mm}^2$.

Werkplan

Het werkplan volgt grofweg het tijdsplan zoals voorgeschreven staat in de handleiding van het Bachelor Eindwerk.

Bijlage B – Opbouw van de nieuwe ontwerpformules

Algemene opbouw

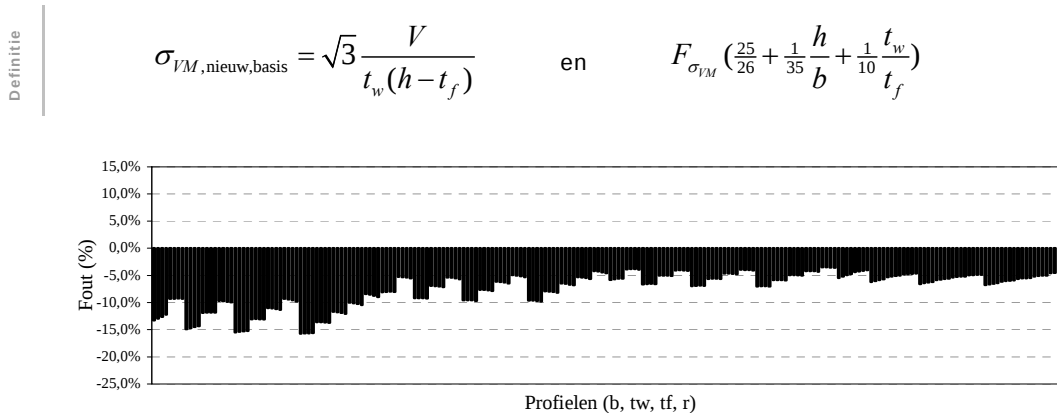
De nieuwe ontwerpformules zijn opgebouwd uit een basisformule, vermenigvuldigd met een dimensieloze factor. De basisformules lijken erg op de oude formules uit de staalnormen. Hoewel de fout in de basisformules niet veel kleiner is dan die in de oude formules is deze, vooral bij de schuifspanning, meer aan één kant geconcentreerd, zij het de onveilige kant. Het hoeft niet gezegd te worden dat deze nieuwe basisformules op zichzelf eigenlijk geenszins een verbetering zijn.

De werkelijke verbetering treedt pas op wanneer de nieuwe basisformules met bepaalde dimensieloze factoren vermenigvuldigd worden. Deze dimensieloze factoren zijn in beide gevallen opgebouwd uit drie termen, één onafhankelijk basisgetal en twee quotiënten van profielparameters, allen voorzien van met behulp van het curvefitting-programma DataFit gevonden optimale coëfficiënten.

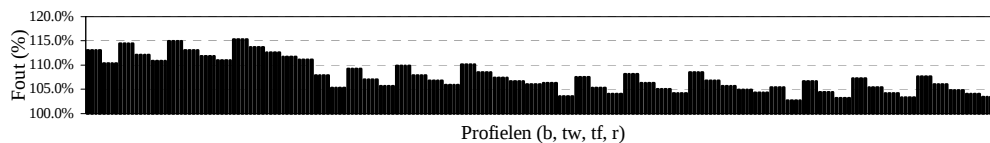
Het is gebleken dat de vermenigvuldiging met dimensieloze factoren bij de oude formules tot minder nauwkeurige resultaten leidt. De reden hiervoor is echter onduidelijk gebleven. Hieronder wordt door middel van diagrammen een overzicht gegeven van de werking van de nieuwe ontwerpformules.

Schuifspanning

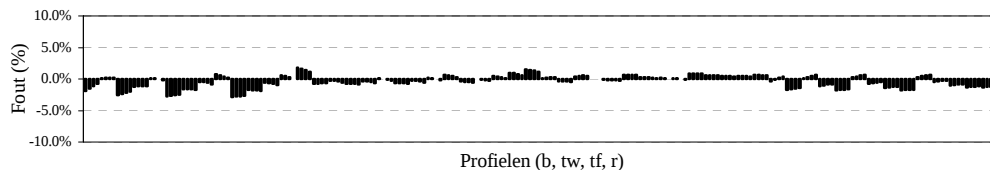
Onderstaande diagrammen geven voor de schuifspanning een overzicht van respectievelijk de procentuele fout in de nieuwe basisformules, de waarden van de dimensieloze factoren en de procentuele fout in de combinatie van die twee, de uiteindelijke ontwerpformule.



Figuur B.1. De procentuele fouten in de nieuwe basisformule, relatief aan de meetwaarden.



Figuur B.2. De waarden van de dimensieloze factor, in procenten.



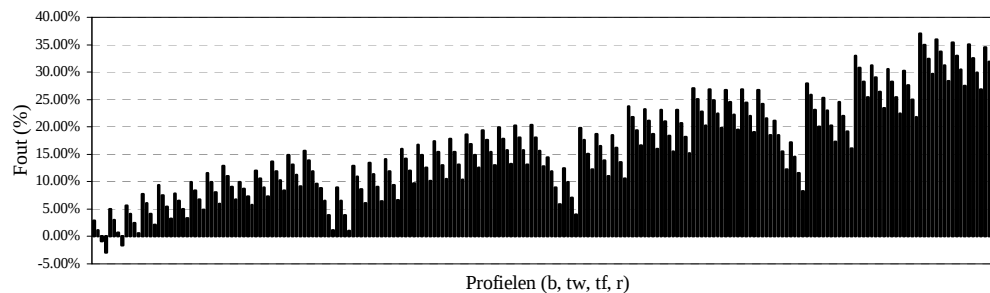
Figuur B.3. De procentuele fout in de uiteindelijke nieuwe ontwerpformule.

Afschuiftijfheid

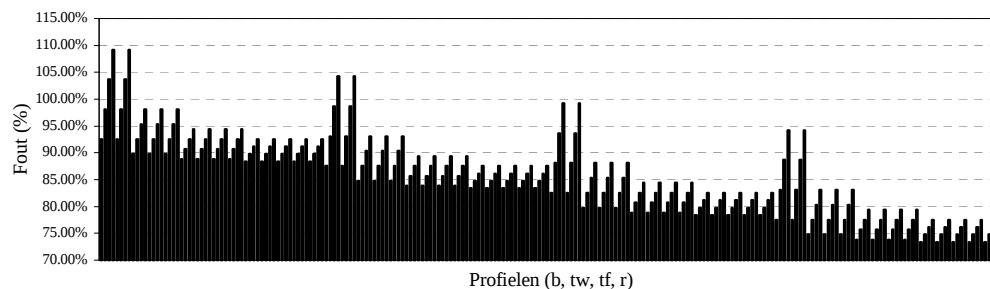
Onderstaande diagrammen geven voor de afschuiftijfheid een overzicht van respectievelijk de procentuele fout in de nieuwe basisformules, de waarden van de dimensieloze factoren en de procentuele fout in de combinatie van die twee, de uiteindelijke ontwerpformule.

Definitie

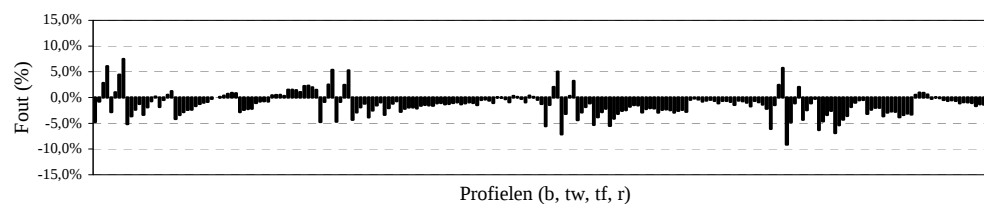
$$GA_{w,\text{nieuw,basis}} = Gt_w(h + t_f) \quad \text{en} \quad F_{GA_w} = \left(\frac{23}{25} - \frac{1}{5} \frac{b}{h} + \frac{1}{18} \frac{r}{t_w} \right)$$



Figuur B.4. De procentuele fouten in de nieuwe basisformule, relatief aan de meetwaarden.



Figuur B.5. De waarden van de dimensieloze factor, in procenten.

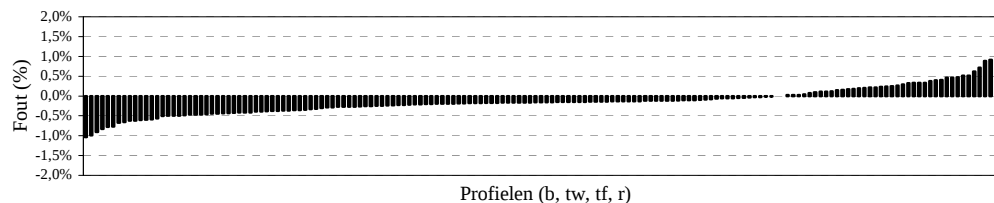


Figuur B.6. De procentuele fout in de uiteindelijke nieuwe ontwerpformule.

Bijlage C – Statistieken bij de nieuwe ontwerpformules

Schuifspanning

Onderstaande figuur geeft de verdeling van de procentuele fout in de nieuwe ontwerpformule voor de schuifspanning. Onderstaande tabel geeft enige statistische informatie. Slechts de werkelijk bestaande profielen zijn meegerekend. Uit de zeer lage variatiecoëfficiënt blijkt dat de materiaalfactor in een probabilistisch onderzoek als constante 1 genomen mag worden.



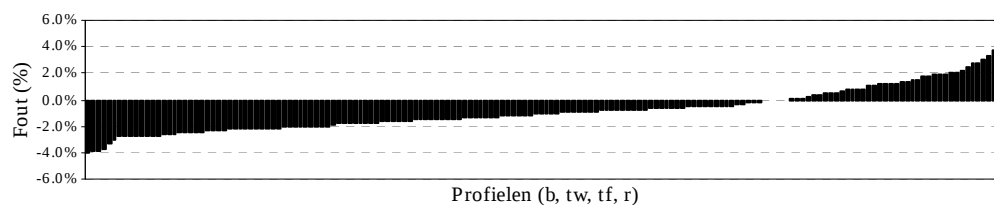
Figuur C.1. De distributie van de procentuele fout bij de werkelijke profielen.

Statistiek	Waarde
<i>Minimum</i>	-1,0%
<i>25,0-percentiel</i>	-0,3%
<i>Mediaan</i>	-0,2%
<i>Gemiddelde (m)</i>	-0,1%
<i>75,0-percentiel</i>	0,0%
<i>Maximum</i>	1,1%
<i>Standaardafwijking (s)</i>	0,3%
<i>Variatiecoëfficiënt (s/(1-m))</i>	0,003

Tabel C.1. Statistieken van de fout.

Afschuifstijfheid

Onderstaande figuur geeft de verdeling van de procentuele fout in de nieuwe ontwerpformule voor de afschuifstijfheid. Onderstaande tabel geeft enige statistische informatie. Slechts de werkelijk bestaande profielen zijn meegerekend. Uit de lage variatiecoëfficiënt blijkt dat de materiaalfactor in een probabilistisch onderzoek als constante 1 genomen mag worden.



Figuur C.2. De distributie van de procentuele fout bij de werkelijke profielen.

Statistiek	Waarde
<i>Minimum</i>	-4,0%
<i>25,0-percentiel</i>	-2,0%
<i>Mediaan</i>	-1,1%
<i>Gemiddelde (m)</i>	-0,8%
<i>75,0-percentiel</i>	-0,1%
<i>Maximum</i>	3,9%
<i>Standaardafwijking (s)</i>	1,6%
<i>Variatiecoëfficiënt (s/(1-m))</i>	0,016

Tabel C.2. Statistieken van de fout.

Bijlage D – Scripts

Bash-script

```
#!/bin/bash

set ANSYS_LOCK=OFF
set ANS_CONSEC=YES

LOD=2
u=""          #Bash doesn't always deal with underscores very well.
i=112

#Create data file.
echo "p#;h;b;tw;tf;r;uzmax;taumax;taumid;lod" > a_data.csv

#Create file with data from unprocessed jobs.
echo "p#;h;b;tw;tf;r" > a_noproc.csv

while [ $i -le 168 ]
do
    #Read the job parameters.
    read pn < <(printf "%03d\n" $i)
    read H < <(grep "p$pn" 0_gprofiles.csv | cut -d"h" -f2 | cut -d";" -f1)
    read B < <(grep "p$pn" 0_gprofiles.csv | cut -d"b" -f2 | cut -d";" -f1)
    read TW < <(grep "p$pn" 0_gprofiles.csv | cut -d"w" -f2 | cut -d";" -f1)
    read TF < <(grep "p$pn" 0_gprofiles.csv | cut -d"f" -f2 | cut -d";" -f1)
    read R < <(grep "p$pn" 0_gprofiles.csv | cut -d"r" -f2 | cut -d";" -f1)

    #Start.
    date
    jobname="p$pn${u}h$H${u}b$B${u}tw$TW${u}tf$TF${u}r$R"
    echo $jobname

    #Assemble the ANSYS input file.
    echo "/BATCH " > $jobname.inp
    echo "!ANSYS 10.0 Input File" >> $jobname.inp
    echo "/FILENAME,$jobname,0 " >> $jobname.inp
    echo "" >> $jobname.inp
    echo "!Dimensional input" >> $jobname.inp
    echo "SET,h,$H" >> $jobname.inp
    echo "SET,b,$B" >> $jobname.inp
    echo "SET,tw,$TW" >> $jobname.inp
    echo "SET,tf,$TF" >> $jobname.inp
    echo "SET,r,$R" >> $jobname.inp
    echo "" >> $jobname.inp
    echo "!Level of detail" >> $jobname.inp
    echo "SET,lod,$LOD" >> $jobname.inp
    echo "" >> $jobname.inp
    cat 0_basescript.txt >> $jobname.inp

    #Run ANSYS using the job's unique input file.
    /cygdrive/c/Program\ Files/Ansys\ Inc/v100/ANSYS/bin/intel/ansys.exe -p
    ansysuh -b -i $jobname.inp -o $jobname.out

    #Adjust level of detail for erroneous jobs.
    if [ ! -e $jobname.rst ] ; then
        echo "There was an error during calculation."
        let LOD=LOD-1
        if [ $LOD -lt 0 ] ; then
            echo " This job has not been processed."
            echo "p$pn;$H;$B;$TW;$TF;$R" >> a_noproc.csv
            let i=i+1
            let LOD=2
            continue
        fi
        echo " The level of detail was adjusted to $LOD."
        continue
    fi

    #Read the relevant results from the job's output file.
    read uz_max < <(grep UZ_MAX $jobname.out | cut -d"=" -f3)
    read taumax < <(grep TAUMAX $jobname.out | cut -d"=" -f3)
    read taumid < <(grep TAUMID $jobname.out | cut -d"=" -f3)

    #Write relevant results to data file.
    echo " uz_max = $uz_max"
    echo " taumax = $taumax"
    echo " taumid = $taumid"
    echo "p$pn;$H;$B;$TW;$TF;$R;$uz_max;$taumax;$taumid;$LOD" >> a_data.csv

    #Finish.
    echo "Calculations for $jobname are finished. (LoD = $LOD)"
    echo ""
    let LOD=2
    let i=i+1
done

exit 0
```

ANSYS-script

```
!End of UNIX\Bash input
!Start of basascript
*SET,1,3*h

!Magnitudes of Forces
*SET,fv,50
*SET,fh,fv*1/h

!Preprocess
/PREP7
ET,1,MESH200,7
ET,2,SOLID95
MPTEMP,,,,,,,,
MPTEMP,1,0
MPDATA,EX,1,,210000
MPDATA,PRXY,1,,.3

!Modeling
BLC4,0,0,b/2,h,0
CYL4,tw/2+r,tf+r,r,0,,360,0
CYL4,tw/2+r,h-tf-r,r,0,,360,0
BLC4,tw/2,tf+r,r,h-2*(tf+r),0
BLC4,tw/2+r,tf,b/2-r-tw/2,h-2*tf,0
FLST,3,4,5,ORDE,2
FITEM,3,2
FITEM,3,-5
ASBA,1,P51X

!Meshing
ESIZE,tf/(1+lod),0
SMRTSIZE,6
FLST,2,2,4,ORDE,2
FITEM,2,7
FITEM,2,10
LESIZE,P51X,tf/2,,,,,,,,
MSHAPE,0,2D
AMESH,6,,

!Extrusion
TYPE,2
EXTOPT,ESIZE,6
VOFFST,6,268/1000*1
EXTOPT,ESIZE,6
VOFFST,1,204/1000*1
EXTOPT,ESIZE,2
VOFFST,13,56/1000*1
EXTOPT,ESIZE,6
VOFFST,24,204/1000*1
EXTOPT,ESIZE,6
VOFFST,35,268/1000*1

!Symmetry
FLST,2,5,5,ORDE,5
FITEM,2,12
FITEM,2,23
FITEM,2,34
FITEM,2,45
FITEM,2,56
DA,P51X,SYMM

!Application of supports
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,21
FITEM,2,31
DK,P51X,,,0,UY,,,,,
DK,22,,,0,UZ,,,,,

!Application of forces
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,4
FITEM,2,60
FK,P51X,FZ,fh/2
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,3
FITEM,2,59
FK,P51X,FZ,fh
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,1
FITEM,2,51
FK,P51X,FZ,-fh/2
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,2
FITEM,2,52
FK,P51X,FZ,-fh
FLST,2,2,3,ORDE,2

FITEM,2,1
FITEM,2,4
FK,P51X,FY,-fv/2
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,2
FITEM,2,3
FK,P51X,FY,-fv
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,51
FITEM,2,60
FK,P51X,FY,fv/2
FLST,2,2,3,ORDE,2
FITEM,2,52
FITEM,2,59
FK,P51X,FY,fv
FINISH

!Solution
*GET,interactive,ACTIVE,0,INT
*IF,interactive,EQ,0,THEN
/SOLU
SOLVE
FINISH

/DELETE,,pvts
/DELETE,,bcs
/DELETE,,mntr
/DELETE,,esav
/DELETE,,full
*ENDIF

!Postprocess
/POST1
SET,FIRST
/GRAPHICS,POWER
/ESHAPE,1,1
/EFACET,2

!Image export
*IF,interactive,EQ,0,THEN
/SHOW,PNG
PNGR,COMP,ON,9
*ENDIF

/RGB,INDEX,100,100,100,0
/RGB,INDEX,80,80,80,13
/RGB,INDEX,60,60,60,14
/RGB,INDEX,0,0,0,15

!Selection of the central slice
ETABLE,slice,CENT,Z
ESEL,S,ETAB,slice,10/21*1,11/21*1,,

/VIEW,1,1,0,0
PLNSOL,U,Z,2,,
*GET,uz_max,plnsol,0,max

/VIEW,1,0,0,1
PLNSOL,S,EQV,0,,
*GET,taumax,plnsol,0,max

ETABLE,mid,CENT,Y
ESEL,R,ETAB,mid,4/10*h,6/10*h,,
/VIEW,1,1,0,0
PLNSOL,S,EQV,0,,
*GET,taumid,plnsol,0,max

/EOF
```

Bijlage E – Database

In de volgende tabellen zijn de gebruikte profielparameters en de uit het Eindige Elementen-programma volgende onderzoeksgegevens weergegeven.

p#	Profiel	Parameters					Meetwaarden		Waarden oude formules		Waarden nieuwe formules	
		h	b	t_w	t_f	r	σ_{VM}	GA_w	σ_{VM}	GA_w	σ_{VM}	GA_w
p001	IPE100A	98	55	3.6	4.7	7	1.684	2.89E+07	1.629	2.58E+07	1.685	2.86E+07
p002	IPE120A	117	64	3.8	5.1	7	1.330	3.61E+07	1.280	3.28E+07	1.330	3.56E+07
p003	IPE140A	137	73	3.8	5.6	7	1.128	4.22E+07	1.087	3.86E+07	1.127	4.17E+07
p004	IPE160A	157	82	4.0	5.9	9	0.933	5.14E+07	0.895	4.69E+07	0.932	5.13E+07
p005	IPE180A	177	91	4.3	6.5	9	0.769	6.19E+07	0.737	5.70E+07	0.768	6.16E+07
p006	IPE200A	197	100	4.7	7.0	12	0.632	7.63E+07	0.604	6.95E+07	0.631	7.69E+07
p007	IPE220A	217	110	5.0	7.7	12	0.538	8.90E+07	0.515	8.14E+07	0.538	8.93E+07
p008	IPE240A	237	120	5.2	8.3	15	0.473	1.02E+08	0.453	9.26E+07	0.472	1.04E+08
p009	IPE270A	267	135	5.5	8.7	15	0.396	1.21E+08	0.379	1.11E+08	0.395	1.23E+08
p010	IPE300A	297	150	6.1	9.2	15	0.321	1.47E+08	0.306	1.37E+08	0.321	1.48E+08
p011	IPE330A	327	160	6.5	10.0	18	0.274	1.75E+08	0.260	1.61E+08	0.274	1.78E+08
p012	IPE360A	357	170	6.6	11.5	18	0.246	1.94E+08	0.236	1.78E+08	0.246	1.98E+08
p013	IPE400A	397	180	7.0	12.0	21	0.209	2.31E+08	0.199	2.11E+08	0.209	2.37E+08
p014	IPE450A	447	190	7.6	13.1	21	0.172	2.81E+08	0.162	2.58E+08	0.171	2.87E+08
p015	IPE500A	497	200	8.4	14.5	21	0.140	3.45E+08	0.132	3.18E+08	0.140	3.49E+08
p016	IPE550A	547	210	9.0	15.7	24	0.119	4.09E+08	0.112	3.75E+08	0.119	4.17E+08
p017	IPE600A	597	220	9.8	17.5	24	0.100	4.86E+08	0.094	4.45E+08	0.100	4.91E+08
p018	IPE100	100	55	4.1	5.7	7	1.459	3.39E+07	1.430	2.93E+07	1.459	3.34E+07
p019	IPE120	120	64	4.4	6.3	7	1.127	4.32E+07	1.100	3.82E+07	1.127	4.25E+07
p020	IPE140	140	73	4.7	6.9	7	0.902	5.35E+07	0.876	4.79E+07	0.901	5.25E+07
p021	IPE160	160	82	5.0	7.4	9	0.740	6.56E+07	0.716	5.86E+07	0.739	6.48E+07
p022	IPE180	180	91	5.3	8.0	9	0.619	7.79E+07	0.598	7.02E+07	0.618	7.66E+07
p023	IPE200	200	100	5.6	8.5	12	0.526	9.26E+07	0.507	8.28E+07	0.526	9.22E+07
p024	IPE220	220	110	5.9	9.2	12	0.453	1.07E+08	0.437	9.61E+07	0.452	1.06E+08
p025	IPE240	240	120	6.2	9.8	15	0.395	1.24E+08	0.380	1.10E+08	0.394	1.24E+08
p026	IPE270	270	135	6.6	10.2	15	0.329	1.46E+08	0.315	1.33E+08	0.328	1.46E+08
p027	IPE300	300	150	7.1	10.7	15	0.275	1.74E+08	0.263	1.60E+08	0.274	1.73E+08
p028	IPE330	330	160	7.5	11.5	18	0.237	2.04E+08	0.226	1.86E+08	0.236	2.05E+08
p029	IPE360	360	170	8.0	12.7	18	0.203	2.37E+08	0.194	2.16E+08	0.203	2.37E+08
p030	IPE400	400	180	8.6	13.5	21	0.171	2.84E+08	0.162	2.59E+08	0.170	2.86E+08
p031	IPE450	450	190	9.4	14.6	21	0.139	3.49E+08	0.131	3.19E+08	0.139	3.49E+08
p032	IPE500	500	200	10.2	16.0	21	0.116	4.20E+08	0.109	3.86E+08	0.115	4.18E+08
p033	IPE550	550	210	11.1	17.2	24	0.097	5.05E+08	0.091	4.62E+08	0.097	5.05E+08
p034	IPE600	600	220	12.0	19.0	24	0.083	5.96E+08	0.077	5.45E+08	0.082	5.92E+08
p035	IPE180O	182	92	6	9	9	0.544	8.92E+07	0.528	7.95E+07	0.543	8.74E+07
p036	IPE200O	202	102	6.2	9.5	12	0.472	1.04E+08	0.458	9.16E+07	0.472	1.03E+08
p037	IPE220O	222	112	6.6	10.2	12	0.403	1.20E+08	0.391	1.07E+08	0.403	1.19E+08
p038	IPE240O	242	122	7	10.8	15	0.348	1.40E+08	0.337	1.25E+08	0.348	1.40E+08
p039	IPE270O	274	136	7.5	12.2	15	0.286	1.70E+08	0.278	1.51E+08	0.286	1.68E+08
p040	IPE300O	304	152	8	12.7	15	0.242	1.99E+08	0.233	1.80E+08	0.241	1.97E+08
p041	IPE330O	334	162	8.5	13.5	18	0.207	2.34E+08	0.199	2.11E+08	0.207	2.33E+08
p042	IPE360O	364	172	9.2	14.7	18	0.176	2.75E+08	0.169	2.49E+08	0.175	2.73E+08
p043	IPE400O	404	182	9.7	15.5	21	0.150	3.24E+08	0.144	2.92E+08	0.150	3.24E+08
p044	IPE450O	456	192	11	17.6	21	0.118	4.15E+08	0.112	3.74E+08	0.118	4.11E+08
p045	IPE500O	506	202	12	19	21	0.098	5.01E+08	0.093	4.54E+08	0.097	4.94E+08
p046	IPE550O	556	212	12.7	20.2	24	0.084	5.86E+08	0.079	5.29E+08	0.084	5.80E+08
p047	IPE600O	610	224	15	24	24	0.065	7.59E+08	0.062	6.81E+08	0.065	7.46E+08
p048	IPE140R	142	72	5.3	7.8	7	0.794	6.15E+07	0.776	5.41E+07	0.793	6.02E+07
p049	IPE160R	162	81	5.6	8.5	9	0.657	7.49E+07	0.640	6.56E+07	0.656	7.36E+07
p050	IPE180R	183	89	6.4	9.5	9	0.510	9.61E+07	0.495	8.48E+07	0.509	9.41E+07
p051	IPE200R	204	98	6.6	10.5	12	0.442	1.12E+08	0.430	9.76E+07	0.441	1.11E+08
p052	IPE220R	225	108	6.7	11.8	12	0.392	1.26E+08	0.385	1.09E+08	0.392	1.24E+08
p053	IPE240R	245	118	7.5	12.3	15	0.323	1.54E+08	0.314	1.34E+08	0.322	1.53E+08
p054	IPE270R	276	133	7.7	13.1	15	0.278	1.77E+08	0.270	1.55E+08	0.277	1.75E+08
p055	IPE300R	306	147	8.5	13.7	15	0.227	2.14E+08	0.219	1.91E+08	0.227	2.11E+08
p056	IPE330R	336	158	9.2	14.5	18	0.191	2.56E+08	0.184	2.28E+08	0.191	2.53E+08
p057	IPE360R	366	168	9.9	16	18	0.163	2.99E+08	0.157	2.67E+08	0.163	2.96E+08
p058	IPE400R	407	178	10.6	17	21	0.137	3.58E+08	0.131	3.19E+08	0.137	3.56E+08
p059	IPE450R	458	188	11.3	18.6	21	0.115	4.30E+08	0.109	3.84E+08	0.114	4.25E+08
p060	IPE500R	508	198	12.6	20	21	0.093	5.30E+08	0.088	4.76E+08	0.093	5.21E+08
p061	IPE550R	560	210	14	22.2	24	0.076	6.52E+08	0.072	5.83E+08	0.076	6.43E+08
p062	IPE600R	608	218	14	23	24	0.070	7.08E+08	0.066	6.35E+08	0.070	6.98E+08
p063	IPE400V	408	182	10.6	17.5	21	0.137	3.59E+08	0.131	3.19E+08	0.136	3.57E+08
p064	IPE450V	460	194	12.4	19.6	21	0.104	4.72E+08	0.100	4.21E+08	0.104	4.65E+08
p065	IPE500V	514	204	14.2	23	21	0.082	6.05E+08	0.078	5.37E+08	0.082	5.93E+08
p066	IPE550V	566	216	17.1	25.2	24	0.062	8.03E+08	0.059	7.12E+08	0.062	7.85E+08
p067	IPE600V	618	228	18	28	24	0.054	9.24E+08	0.051	8.17E+08	0.054	9.02E+08
p068	IPE750x137	753	263	11.5	17.0	17	0.069	7.03E+08	0.063	6.68E+08	0.068	6.81E+08
p069	IPE750x147	753	265	13.2	17.0	17	0.061	8.03E+08	0.055	7.67E+08	0.060	7.73E+08
p070	IPE750x161	758	266	13.8	19.3	17	0.057	8.48E+08	0.052	8.02E+08	0.057	8.15E+08
p071	IPE750x174	762	267	14.4	21.6	17	0.055	8.93E+08	0.050	8.36E+08	0.054	8.57E+08
p072	IPE750x185	766	267	14.9	23.6	17	0.052	9.31E+08	0.049	8.65E+08	0.052	8.94E+08
p073	HE100AA	91	100	4.2	5.5	12	1.534	2.98E+07	1.546	2.71E+07	1.539	2.97E+07
p074	HE120AA	109	120	4.2	5.5	12	1.266	3.45E+07	1.262	3.32E+07	1.272	3.49E+07
p075	HE140AA	128	140	4.3	6	12	1.047	4.11E+07	1.042	4.03E+07	1.049	4.16E+07
p076	HE160AA	148	160	4.5	7	15	0.863	5.16E+07	0.862	4.87E+07	0.862	5.23E+07
p077	HE180AA	167	180	5	7.5	15	0.687	6.32E+07	0.684	6.14E+07	0.687	6.40E+07
p078	HE200AA	186	200	5.5	8	18	0.560	7.78E+07	0.556	7.55E+07	0.561	7.96E+07

Schuifspanning en afschuifstijfheid in stalen I-profielen || December 2007

p#	Profiel	Parameters					Meetwaarden		Waarden oude formules		Waarden nieuwe formules	
		h	b	t_w	t_f	r	σ_{VM}	GA_w	σ_{VM}	GA_w	σ_{VM}	GA_w
p079	HE220AA	205	220	6	8.5	18	0.465	9.20E+07	0.461	9.11E+07	0.467	9.38E+07
p080	HE240AA	224	240	6.5	9	21	0.392	1.09E+08	0.388	1.08E+08	0.394	1.12E+08
p081	HE260AA	244	260	6.5	9.5	24	0.359	1.21E+08	0.355	1.18E+08	0.360	1.26E+08
p082	HE280AA	264	280	7	10	24	0.308	1.40E+08	0.304	1.38E+08	0.309	1.44E+08
p083	HE300AA	283	300	7.5	10.5	27	0.268	1.61E+08	0.264	1.59E+08	0.269	1.67E+08
p084	HE320AA	301	300	8	11	27	0.236	1.84E+08	0.233	1.80E+08	0.238	1.90E+08
p085	HE340AA	320	300	8.5	11.5	27	0.209	2.09E+08	0.206	2.04E+08	0.211	2.14E+08
p086	HE360AA	339	300	9	12	27	0.187	2.36E+08	0.183	2.29E+08	0.189	2.40E+08
p087	HE400AA	378	300	9.5	13	27	0.159	2.81E+08	0.155	2.70E+08	0.160	2.85E+08
p088	HE450AA	425	300	10	13.5	27	0.135	3.35E+08	0.131	3.21E+08	0.136	3.39E+08
p089	HE500AA	472	300	10.5	14	27	0.116	3.93E+08	0.111	3.77E+08	0.117	3.97E+08
p090	HE550AA	522	300	11.5	15	27	0.097	4.77E+08	0.092	4.57E+08	0.097	4.80E+08
p091	HE600AA	571	300	12	15.5	27	0.085	5.47E+08	0.080	5.23E+08	0.085	5.48E+08
p092	HE650AA	620	300	12.5	16	27	0.076	6.21E+08	0.071	5.94E+08	0.076	6.21E+08
p093	HE700AA	670	300	13	17	27	0.068	7.02E+08	0.063	6.68E+08	0.067	6.99E+08
p094	HE800AA	770	300	14	18	30	0.055	8.78E+08	0.051	8.30E+08	0.055	8.76E+08
p095	HE900AA	870	300	15	20	30	0.046	1.07E+09	0.042	1.01E+09	0.046	1.06E+09
p096	HE1000AA	970	300	16	21	30	0.039	1.28E+09	0.035	1.20E+09	0.039	1.26E+09
p097	HE100A	96	100	5.0	8.0	12	1.249	3.93E+07	1.299	3.23E+07	1.242	3.82E+07
p098	HE120A	114	120	5.0	8.0	12	1.036	4.51E+07	1.060	3.96E+07	1.031	4.42E+07
p099	HE140A	133	140	5.5	8.5	12	0.802	5.62E+07	0.814	5.15E+07	0.799	5.54E+07
p100	HE160A	152	160	6.0	9.0	15	0.640	7.05E+07	0.646	6.49E+07	0.639	6.99E+07
p101	HE180A	171	180	6.0	9.5	15	0.566	7.88E+07	0.570	7.37E+07	0.564	7.81E+07
p102	HE200A	190	200	6.5	10.0	18	0.468	9.53E+07	0.470	8.93E+07	0.468	9.52E+07
p103	HE220A	210	220	7.0	11.0	18	0.393	1.12E+08	0.395	1.06E+08	0.393	1.12E+08
p104	HE240A	230	240	7.5	12.0	21	0.335	1.34E+08	0.336	1.25E+08	0.334	1.33E+08
p105	HE260A	250	260	7.5	12.5	24	0.307	1.47E+08	0.308	1.36E+08	0.306	1.48E+08
p106	HE280A	270	280	8.0	13.0	24	0.266	1.67E+08	0.266	1.58E+08	0.266	1.68E+08
p107	HE300A	290	300	8.5	14.0	27	0.233	1.93E+08	0.233	1.80E+08	0.233	1.94E+08
p108	HE320A	310	300	9.0	15.5	27	0.206	2.22E+08	0.207	2.03E+08	0.206	2.21E+08
p109	HE340A	330	300	9.5	16.5	27	0.183	2.51E+08	0.184	2.28E+08	0.183	2.50E+08
p110	HE360A	350	300	10.0	17.5	27	0.164	2.81E+08	0.165	2.54E+08	0.164	2.79E+08
p111	HE400A	390	300	11.0	19.0	27	0.134	3.46E+08	0.134	3.13E+08	0.135	3.43E+08
p112	HE450A	440	300	11.5	21.0	27	0.114	4.12E+08	0.114	3.70E+08	0.114	4.09E+08
p113	HE500A	490	300	12.0	23.0	27	0.098	4.83E+08	0.098	4.30E+08	0.098	4.79E+08
p114	HE550A	540	300	12.5	24.0	27	0.086	5.55E+08	0.084	4.97E+08	0.086	5.51E+08
p115	HE600A	590	300	13.0	25.0	27	0.076	6.32E+08	0.074	5.67E+08	0.076	6.27E+08
p116	HE650A	640	300	13.5	26.0	27	0.067	7.12E+08	0.065	6.41E+08	0.067	7.07E+08
p117	HE700A	690	300	14.5	27.0	27	0.059	8.25E+08	0.056	7.45E+08	0.058	8.16E+08
p118	HE800A	790	300	15.0	28.0	30	0.050	9.84E+08	0.047	8.89E+08	0.050	9.79E+08
p119	HE900A	890	300	16.0	30.0	30	0.042	1.18E+09	0.039	1.07E+09	0.042	1.17E+09
p120	HE1000A	990	300	16.5	31.0	30	0.036	1.36E+09	0.034	1.24E+09	0.036	1.35E+09
p121	HE100B	100	100	6.0	10.0	12	1.017	5.00E+07	1.083	3.88E+07	1.010	4.83E+07
p122	HE120B	120	120	6.5	11.0	12	0.774	6.31E+07	0.816	5.15E+07	0.769	6.13E+07
p123	HE140B	140	140	7.0	12.0	12	0.612	7.77E+07	0.640	6.56E+07	0.608	7.56E+07
p124	HE160B	160	160	8.0	13.0	15	0.466	1.02E+08	0.485	8.66E+07	0.465	9.91E+07
p125	HE180B	180	180	8.5	14.0	15	0.389	1.20E+08	0.402	1.04E+08	0.387	1.17E+08
p126	HE200B	200	200	9.0	15.0	18	0.329	1.42E+08	0.340	1.24E+08	0.328	1.39E+08
p127	HE220B	220	220	9.5	16.0	18	0.283	1.64E+08	0.291	1.44E+08	0.281	1.60E+08
p128	HE240B	240	240	10.0	17.0	21	0.245	1.90E+08	0.252	1.66E+08	0.244	1.85E+08
p129	HE260B	260	260	10.0	17.5	24	0.225	2.08E+08	0.231	1.82E+08	0.224	2.03E+08
p130	HE280B	280	280	10.5	18.0	24	0.199	2.32E+08	0.203	2.07E+08	0.198	2.27E+08
p131	HE300B	300	300	11.0	19.0	27	0.177	2.62E+08	0.180	2.33E+08	0.176	2.57E+08
p132	HE320B	320	300	11.5	20.5	27	0.158	2.95E+08	0.162	2.59E+08	0.158	2.89E+08
p133	HE340B	340	300	12.0	21.5	27	0.143	3.29E+08	0.146	2.88E+08	0.143	3.22E+08
p134	HE360B	360	300	12.5	22.5	27	0.129	3.65E+08	0.132	3.18E+08	0.129	3.57E+08
p135	HE400B	400	300	13.5	24.0	27	0.108	4.39E+08	0.109	3.84E+08	0.108	4.30E+08
p136	HE450B	450	300	14.0	26.0	27	0.092	5.17E+08	0.093	4.50E+08	0.093	5.07E+08
p137	HE500B	500	300	14.5	28.0	27	0.080	5.98E+08	0.081	5.20E+08	0.081	5.88E+08
p138	HE550B	550	300	15.0	29.0	27	0.071	6.81E+08	0.070	5.96E+08	0.071	6.71E+08
p139	HE600B	600	300	15.5	30.0	27	0.063	7.69E+08	0.062	6.76E+08	0.063	7.58E+08
p140	HE650B	650	300	16.0	31.0	27	0.056	8.61E+08	0.055	7.60E+08	0.056	8.48E+08
p141	HE700B	700	300	17.0	32.0	27	0.050	9.85E+08	0.048	8.73E+08	0.049	9.68E+08
p142	HE800B	800	300	17.5	33.0	30	0.042	1.17E+09	0.040	1.04E+09	0.042	1.15E+09
p143	HE900B	900	300	18.5	35.0	30	0.036	1.39E+09	0.034	1.24E+09	0.036	1.37E+09
p144	HE1000B	1000	300	19.0	36.0	30	0.032	1.59E+09	0.029	1.42E+09	0.031	1.56E+09
p145	HE100M	120	106	12.0	20.0	12	0.454	1.26E+08	0.541	7.75E+07	0.456	1.24E+08
p146	HE120M	140	126	12.5	21.0	12	0.367	1.47E+08	0.424	9.89E+07	0.368	1.46E+08
p147	HE140M	160	146	13.0	22.0	12	0.305	1.71E+08	0.345	1.22E+08	0.305	1.69E+08
p148	HE160M	180	166	14.0	23.0	15	0.249	2.06E+08	0.277	1.52E+08	0.249	2.03E+08
p149	HE180M	200	186	14.5	24.0	15	0.215	2.34E+08	0.236	1.78E+08	0.214	2.30E+08
p150	HE200M	220	206	15.0	25.0	18	0.187	2.67E+08	0.204	2.06E+08	0.187	2.61E+08
p151	HE220M	240	226	15.5	26.0	18	0.165	2.98E+08	0.178	2.35E+08	0.165	2.91E+08
p152	HE240M	270	248	18.0	32.0	21	0.128	3.98E+08	0.140	2.99E+08	0.127	3.89E+08
p153	HE260M	290	268	18.0	32.5	24	0.118	4.29E+08	0.128	3.27E+08	0.117	4.18E+08
p154	HE280M	310	288	18.5	33.0	24	0.107	4.65E+08	0.115	3.65E+08	0.106	4.53E+08
p155	HE300M	340	310	21.0	39.0	27	0.086	5.90E+08	0.094	4.44E+08	0.086	5.74E+08
p156	HE320M	359	309	21.0	40.0	27	0.081	6.28E+08	0.089	4.73E+08	0.081	6.10E+08
p157	HE340M	377	309	21.0	40.0	27	0.077	6.60E+08	0.083	5.04E+08	0.077	6.41E+08
p158	HE360M	395	308	21.0	40.0	27	0.073	6.92E+08	0.079	5.34E+08	0.073	6.73E+08
p159	HE400M	432	307	21.0	40.0	27	0.066	7.57E+08	0.070	5.97E+08	0.067	7.38E+08
p160	HE450M	478	307	21.0	40.0	27	0.060	8.37E+08	0.062	6.75E+08	0.060	8.17E+08
p161	HE500M	524	306	21.0	40.0	27	0.054	9.17E+08	0.056	7.53E+08	0.054	8.96E+08
p162	HE550M	572	306	21.0	40.0	27	0.050	1.00E+09	0.050	8.35E+08	0.050	9.78E+08
p163	HE600M	620	305	21.0	40.0	27	0.046	1.08E+09	0.046	9.16E+08	0.046	1.06E+09
p164	HE650M	668	305	21.0	40.0	27	0.042	1.17E+09	0.042	9.97E+08	0.042	1.14E+09
p165	HE700M	716	304	21.0	40.0	27	0.040	1.25E+09	0.039	1.08E+09	0.040	1.22E+09
p166	HE800M	814	303	21.0	40.0	30	0.035	1.43E+09	0.034	1.24E+09	0.035	1.40E+09
p167	HE900M	910	302	21.0	40.0	30	0.031	1.60E+09	0.030	1.41E+09	0.031	1.57E+09
p168	HE1000M	1008	302	21.0	40.0	30	0.028	1.77E+09	0.027	1.57E+09	0.028	1.73E+09

Schuifspanning en afschuifstijfheid in stalen I-profielen || December 2007

p#	Profiel	Parameters					Meetwaarden		Waarden oude formules		Waarden nieuwe formules	
		h	b	t_w	t_f	r	σ_{VM}	GA_w	σ_{VM}	GA_w	σ_{VM}	GA_w
p169	Gegenereerd	100	25	2	3	2	3.088	1.66E+07	2.764	1.52E+07	3.060	1.58E+07
p170	Gegenereerd	100	25	2	3	4	3.077	1.69E+07	2.764	1.52E+07	3.060	1.68E+07
p171	Gegenereerd	100	25	2	3	6	3.064	1.73E+07	2.764	1.52E+07	3.060	1.78E+07
p172	Gegenereerd	100	25	2	3	8	3.052	1.76E+07	2.764	1.52E+07	3.060	1.87E+07
p173	Gegenereerd	100	25	2	5	2	3.015	1.69E+07	2.887	1.45E+07	3.052	1.64E+07
p174	Gegenereerd	100	25	2	5	4	3.014	1.73E+07	2.887	1.45E+07	3.052	1.74E+07
p175	Gegenereerd	100	25	2	5	6	3.013	1.76E+07	2.887	1.45E+07	3.052	1.84E+07
p176	Gegenereerd	100	25	2	5	8	3.015	1.81E+07	2.887	1.45E+07	3.052	1.94E+07
p177	Gegenereerd	100	25	4	5	2	1.606	1.66E+07	1.443	2.91E+07	1.580	3.19E+07
p178	Gegenereerd	100	25	4	5	4	1.603	1.69E+07	1.443	2.91E+07	1.580	3.29E+07
p179	Gegenereerd	100	25	4	5	6	1.600	1.73E+07	1.443	2.91E+07	1.580	3.39E+07
p180	Gegenereerd	100	25	4	5	8	1.596	1.76E+07	1.443	2.91E+07	1.580	3.49E+07
p181	Gegenereerd	100	25	4	7	2	1.585	1.69E+07	1.511	2.78E+07	1.583	3.31E+07
p182	Gegenereerd	100	25	4	7	4	1.585	1.73E+07	1.511	2.78E+07	1.583	3.41E+07
p183	Gegenereerd	100	25	4	7	6	1.584	1.76E+07	1.511	2.78E+07	1.583	3.51E+07
p184	Gegenereerd	100	25	4	7	8	1.585	1.81E+07	1.511	2.78E+07	1.583	3.61E+07
p185	Gegenereerd	100	25	4	9	2	1.581	3.36E+07	1.584	2.65E+07	1.599	3.42E+07
p186	Gegenereerd	100	25	4	9	4	1.581	3.41E+07	1.584	2.65E+07	1.599	3.53E+07
p187	Gegenereerd	100	25	4	9	6	1.583	3.47E+07	1.584	2.65E+07	1.599	3.63E+07
p188	Gegenereerd	100	25	4	9	8	1.586	3.53E+07	1.584	2.65E+07	1.599	3.74E+07
p189	Gegenereerd	100	25	6	7	2	1.102	3.42E+07	1.007	4.17E+07	1.082	4.91E+07
p190	Gegenereerd	100	25	6	7	4	1.100	3.47E+07	1.007	4.17E+07	1.082	5.01E+07
p191	Gegenereerd	100	25	6	7	6	1.099	3.54E+07	1.007	4.17E+07	1.082	5.11E+07
p192	Gegenereerd	100	25	6	7	8	1.098	3.61E+07	1.007	4.17E+07	1.082	5.22E+07
p193	Gegenereerd	100	25	6	9	2	1.094	3.48E+07	1.056	3.97E+07	1.087	5.08E+07
p194	Gegenereerd	100	25	6	9	4	1.094	3.54E+07	1.056	3.97E+07	1.087	5.19E+07
p195	Gegenereerd	100	25	6	9	6	1.094	3.62E+07	1.056	3.97E+07	1.087	5.29E+07
p196	Gegenereerd	100	25	6	9	8	1.095	3.69E+07	1.056	3.97E+07	1.087	5.40E+07
p197	Gegenereerd	100	25	6	11	2	1.094	5.12E+07	1.110	3.78E+07	1.100	5.25E+07
p198	Gegenereerd	100	25	6	11	4	1.094	5.19E+07	1.110	3.78E+07	1.100	5.36E+07
p199	Gegenereerd	100	25	6	11	6	1.095	5.26E+07	1.110	3.78E+07	1.100	5.47E+07
p200	Gegenereerd	100	25	6	11	8	1.098	5.34E+07	1.110	3.78E+07	1.100	5.58E+07
p201	Gegenereerd	100	25	6	13	2	1.097	5.20E+07	1.170	3.59E+07	1.117	5.43E+07
p202	Gegenereerd	100	25	6	13	4	1.099	5.27E+07	1.170	3.59E+07	1.117	5.54E+07
p203	Gegenereerd	100	25	6	13	6	1.101	5.36E+07	1.170	3.59E+07	1.117	5.65E+07
p204	Gegenereerd	100	25	6	13	8	1.103	5.45E+07	1.170	3.59E+07	1.117	5.76E+07
p205	Gegenereerd	100	25	8	9	2	0.847	5.30E+07	0.792	5.30E+07	0.831	6.74E+07
p206	Gegenereerd	100	25	8	9	4	0.846	5.38E+07	0.792	5.30E+07	0.831	6.85E+07
p207	Gegenereerd	100	25	8	9	6	0.846	5.47E+07	0.792	5.30E+07	0.831	6.95E+07
p208	Gegenereerd	100	25	8	9	8	0.846	5.58E+07	0.792	5.30E+07	0.831	7.06E+07
p209	Gegenereerd	100	25	8	11	2	0.844	5.41E+07	0.833	5.04E+07	0.838	6.97E+07
p210	Gegenereerd	100	25	8	11	4	0.845	5.50E+07	0.833	5.04E+07	0.838	7.08E+07
p211	Gegenereerd	100	25	8	11	6	0.845	5.60E+07	0.833	5.04E+07	0.838	7.19E+07
p212	Gegenereerd	100	25	8	11	8	0.846	5.72E+07	0.833	5.04E+07	0.838	7.30E+07
p213	Gegenereerd	100	25	8	13	2	0.845	6.93E+07	0.878	4.78E+07	0.849	7.20E+07
p214	Gegenereerd	100	25	8	13	4	0.846	7.01E+07	0.878	4.78E+07	0.849	7.31E+07
p215	Gegenereerd	100	25	8	13	6	0.847	7.11E+07	0.878	4.78E+07	0.849	7.42E+07
p216	Gegenereerd	100	25	8	13	8	0.849	7.21E+07	0.878	4.78E+07	0.849	7.54E+07
p217	Gegenereerd	100	25	8	15	2	0.849	7.04E+07	0.928	4.52E+07	0.863	7.42E+07
p218	Gegenereerd	100	25	8	15	4	0.850	7.13E+07	0.928	4.52E+07	0.863	7.54E+07
p219	Gegenereerd	100	25	8	15	6	0.851	7.24E+07	0.928	4.52E+07	0.863	7.66E+07
p220	Gegenereerd	100	25	8	15	8	0.854	7.35E+07	0.928	4.52E+07	0.863	7.77E+07
p221	Gegenereerd	100	25	8	17	2	0.854	7.16E+07	0.984	4.26E+07	0.879	7.65E+07
p222	Gegenereerd	100	25	8	17	4	0.856	7.28E+07	0.984	4.26E+07	0.879	7.77E+07
p223	Gegenereerd	100	25	8	17	6	0.857	7.38E+07	0.984	4.26E+07	0.879	7.89E+07
p224	Gegenereerd	100	25	8	17	8	0.860	7.51E+07	0.984	4.26E+07	0.879	8.01E+07
p225	Gegenereerd	100	50	2	3	2	2.914	7.31E+07	2.764	1.52E+07	2.907	1.50E+07
p226	Gegenereerd	100	50	2	3	4	2.912	7.43E+07	2.764	1.52E+07	2.907	1.59E+07
p227	Gegenereerd	100	50	2	3	6	2.911	7.55E+07	2.764	1.52E+07	2.907	1.69E+07
p228	Gegenereerd	100	50	2	3	8	2.911	7.69E+07	2.764	1.52E+07	2.907	1.78E+07
p229	Gegenereerd	100	50	2	5	2	2.886	7.49E+07	2.887	1.45E+07	2.895	1.56E+07
p230	Gegenereerd	100	50	2	5	4	2.887	7.60E+07	2.887	1.45E+07	2.895	1.65E+07
p231	Gegenereerd	100	50	2	5	6	2.890	7.74E+07	2.887	1.45E+07	2.895	1.75E+07
p232	Gegenereerd	100	50	2	5	8	2.895	7.90E+07	2.887	1.45E+07	2.895	1.85E+07
p233	Gegenereerd	100	50	4	5	2	1.506	1.57E+07	1.443	2.91E+07	1.502	3.01E+07
p234	Gegenereerd	100	50	4	5	4	1.506	1.61E+07	1.443	2.91E+07	1.502	3.11E+07
p235	Gegenereerd	100	50	4	5	6	1.506	1.65E+07	1.443	2.91E+07	1.502	3.21E+07
p236	Gegenereerd	100	50	4	5	8	1.507	1.69E+07	1.443	2.91E+07	1.502	3.31E+07
p237	Gegenereerd	100	50	4	7	2	1.500	1.63E+07	1.511	2.78E+07	1.503	3.12E+07
p238	Gegenereerd	100	50	4	7	4	1.501	1.67E+07	1.511	2.78E+07	1.503	3.22E+07
p239	Gegenereerd	100	50	4	7	6	1.502	1.71E+07	1.511	2.78E+07	1.503	3.33E+07
p240	Gegenereerd	100	50	4	7	8	1.504	1.76E+07	1.511	2.78E+07	1.503	3.43E+07
p241	Gegenereerd	100	50	4	9	2	1.508	3.15E+07	1.584	2.65E+07	1.518	3.23E+07
p242	Gegenereerd	100	50	4	9	4	1.509	3.20E+07	1.584	2.65E+07	1.518	3.34E+07
p243	Gegenereerd	100	50	4	9	6	1.511	3.27E+07	1.584	2.65E+07	1.518	3.44E+07
p244	Gegenereerd	100	50	4	9	8	1.514	3.35E+07	1.584	2.65E+07	1.518	3.55E+07
p245	Gegenereerd	100	50	6	7	2	1.030	3.25E+07	1.007	4.17E+07	1.028	4.63E+07
p246	Gegenereerd	100	50	6	7	4	1.030	3.31E+07	1.007	4.17E+07	1.028	4.73E+07
p247	Gegenereerd	100	50	6	7	6	1.030	3.38E+07	1.007	4.17E+07	1.028	4.84E+07
p248	Gegenereerd	100	50	6	7	8	1.031	3.46E+07	1.007	4.17E+07	1.028	4.94E+07
p249	Gegenereerd	100	50	6	9	2	1.030	3.34E+07	1.056	3.97E+07	1.033	4.80E+07
p250	Gegenereerd	100	50	6	9	4	1.031	3.41E+07	1.056	3.97E+07	1.033	4.90E+07
p251	Gegenereerd	100	50	6	9	6	1.031	3.49E+07	1.056	3.97E+07	1.033	5.01E+07
p252	Gegenereerd	100	50	6	9	8	1.033	3.57E+07	1.056	3.97E+07	1.033	5.11E+07
p253	Gegenereerd	100	50	6	11	2	1.037	4.76E+07	1.110	3.78E+07	1.044	4.96E+07
p254	Gegenereerd	100	50	6	11	4	1.037	4.84E+07	1.110	3.78E+07	1.044	5.07E+07
p255	Gegenereerd	100	50	6	11	6	1.038	4.93E+07	1.110	3.78E+07	1.044	5.18E+07
p256	Gegenereerd	100	50	6	11	8	1.040	5.04E+07	1.110	3.78E+07	1.044	5.29E+07
p257	Gegenereerd	100	50	6	13	2	1.047	4.90E+07	1.170	3.59E+07	1.060	5.12E+07
p258	Gegenereerd	100	50	6	13	4	1.048	4.98E+07	1.170	3.59E+07	1.060	5.23E+07

Schuifspanning en afschuifstijfheid in stalen I-profielen || December 2007

p#	Profiel	Parameters					Meetwaarden		Waarden oude formules		Waarden nieuwe formules	
		h	b	t_w	t_f	r	σ_{VM}	GA_w	σ_{VM}	GA_w	σ_{VM}	GA_w
p259	Gegenereerd	100	50	6	13	6	1.049	5.08E+07	1.170	3.59E+07	1.060	5.35E+07
p260	Gegenereerd	100	50	6	13	8	1.051	5.19E+07	1.170	3.59E+07	1.060	5.46E+07
p261	Gegenereerd	100	50	8	9	2	0.790	5.04E+07	0.792	5.30E+07	0.791	6.36E+07
p262	Gegenereerd	100	50	8	9	4	0.790	5.12E+07	0.792	5.30E+07	0.791	6.46E+07
p263	Gegenereerd	100	50	8	9	6	0.790	5.23E+07	0.792	5.30E+07	0.791	6.57E+07
p264	Gegenereerd	100	50	8	9	8	0.791	5.35E+07	0.792	5.30E+07	0.791	6.68E+07
p265	Gegenereerd	100	50	8	11	2	0.792	5.18E+07	0.833	5.04E+07	0.797	6.57E+07
p266	Gegenereerd	100	50	8	11	4	0.793	5.29E+07	0.833	5.04E+07	0.797	6.68E+07
p267	Gegenereerd	100	50	8	11	6	0.793	5.40E+07	0.833	5.04E+07	0.797	6.79E+07
p268	Gegenereerd	100	50	8	11	8	0.795	5.53E+07	0.833	5.04E+07	0.797	6.90E+07
p269	Gegenereerd	100	50	8	13	2	0.798	6.43E+07	0.878	4.78E+07	0.806	6.79E+07
p270	Gegenereerd	100	50	8	13	4	0.799	6.52E+07	0.878	4.78E+07	0.806	6.90E+07
p271	Gegenereerd	100	50	8	13	6	0.800	6.64E+07	0.878	4.78E+07	0.806	7.02E+07
p272	Gegenereerd	100	50	8	13	8	0.801	6.77E+07	0.878	4.78E+07	0.806	7.13E+07
p273	Gegenereerd	100	50	8	15	2	0.807	6.60E+07	0.928	4.52E+07	0.819	7.00E+07
p274	Gegenereerd	100	50	8	15	4	0.807	6.70E+07	0.928	4.52E+07	0.819	7.12E+07
p275	Gegenereerd	100	50	8	15	6	0.808	6.83E+07	0.928	4.52E+07	0.819	7.24E+07
p276	Gegenereerd	100	50	8	15	8	0.810	6.97E+07	0.928	4.52E+07	0.819	7.35E+07
p277	Gegenereerd	100	50	8	17	2	0.817	6.79E+07	0.984	4.26E+07	0.834	7.22E+07
p278	Gegenereerd	100	50	8	17	4	0.817	6.91E+07	0.984	4.26E+07	0.834	7.34E+07
p279	Gegenereerd	100	50	8	17	6	0.819	7.03E+07	0.984	4.26E+07	0.834	7.46E+07
p280	Gegenereerd	100	50	8	17	8	0.820	7.19E+07	0.984	4.26E+07	0.834	7.58E+07
p281	Gegenereerd	100	75	2	3	2	2.843	6.99E+07	2.764	1.52E+07	2.856	1.41E+07
p282	Gegenereerd	100	75	2	3	4	2.839	7.11E+07	2.764	1.52E+07	2.856	1.51E+07
p283	Gegenereerd	100	75	2	3	6	2.837	7.25E+07	2.764	1.52E+07	2.856	1.60E+07
p284	Gegenereerd	100	75	2	3	8	2.837	7.43E+07	2.764	1.52E+07	2.856	1.70E+07
p285	Gegenereerd	100	75	2	5	2	2.844	7.19E+07	2.887	1.45E+07	2.843	1.47E+07
p286	Gegenereerd	100	75	2	5	4	2.843	7.33E+07	2.887	1.45E+07	2.843	1.57E+07
p287	Gegenereerd	100	75	2	5	6	2.844	7.49E+07	2.887	1.45E+07	2.843	1.66E+07
p288	Gegenereerd	100	75	2	5	8	2.846	7.68E+07	2.887	1.45E+07	2.843	1.76E+07
p289	Gegenereerd	100	75	4	5	2	1.465	1.50E+07	1.443	2.91E+07	1.476	2.84E+07
p290	Gegenereerd	100	75	4	5	4	1.464	1.53E+07	1.443	2.91E+07	1.476	2.93E+07
p291	Gegenereerd	100	75	4	5	6	1.463	1.57E+07	1.443	2.91E+07	1.476	3.03E+07
p292	Gegenereerd	100	75	4	5	8	1.463	1.62E+07	1.443	2.91E+07	1.476	3.13E+07
p293	Gegenereerd	100	75	4	7	2	1.471	1.58E+07	1.511	2.78E+07	1.476	2.94E+07
p294	Gegenereerd	100	75	4	7	4	1.471	1.62E+07	1.511	2.78E+07	1.476	3.04E+07
p295	Gegenereerd	100	75	4	7	6	1.471	1.66E+07	1.511	2.78E+07	1.476	3.14E+07
p296	Gegenereerd	100	75	4	7	8	1.472	1.71E+07	1.511	2.78E+07	1.476	3.25E+07
p297	Gegenereerd	100	75	4	9	2	1.488	2.97E+07	1.584	2.65E+07	1.490	3.04E+07
p298	Gegenereerd	100	75	4	9	4	1.488	3.02E+07	1.584	2.65E+07	1.490	3.15E+07
p299	Gegenereerd	100	75	4	9	6	1.488	3.09E+07	1.584	2.65E+07	1.490	3.25E+07
p300	Gegenereerd	100	75	4	9	8	1.490	3.17E+07	1.584	2.65E+07	1.490	3.36E+07
p301	Gegenereerd	100	75	6	7	2	1.001	3.10E+07	1.007	4.17E+07	1.011	4.36E+07
p302	Gegenereerd	100	75	6	7	4	1.000	3.16E+07	1.007	4.17E+07	1.011	4.46E+07
p303	Gegenereerd	100	75	6	7	6	1.000	3.23E+07	1.007	4.17E+07	1.011	4.56E+07
p304	Gegenereerd	100	75	6	7	8	1.000	3.32E+07	1.007	4.17E+07	1.011	4.66E+07
p305	Gegenereerd	100	75	6	9	2	1.008	3.22E+07	1.056	3.97E+07	1.015	4.51E+07
p306	Gegenereerd	100	75	6	9	4	1.008	3.28E+07	1.056	3.97E+07	1.015	4.62E+07
p307	Gegenereerd	100	75	6	9	6	1.008	3.36E+07	1.056	3.97E+07	1.015	4.72E+07
p308	Gegenereerd	100	75	6	9	8	1.009	3.45E+07	1.056	3.97E+07	1.015	4.83E+07
p309	Gegenereerd	100	75	6	11	2	1.021	4.47E+07	1.110	3.78E+07	1.026	4.66E+07
p310	Gegenereerd	100	75	6	11	4	1.021	4.54E+07	1.110	3.78E+07	1.026	4.77E+07
p311	Gegenereerd	100	75	6	11	6	1.021	4.63E+07	1.110	3.78E+07	1.026	4.88E+07
p312	Gegenereerd	100	75	6	11	8	1.022	4.74E+07	1.110	3.78E+07	1.026	4.99E+07
p313	Gegenereerd	100	75	6	13	2	1.036	4.64E+07	1.170	3.59E+07	1.041	4.81E+07
p314	Gegenereerd	100	75	6	13	4	1.036	4.72E+07	1.170	3.59E+07	1.041	4.93E+07
p315	Gegenereerd	100	75	6	13	6	1.037	4.82E+07	1.170	3.59E+07	1.041	5.04E+07
p316	Gegenereerd	100	75	6	13	8	1.038	4.93E+07	1.170	3.59E+07	1.041	5.15E+07
p317	Gegenereerd	100	75	8	9	2	0.768	4.80E+07	0.792	5.30E+07	0.777	5.98E+07
p318	Gegenereerd	100	75	8	9	4	0.767	4.89E+07	0.792	5.30E+07	0.777	6.08E+07
p319	Gegenereerd	100	75	8	9	6	0.767	4.99E+07	0.792	5.30E+07	0.777	6.19E+07
p320	Gegenereerd	100	75	8	9	8	0.768	5.12E+07	0.792	5.30E+07	0.777	6.29E+07
p321	Gegenereerd	100	75	8	11	2	0.775	4.96E+07	0.833	5.04E+07	0.783	6.18E+07
p322	Gegenereerd	100	75	8	11	4	0.775	5.06E+07	0.833	5.04E+07	0.783	6.29E+07
p323	Gegenereerd	100	75	8	11	6	0.775	5.17E+07	0.833	5.04E+07	0.783	6.40E+07
p324	Gegenereerd	100	75	8	11	8	0.776	5.30E+07	0.833	5.04E+07	0.783	6.51E+07
p325	Gegenereerd	100	75	8	13	2	0.785	6.00E+07	0.878	4.78E+07	0.792	6.38E+07
p326	Gegenereerd	100	75	8	13	4	0.785	6.09E+07	0.878	4.78E+07	0.792	6.50E+07
p327	Gegenereerd	100	75	8	13	6	0.786	6.21E+07	0.878	4.78E+07	0.792	6.61E+07
p328	Gegenereerd	100	75	8	13	8	0.786	6.34E+07	0.878	4.78E+07	0.792	6.72E+07
p329	Gegenereerd	100	75	8	15	2	0.798	6.22E+07	0.928	4.52E+07	0.805	6.58E+07
p330	Gegenereerd	100	75	8	15	4	0.798	6.32E+07	0.928	4.52E+07	0.805	6.70E+07
p331	Gegenereerd	100	75	8	15	6	0.798	6.44E+07	0.928	4.52E+07	0.805	6.82E+07
p332	Gegenereerd	100	75	8	15	8	0.798	6.58E+07	0.928	4.52E+07	0.805	6.93E+07
p333	Gegenereerd	100	75	8	17	2	0.811	6.42E+07	0.984	4.26E+07	0.819	6.79E+07
p334	Gegenereerd	100	75	8	17	4	0.811	6.54E+07	0.984	4.26E+07	0.819	6.91E+07
p335	Gegenereerd	100	75	8	17	6	0.811	6.66E+07	0.984	4.26E+07	0.819	7.03E+07
p336	Gegenereerd	100	75	8	17	8	0.811	6.82E+07	0.984	4.26E+07	0.819	7.15E+07
p337	Gegenereerd	100	100	2	3	2	2.833	6.62E+07	2.764	1.52E+07	2.830	1.33E+07
p338	Gegenereerd	100	100	2	3	4	2.825	6.75E+07	2.764	1.52E+07	2.830	1.42E+07
p339	Gegenereerd	100	100	2	3	6	2.817	6.89E+07	2.764	1.52E+07	2.830	1.52E+07
p340	Gegenereerd	100	100	2	3	8	2.812	7.06E+07	2.764	1.52E+07	2.830	1.61E+07
p341	Gegenereerd	100	100	2	5	2	2.859	6.83E+07	2.887	1.45E+07	2.817	1.38E+07
p342	Gegenereerd	100	100	2	5	4	2.855	6.97E+07	2.887	1.45E+07	2.817	1.48E+07
p343	Gegenereerd	100	100	2	5	6	2.852	7.12E+07	2.887	1.45E+07	2.817	1.58E+07
p344	Gegenereerd	100	100	2	5	8	2.850	7.31E+07	2.887	1.45E+07	2.817	1.67E+07
p345	Gegenereerd	100	100	4	5	2	1.458	1.41E+07	1.443	2.91E+07	1.463	2.66E+07
p346	Gegenereerd	100	100	4	5	4	1.455	1.44E+07	1.443	2.91E+07	1.463	2.76E+07
p347	Gegenereerd	100	100	4	5	6	1.452	1.48E+07	1.443	2.91E+07	1.463	2.85E+07
p348	Gegenereerd	100	100	4	5	8	1.450	1.53E+07	1.443	2.91E+07	1.463	2.95E+07

p#	Profiel	Parameters					Meetwaarden		Waarden oude formules		Waarden nieuwe formules	
		h	b	t_w	t_f	r	σ_{VM}	GA_w	σ_{VM}	GA_w	σ_{VM}	GA_w
p349	Gegenereerd	100	100	4	7	2	1.475	1.52E+07	1.511	2.78E+07	1.463	2.75E+07
p350	Gegenereerd	100	100	4	7	4	1.473	1.55E+07	1.511	2.78E+07	1.463	2.86E+07
p351	Gegenereerd	100	100	4	7	6	1.472	1.59E+07	1.511	2.78E+07	1.463	2.96E+07
p352	Gegenereerd	100	100	4	7	8	1.471	1.64E+07	1.511	2.78E+07	1.463	3.06E+07
p353	Gegenereerd	100	100	4	9	2	1.500	2.78E+07	1.584	2.65E+07	1.477	2.85E+07
p354	Gegenereerd	100	100	4	9	4	1.499	2.83E+07	1.584	2.65E+07	1.477	2.96E+07
p355	Gegenereerd	100	100	4	9	6	1.498	2.89E+07	1.584	2.65E+07	1.477	3.06E+07
p356	Gegenereerd	100	100	4	9	8	1.497	2.96E+07	1.584	2.65E+07	1.477	3.17E+07
p357	Gegenereerd	100	100	6	7	2	0.997	2.94E+07	1.007	4.17E+07	1.002	4.08E+07
p358	Gegenereerd	100	100	6	7	4	0.995	2.99E+07	1.007	4.17E+07	1.002	4.18E+07
p359	Gegenereerd	100	100	6	7	6	0.994	3.06E+07	1.007	4.17E+07	1.002	4.28E+07
p360	Gegenereerd	100	100	6	7	8	0.992	3.14E+07	1.007	4.17E+07	1.002	4.39E+07
p361	Gegenereerd	100	100	6	9	2	1.011	3.06E+07	1.056	3.97E+07	1.006	4.22E+07
p362	Gegenereerd	100	100	6	9	4	1.009	3.12E+07	1.056	3.97E+07	1.006	4.33E+07
p363	Gegenereerd	100	100	6	9	6	1.009	3.20E+07	1.056	3.97E+07	1.006	4.43E+07
p364	Gegenereerd	100	100	6	9	8	1.008	3.29E+07	1.056	3.97E+07	1.006	4.54E+07
p365	Gegenereerd	100	100	6	11	2	1.028	4.16E+07	1.110	3.78E+07	1.017	4.37E+07
p366	Gegenereerd	100	100	6	11	4	1.027	4.22E+07	1.110	3.78E+07	1.017	4.48E+07
p367	Gegenereerd	100	100	6	11	6	1.027	4.31E+07	1.110	3.78E+07	1.017	4.59E+07
p368	Gegenereerd	100	100	6	11	8	1.026	4.41E+07	1.110	3.78E+07	1.017	4.69E+07
p369	Gegenereerd	100	100	6	13	2	1.048	4.36E+07	1.170	3.59E+07	1.032	4.51E+07
p370	Gegenereerd	100	100	6	13	4	1.047	4.43E+07	1.170	3.59E+07	1.032	4.62E+07
p371	Gegenereerd	100	100	6	13	6	1.046	4.53E+07	1.170	3.59E+07	1.032	4.74E+07
p372	Gegenereerd	100	100	6	13	8	1.046	4.63E+07	1.170	3.59E+07	1.032	4.85E+07
p373	Gegenereerd	100	100	8	9	2	0.766	4.53E+07	0.792	5.30E+07	0.770	5.60E+07
p374	Gegenereerd	100	100	8	9	4	0.764	4.61E+07	0.792	5.30E+07	0.770	5.70E+07
p375	Gegenereerd	100	100	8	9	6	0.764	4.71E+07	0.792	5.30E+07	0.770	5.81E+07
p376	Gegenereerd	100	100	8	9	8	0.763	4.83E+07	0.792	5.30E+07	0.770	5.91E+07
p377	Gegenereerd	100	100	8	11	2	0.777	4.69E+07	0.833	5.04E+07	0.776	5.79E+07
p378	Gegenereerd	100	100	8	11	4	0.777	4.78E+07	0.833	5.04E+07	0.776	5.89E+07
p379	Gegenereerd	100	100	8	11	6	0.776	4.89E+07	0.833	5.04E+07	0.776	6.00E+07
p380	Gegenereerd	100	100	8	11	8	0.776	5.01E+07	0.833	5.04E+07	0.776	6.11E+07
p381	Gegenereerd	100	100	8	13	2	0.791	5.57E+07	0.878	4.78E+07	0.785	5.97E+07
p382	Gegenereerd	100	100	8	13	4	0.790	5.65E+07	0.878	4.78E+07	0.785	6.09E+07
p383	Gegenereerd	100	100	8	13	6	0.790	5.76E+07	0.878	4.78E+07	0.785	6.20E+07
p384	Gegenereerd	100	100	8	13	8	0.790	5.88E+07	0.878	4.78E+07	0.785	6.31E+07
p385	Gegenereerd	100	100	8	15	2	0.806	5.80E+07	0.928	4.52E+07	0.797	6.16E+07
p386	Gegenereerd	100	100	8	15	4	0.805	5.89E+07	0.928	4.52E+07	0.797	6.28E+07
p387	Gegenereerd	100	100	8	15	6	0.805	6.01E+07	0.928	4.52E+07	0.797	6.40E+07
p388	Gegenereerd	100	100	8	15	8	0.805	6.14E+07	0.928	4.52E+07	0.797	6.51E+07
p389	Gegenereerd	100	100	8	17	2	0.820	6.01E+07	0.984	4.26E+07	0.812	6.35E+07
p390	Gegenereerd	100	100	8	17	4	0.820	6.12E+07	0.984	4.26E+07	0.812	6.47E+07
p391	Gegenereerd	100	100	8	17	6	0.819	6.24E+07	0.984	4.26E+07	0.812	6.59E+07
p392	Gegenereerd	100	100	8	17	8	0.819	6.39E+07	0.984	4.26E+07	0.812	6.72E+07