

97-CON-R1508

**Achtergronden bij
"Aanbevelingen voor ontwerp van normaalkracht
verbindingen en dwarskracht verbindingen"**

1 december 1997

ir. C.M. Steenhuis

Staalbouwkundig Genootschap
Technische Commissie 10a
Verbindingen

Projectnaam: Verbindingen
Projectnr. : 7.21.4.6796

Pagina's : 21
Tabellen : -
Figuren : -
Bijlagen : -

1997

Thema :
WP-onderwerp :
Trefwoord(en) :

SAMENVATTING

Binnen de commissie SGTC10a zijn ontwerp aanbevelingen tot stand gekomen voor het ontwerp en de toets van dwarskracht verbindingen en normaalkracht verbindingen. In deze ontwerpaanbevelingen zijn ontwerptabellen opgenomen en uitwerkingen van de rekenregels van de TGB-staal (NEN 6770, 6771 en 6772). In een enkel geval zijn vereenvoudigde aannamen gemaakt om tot de ontwerptabellen te komen. In een ander geval zijn interpretaties opgenomen van de TGB toetsingsregels om bepaalde onderdelen in verbindingen te kunnen toetsen.

Dit rapport bevat de achtergronden bij de verschillende ontwerptabellen en uitwerkingen van rekenregels die in de "Aanbevelingen voor ontwerp van normaalkracht verbindingen en dwarskracht verbindingen" voorkomen.

INHOUDSOPGAVE

1. INLEIDING	4
2. ACHTERGRONDEN	5
2.1 Doorsnede verzwakking windverbanden	5
2.2 Doornede verzwakking schuifoppervlak liggers.....	7
2.3 Elliptische methode berekening van stuikkrachten.....	9
2.4 Plooi van lip of hoekstalen.....	11
2.5 Dwarskracht in combinatie met momenten	13
2.5.1 Dubbelzijdige raveling en lip.....	13
2.5.2 Enkelzijdige raveling	18
REFERENTIES	20

1. INLEIDING

De Technische Commissie 10a van het Staalbouwkundig Genootschap heeft zich tot taak gesteld ontwerp aanbevelingen voor verbindingen uit te brengen in een drietal delen. Het betreft een deel verbindingen voor dwarskracht en verbindingen voor normaalkracht, een deel moment verbindingen en een deel bijzondere verbindingen.

Dit rapport bevat enige achtergronden bij de verschillende ontwerptabellen en uitwerkingen van rekenregels voor wat betreft het uit te brengen deel verbindingen voor dwarskracht en verbindingen voor normaalkracht. In dit rapport zijn met referentie aan de ontwerpaanbevelingen de achtergronden gerapporteerd.

De Technische Commissie 10a van het Staalbouwkundig Genootschap heeft als doel het bevorderen van de toepassing van staal door het genereren en verspreiden van kennis over verbindingen in staalconstructies. De commissie verspreidt deze kennis onder meer door publicaties in Bouwen met Staal, SG publicaties en lezingen op de jaarlijkse SG researchdag. De activiteiten van de commissie worden gestuurd vanuit het bedrijfsleven. Het werkveld van de commissie richt zich op verschillende aspecten van ontwerp en fabricage van verbindingen in staalconstructies, zoals: onderzoek naar mechanisch gedrag, onderzoek naar productiemethoden, productontwikkeling, economie, onderzoek ontwerp hulpmiddelen en pre-normalisatiewerk.

De samenstelling van de commissie ten tijde van de totstandkoming van dit rapport was als volgt:

voorzitter:

dhr H.G.A. Evers

ECCS b.v.

secretaris:

ir C.M. Steenhuis

TNO Bouw

leden:

prof. ir J. Berenbak

Hollandia Kloos b.v. en Technische Universiteit Delft

ir J.A. Bunkers

Dienst Stedebouw en Volkshuisvesting Rotterdam

dhr C. de Heer

Technisch Buro de Heer

dr ir J.C.D. Hoenderkamp

Technische Universiteit Eindhoven

ir A.M. Gresnigt

Technische Universiteit Delft

ir M. v. Kuijk

Staalbouw Instituut

dhr J.A.L.M. Verhoeven

Hollandia Keizersveer

lid vanuit de Research Commissie Staal van het Staalbouwkundig Genootschap:

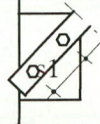
prof. ir J.W.B. Stark, Technische Universiteit Delft en TNO Bouw

2. ACHTERGRONDEN

2.1 Doorsnedeverswakking windverbanden

In [1] is een tabel gegeven om te schatten wat de invloed is van de gatverzwakking op de trek capaciteit van windverbanden. De tabel zie er als volgt uit:

tabel 1: Indicatie van de bruto oppervlakte van windverbanden

Type	Bruto oppervlakte A	
	kleine steek in vergelijking met boutdiameter ($s_1 \leq 2,5 d_{g;nom}$)	grote steek in vergelijking met boutdiameter ($s_1 \geq 5 d_{g;nom}$)
		
strip met bouten in lijn	$A \geq 1.25 \frac{N_{s;d}}{f_{y;d}}$	$A \geq 1.25 \frac{N_{s;d}}{f_{y;d}}$
hoekstaal	$A \geq 2.5 \frac{N_{s;d}}{f_{y;d}}$	$A \geq 1.4 \frac{N_{s;d}}{f_{y;d}}$

De achtergronden van deze tabel voor de strip met bouten in lijn is als volgt. In NEN 6770 [1] artikel 13.3.4.1 is een artikel gegeven om de trekcapaciteit van een netto doorsnede in een stip te bepalen. De symbolen zijn gekozen volgens NEN 6770:

$$N_{t;s;d} = \frac{0.9 A_{net} f_{t;d}}{\gamma_m}$$

Stel nu dat:

$$N_{t;s;d} = N_{s;d}$$

$$A_{net} = 0.75 A \text{ (de netto doorsnede wordt geschat op 75\% van de bruto doorsnede)}$$

$$f_{t;d} = 1.5 f_{y;d}$$

$$\gamma_m = 1.25$$

Hieruit volgt:

$$N_{s;d} = \frac{0.9 \cdot 0.75 \cdot A \cdot 1.5 f_{y;d}}{1.25} = \frac{A f_{y;d}}{1.25}$$

dus:

$$A \geq 1,25 \frac{N_{s;d}}{f_{y;d}}$$

Voor het hoekstaal is de achtergrond als volgt. Volgens NEN 6770 tabel 31 geldt voor een hoekstaal met twee bouten:

$$N_{t;s;d} = \frac{\beta_2 A_{\text{net}} f_{t;d}}{\gamma_m}$$

$$N_{t;s;d} = N_{s;d}$$

$A_{\text{net}} = 0.80 A$ (de netto doorsnede wordt geschat op 80% van de bruto doorsnede)

$\beta_2 = 0.4$ respectievelijk 0.7 (kleine steek respectievelijk grote steek)

$$f_{t;d} = 1.5 f_{y;d}$$

$$\gamma_m = 1.25$$

$$N_{s;d} = \frac{0.4 \cdot 0.80 A \cdot 1.5 f_{y;d}}{1.25} = 0.39 A f_{y;d}$$

dus:

$$A \geq 2,6 \frac{N_{s;d}}{f_{y;d}}$$

Het criterium voor de grote steek, zie tabel 1 rechts, wordt op identieke wijze bepaald:

$$N_{s;d} = \frac{0.7 \cdot 0.80 A \cdot 1.5 f_{y;d}}{1.25} = 0.67 A f_{y;d}$$

dus:

$$A \geq 1.5 \frac{N_{s;d}}{f_{y;d}}$$

2.2 Doornedeverswakking schuifoppervlak liggers

De ontwerpformule voor doorsnedeverswakking van liggers tengevolge van ravelingen en boutgaten in [2] is als volgt:

Stel een I vormig profiel met de volgende eigenschappen:

$$r \approx t_f$$

$$t_w \approx 0.6 t_f$$

$$b_f \approx 0.5 h$$

$$h \approx 20 t_f$$

dus:

$$A \approx 2 b_f t_f + (h - 2 t_f) t_w + 2 r^2 \approx 2 \cdot 10 t_f t_f + (20 t_f - 2 t_f) 0.6 t_f + 2 t_f^2 \approx 32.8 t_f^2$$

Met behulp van deze benaderingen kan ongeveer het schuifoppervlak bepaald worden volgens NEN 6770 formule 11.2-15:

$$A_w = A - 2 (b_f - t_w - 2 r) t_f \approx 32.8 t_f^2 - 2 (10 t_f - 0.6 t_f - 2 t_f) t_f \approx 18 t_f^2$$

NEN 6770 artikel 13.3.4.3 stelt:

$$V_{u;d} = \frac{0.6 f_{t;d} A_{net}}{\gamma_m}$$

$$A_{net} = t_w (l_v + l_1 + l_2 - n_g d_{g;nom})$$

Voor een ongeraveelde verbinding geldt bij benadering:

$$A_{net} \approx t_w (h - n_g d_{g;nom}) \approx 0.6 t_f (20 t_f - 3 \cdot 2 \cdot 0.6 t_f) \approx 9.84 t_f^2$$

Met de aanname dat $f_{t;d} \approx 1.5 f_{y;d}$ geldt:

$$V_{u;d} = \frac{0.6 \cdot 1.5 f_{y;d} \cdot 9.84 t_f^2}{1.25} = 7.08 f_{y;d} t_f^2$$

Volgens NEN 6770 artikel 11.2.4 geldt:

$$V_{z;pl;d} = 0.58 f_{y;d} A_w$$

$$V_{z;pl;d} / V_{u;d} \approx \frac{0.58 f_{y;d} A_w}{7.08 f_{y;d} t_f^2} \approx \frac{0.58 f_{y;d} 18 t_f^2}{7.08 f_{y;d} t_f^2} \approx 1.5$$

Voor een eenzijdig geraveelde verbinding geldt bij benadering:

$$A_{\text{net}} \approx t_w (h - n_g d_{g;\text{nom}} - t_f - r) \approx 0.6 t_f (20 t_f - 3 \cdot 2 \cdot 0.6 t_f - t_f - t_f) \approx 7.84 t_f^2$$

$$V_{u;d} = \frac{0.6 \cdot 1.5 f_{y;d} \cdot 7.84 t_f^2}{1.25} = 5.65 f_{y;d} t_f^2$$

$$V_{z;pl;d} / V_{u;d} \approx \frac{0.58 f_{y;d} \cdot 18 t_f^2}{5.65 f_{y;d} t_f^2} \approx 1.85$$

Voor een tweezijdig geraveelde verbinding geldt bij benadering:

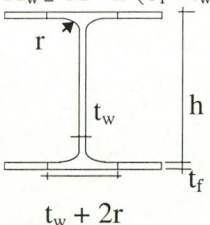
$$A_{\text{net}} \approx t_w (h - n_g d_{g;\text{nom}} - 2 t_f - 2 r) \approx 0.6 t_f (20 t_f - 3 \cdot 2 \cdot 0.6 t_f - 2 t_f - 2 t_f) \approx 5.84 t_f^2$$

$$V_{u;d} = \frac{0.6 \cdot 1.5 f_{y;d} \cdot 5.84 t_f^2}{1.25} = 4.20 f_{y;d} t_f^2$$

$$V_{z;pl;d} / V_{u;d} \approx \frac{0.58 f_{y;d} \cdot 18 t_f^2}{4.20 f_{y;d} t_f^2} \approx 2.50$$

Dit alles kan worden samengevat in tabel 2:

tabel 2: Ontwerpformules minimaal schuifoppervlak

Type		Schuif oppervlak doorsnede volgens NEN 6770 formule 11.2-15 $A_w = A - 2 (b_f - t_w - 2r) t_f$ 
geen raveling		$A_w > 1.5 \frac{V_{s;d}}{0.58 f_{y;d}} = 2.5 \frac{V_{s;d}}{f_{y;d}}$
één flens geraveeld		$A_w > 1.85 \frac{V_{s;d}}{0.58 f_{y;d}} = 3.2 \frac{V_{s;d}}{f_{y;d}}$
twee flenzen geraveeld		$A_w > 2.5 \frac{V_{s;d}}{0.58 f_{y;d}} = 4.3 \frac{V_{s;d}}{f_{y;d}}$

2.3 Elliptische methode berekening van stuikkrachten

De elliptische methode voor het berekenen stuikkrachten is in [3] geïntroduceerd vanwege het volgende. De TGB staal (NEN 6770) voorziet in rekenregels voor de berekening van de stuikcapaciteit van boutgroepen. Deze rekenregels zijn gebaseerd op series proeven die zijn uitgevoerd op geboute verbindingen, waarbij de randen van het proefstuk loodrecht dan wel parallel zijn aan richting waarin de kracht op het proefstuk aangrijpt.

Uiteraard werken de rekenregels van de TGB optimaal voor die gevallen waarbij het te ontwerpen detail overeenkomt met de beproefde configuraties. Dit ligt evenwel anders in het geval dat de stuikkracht onder een hoek aangrijpt ten opzichte van de randen. Een conservatieve maar eenvoudige benadering van de toets van een verbinding voor krachten die niet evenwijdig of parallel aan de randen lopen verloopt als volgt:

- 1) toets alsof de stuikkracht evenwijdig aan de ene rand loopt en loodrecht op de andere
- 2) toets alsof de stuikkracht loodrecht op de ene rand loopt en evenwijdig aan de andere

Het bezwaar van deze conservatieve benadering is echter dat als de kracht zo goed als evenwijdig aan een rand loopt, maar toch een kleine component loodrecht op deze rand heeft, het toetsingsresultaat nogal ongunstig kan uitvallen. Dit geldt dan met name als de afstand van de bout naar de rand in de richting van de kleine component klein is.

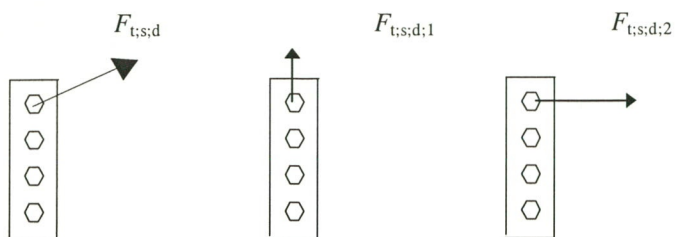
In de onderzoekscommissie "verbindingen" die in de tachtiger jaren actief was, was dit probleem reeds onderkend en in die tijd is het volgende voorstel op tafel gekomen.

De stuikkracht wordt gesplitst in twee richtingen die loodrecht dan wel parallel aan de randen staan. Van de beschouwde verbinding worden twee capaciteiten in twee richtingen bepaald voor krachten loodrecht dan wel parallel aan de randen. De volgende toets dient te worden uitgevoerd:

$$\sqrt{\left(\frac{F_{t;s;d;1}}{F_{c;u;d;1}}\right)^2 + \left(\frac{F_{t;s;d;2}}{F_{c;u;d;2}}\right)^2} \leq 1$$

waarbij:

- $F_{t;s;d;1}$ is kracht tengevolge van de belasting in richting 1;
- $F_{t;s;d;2}$ is kracht tengevolge van de belasting in richting 2;
- $F_{c;u;d;1}$ is de rekenwaarde van de stuikcapaciteit in richting 1;
- $F_{c;u;d;2}$ is de rekenwaarde van de stuikcapaciteit in richting 2.



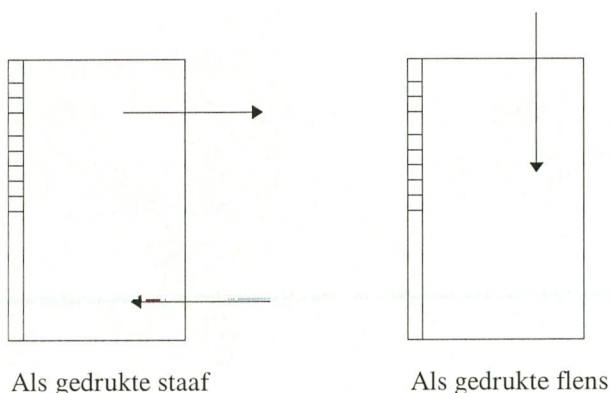
figuur 1: Ontbinding van krachten

Dit berekeningsvoorstel is voor zover bekend niet experimenteel geverifieerd. Niettemin, voor de twee bijzondere gevallen dat de kracht ofwel parallel aan de ene rand ofwel parallel aan de andere rand aangrijpt, komt de interactieformule overeen met de TGB rekenregels die uitputtend geverifieerd zijn.

2.4 Plooi van lip of hoekstalen

Plooi van de lip of de hoekstalen is een instabiliteitsverschijnsel waarbij de lip of de hoekstalen uit het vlak plooiën. De rekenregels die zijn opgenomen in [4] hebben een achtergrond als volgt:

Er is vanuit gegaan dat twee effecten bekeken worden. Ten eerste, het effect van het uitknikken van de plaat ten gevolge van spanningen die ontstaan door excentriciteiten in de verbinding, zie figuur 2 links. Ten tweede betreft het plooi tengevolge van de spanningen door de over te brengen dwarskracht op de plaat, zie figuur 2 rechts.



figuur 2: Lip of hoekstaal als gedrukte staaf of als gedrukte flens

De berekening van de “knik” door spanningen die ontstaan door excentriciteiten in de verbinding verloopt volgens NEN 6770 artikel 12.1.1.2:

Als $\lambda_{\text{rel}} < 0.2$ dan $\omega_{\text{buc}} = 1$, met andere woorden, knik treedt niet op.

$$\lambda_y = \frac{l_y}{i_y} = \frac{0.6 \text{ m}}{\frac{1}{12} \sqrt{12} t_p}$$

Hier is aangenomen dat de kniklengte gelijk is aan 0.6 m . Deze waarde is gehanteerd met als uitgangspunt dat de spanning aan een zijde van de plaat maximaal is en aan de andere kant van de plaat gelijk is aan 0 en dat de plaat aan beide zijden als ingeklemd beschouwd mag worden.

$$\lambda_e = \pi \sqrt{\frac{E_d}{f_{y;d}}} = 93.9 \alpha$$

$$\lambda_{\text{rel}} = \frac{\lambda_v}{\lambda_e} = \frac{\frac{0.6 m}{12 \sqrt{12} t_p}}{93.9 \alpha} < 0.2$$

dus:

$$\frac{m}{t_p} < 9 \alpha$$

Voor de berekening plooï “als gedrukte flens” wordt de classificatie van NEN 6771 tabel 1 gehanteerd (gedrukte flens). Dit criterium is voor een klasse 1 uitstekende flens:

$$\frac{m}{t_p} < 9 \alpha$$

Dit komt overeen met het criterium voor knik.

Indien niet aan het criterium voldaan wordt, is het uitgangspunt in de ontwerphandleiding dat de vloeispanning kunstmatig verlaagd wordt tot juist wel aan het criterium voldaan wordt. Met andere woorden:

$$\frac{m}{t_p} = 9 \sqrt{\frac{f_{\text{ref}}}{\sigma}}$$

$$\sigma = 81 \left(\frac{t_p}{m}\right)^2 f_{\text{ref}}$$

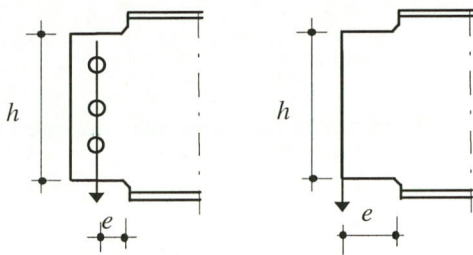
Er is van uitgegaan dat beide stabiliteitsfenomenen geen interactie met elkaar hebben.

2.5 Dwarskracht in combinatie met momenten

2.5.1 Dubbelzijdige raveling en lip

Indien liggers of dwarsdragers ter plaatse van de verbinding geraveeld worden, treedt er een doorsnede verzwakking op. Er ontstaat bij de voet van de raveling een moment gelijk aan de dwarskracht in de verbinding vermenigvuldigd met de afstand e . Een dergelijke combinatie van moment en dwarskracht kan zich ook voordoen bij lippen indien het dwarskrachtencentrum door de rij bouten gaat. De snede langs de liplas wordt dan belast op de combinatie van afschuiving en moment.

De afstand e hangt af van de afstand tussen het dwarskrachtencentrum en de voet van de raveling danwel de lip.



figuur 3: definitie van h en e bij een dubbelzijdige raveling

De berekening van het moment in combinatie met de dwarskracht verloopt als volgt. Er wordt een spanningsverdeling voor zowel normaalspanningen als schuifspanningen over de hoogte van de geraveelde doorsnede gekozen.

Er moet nu gelden:

$$V_{Rd} = 2 t \int_0^{\frac{1}{2} h} \tau(x) dx$$

$$M_{Rd} = V_{Rd} e = 2 t \int_0^{\frac{1}{2} h} x \sigma(x) dx$$

Gelijk stellen geeft:

$$2 e t \int_0^{\frac{1}{2} h} \tau(x) dx = 2 t \int_0^{\frac{1}{2} h} x \sigma(x) dx$$

$$e \int_0^{\frac{1}{2} h} \tau(x) dx = \int_0^{\frac{1}{2} h} x \sigma(x) dx$$

Het Von Mises criterium luidt:

$$3 \tau(x)^2 + \sigma(x)^2 \leq f_{y;d}^2$$

Definieer:

$$T(x) = \tau(x) / f_{y;d}$$

$$S(x) = \sigma(x) / f_{y;d}$$

Hieruit volgt:

$$3 T(x)^2 + S(x)^2 \leq 1$$

en

$$e \int_0^{\frac{1}{2} h} T(x) dx = \int_0^{\frac{1}{2} h} x S(x) dx$$

Met $y = 2 x / h$, $T(y) = T(x)$ en $S'(y) = S(x)$ kan bovenstaande vergelijking worden herschreven tot:

$$e \int_0^1 T(y) dy = h/2 \int_0^1 y S'(y) dy$$

definieer: $e' = e / h$

$$e' \int_0^1 T(y) dy = 1/2 \int_0^1 y S'(y) dy$$

De Von Mises vergelijking wordt dan:

$$3 T'(y)^2 + S'(y)^2 \leq 1$$

en

$$V_{Rd} = 2 t \int_0^{\frac{1}{2} h} \tau(x) dx = f_{y;d} 2 t \int_0^{\frac{1}{2} h} T(x) dx = f_{y;d} t h \int_0^1 T'(y) dy$$

Definieer:

$$V_{Rd,pl} = \frac{f_{y;d} t h}{\sqrt{3}} \text{ als de capaciteit voor afschuiving zonder moment.}$$

Met andere woorden:

$$V_{Rd} / V_{Rd,pl} = \sqrt{3} \int_0^1 T'(y) dy$$

Een toets van deze formule is dat als e gelijk is aan 0, dan is $T'(y)$ gelijk aan 0.58 dus is $V_{Rd} / V_{Rd,pl} = 1$, hetgeen de verwachting is.

De functies $T'(y)$ en $S'(y)$ zijn numeriek opgelost, zodanig dat voor een gegeven e' variërend van 0.1 tot 2 de factor $V_{Rd} / V_{Rd,pl}$ bepaald is.

Ter verificatie van de numerieke oplossing is hier een "lower bound solution" gegeven van het probleem. Stel dat de schuifspanning uniform verdeeld is over de doorsnede en de normaalspanning als blokverdeling ook uniform verdeeld. Er geldt dan:

$$V_{Rd} = t h \tau$$

$$M_{Rd} e = V_{Rd} e = \frac{1}{4} t h^2 \sigma$$

Gelijkstellen geeft:

$$e t h \tau = \frac{1}{4} t h^2 \sigma$$

dus:

$$e \tau = \frac{1}{4} h \sigma$$

Het Von Mises criterium luidt:

$$3 \tau^2 + \sigma^2 \leq f_{y;d}^2$$

Definieer:

$$T = \tau / f_{y;d}$$

$$S = \tau / f_{y;d}$$

Hieruit volgt:

$$3 T^2 + S^2 \leq 1$$

en

$$e T = \frac{1}{4} h S$$

Indien

$$3 T^2 + S^2 = 1$$

dan geldt:

$$e^2 T^2 = \frac{1}{16} h^2 (1 - 3 T^2)$$

$$(16 e^2 + 3 h^2) T^2 = h^2$$

met $e' = e/h$ geldt:

$$(16 e'^2 + 3) T^2 = 1$$

$$T = \frac{1}{\sqrt{16 e'^2 + 3}}$$

$$S = \sqrt{\frac{16 e'^2}{16 e'^2 + 3}}$$

Definieer $V_{Rd,pl}$ als de capaciteit voor afschuiving zonder moment.

$$V_{Rd,pl} = \frac{f_{y;d} t h}{\sqrt{3}}$$

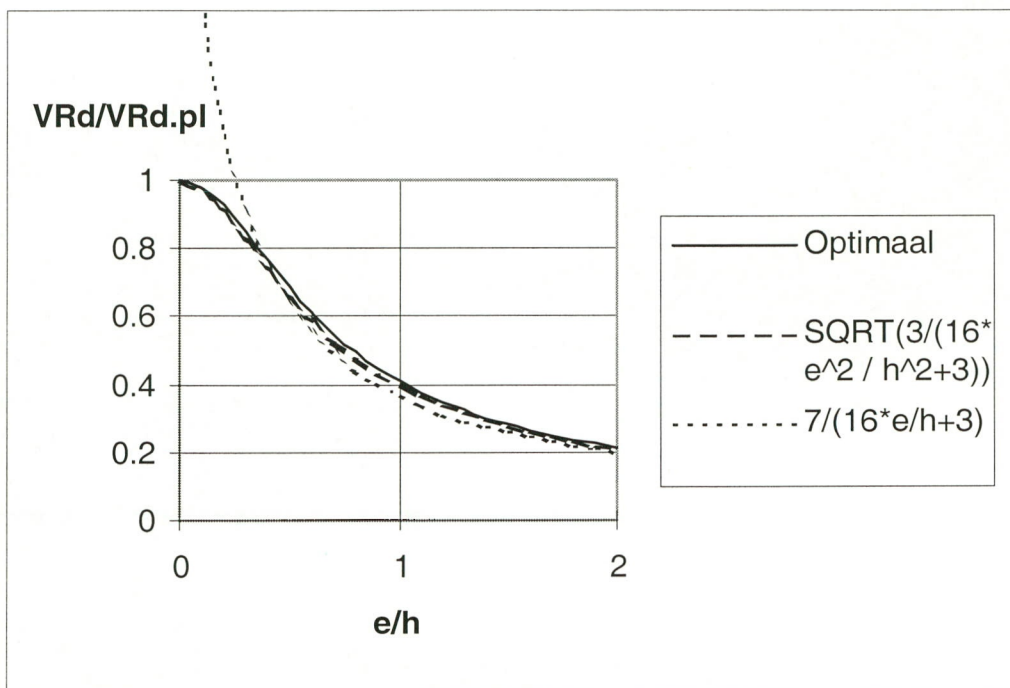
$$V_{Rd} = t h \tau = t h f_{y;s} T$$

$$V_{Rd} / V_{Rd,pl} = \frac{\sqrt{3}}{\sqrt{16 e'^2 + 3}} = \sqrt{\frac{3}{16 e'^2 + 3}}$$

Dit moet onder de optimale oplossing liggen.

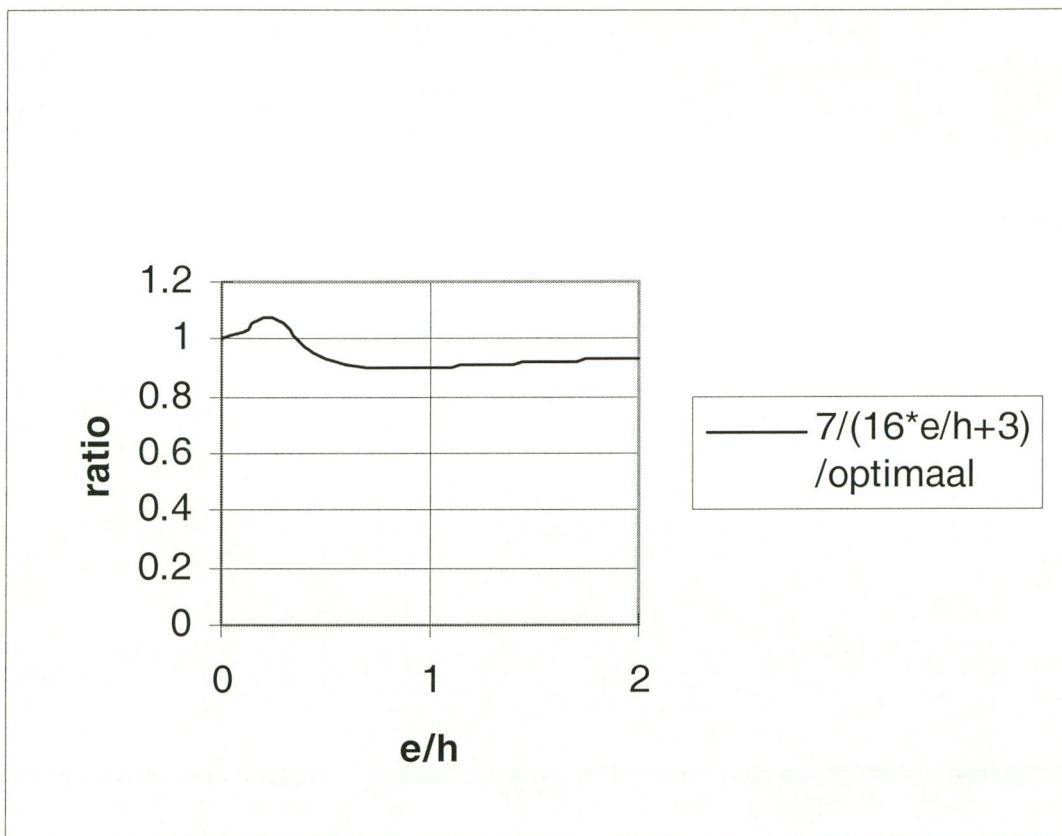
In figuur 4 zijn de optimale oplossing van de reductiefactor en de oplossing met de uniforme verdelingen naast elkaar gezet. Tevens is hier een benaderende formule gegeven voor $V_{Rd} / V_{Rd,pl}$. Deze benadering is:

$$V_{Rd} / V_{Rd,pl} = \frac{7}{16 e' + 3}, \text{ maar } V_{Rd} / V_{Rd,pl} < 1$$



figuur 4: Reductie afschuifcapaciteit als functie van e/h

Het blijkt dat de verschillende oplossingen goed met elkaar overeenkomen. Om dat inzichtelijk te maken is in figuur 5 de verhouding gegeven van de benadering $V_{Rd} / V_{Rd,pl} = \frac{7}{16 e' + 3}$ en de optimale oplossing.



figuur 5: Verhouding benadering en optimale oplossing

Afwijkingen blijven binnen de 10%, hetgeen beperkt is. Daarom is in [5] de volgende toets opgenomen voor de doorsnede toets voor moment versus dwarskracht:

$$V_{Rd} = \alpha_{red} V_{Rd,pl}$$

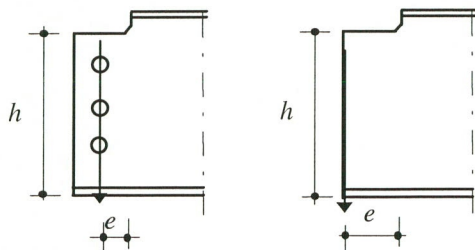
Hierin is

$$V_{Rd,pl} = \frac{f_{y,d} t h}{\sqrt{3}}$$

$$\alpha_{red} = \frac{7}{16 e/h + 3} \text{ indien } e/h > 0.25, \text{ anders } \alpha_{red} = 1.$$

2.5.2 Enkelzijdige raveling

Voor de enkelzijdige raveling kan een soortgelijke beschouwing worden opgezet als voor een dubbelzijdige raveling. Het uitgangspunt is nu echter, dat het moment in het geraveelde gedeelte ook deels door de liggerflens kan worden opgenomen. De momentcapaciteit bij gegeven dwarskracht neemt daardoor met factor 2 toe. De benaderingsformule wordt dan:



figuur 6: definitie van h en e bij een enkelzijdige raveling

$$V_{Rd} = \alpha_{red} V_{Rd,pl}$$

Hierin is

$$V_{Rd,pl} = \frac{f_{v;d} t h}{\sqrt{3}}$$

$$\alpha_{red} = \frac{7}{8 e/h + 3} \text{ indien } e/h > 0.5, \text{ anders } \alpha_{red} = 1.$$

In figuur 6 zijn h en e gedefinieerd. De waarde van e hangt af van de plaats van het dwarskrachtencentrum.

REFERENTIES

- [1] Nederlands Normalisatie Instituut, NEN 6770 Staalconstructies TGB 1990, basiseisen
- [2] Nederlands Normalisatie Instituut, NEN 6771 Staalconstructies TGB 1990, stabiliteit
- [3] Nederlands Normalisatie Instituut, NEN 6772 Staalconstructies TGB 1990, verbindingen
- [4] SGTC10a, Aanbevelingen voor normaalkracht verbindingen en dwarskracht verbindingen.