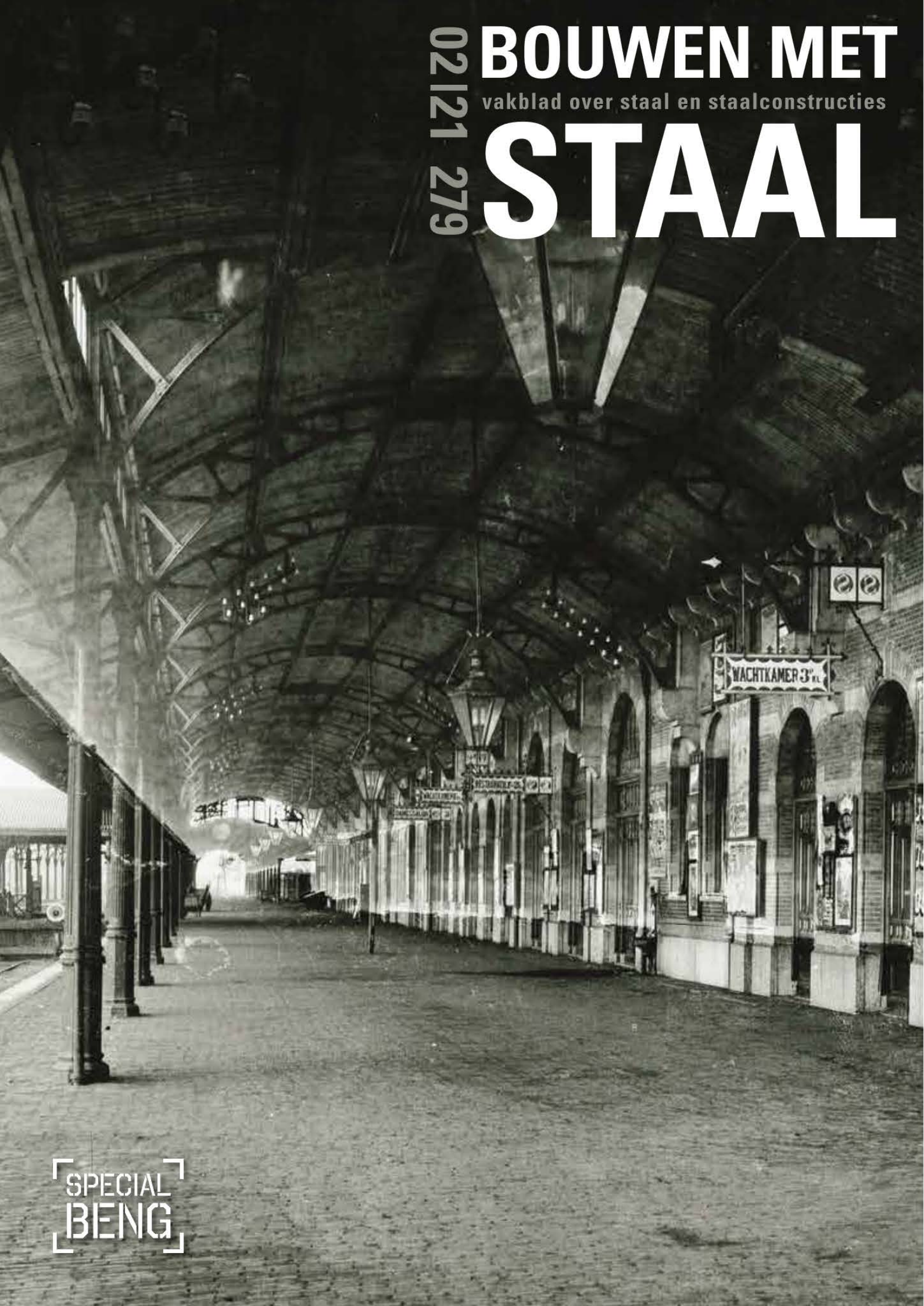


02121 279

BOUWEN MET

vakblad over staal en staalconstructies

STAAL



[SPECIAL
BENG]

Bouwen met Staal 279 | jaargang 54 | februari 2021

ISSN 0166-6363

Uitgever Marco Pauw.

Redactie Paul van Deelen • Henk Orsel • Marco Pauw.

Medewerkers Bertine Colsen.

Redactieraad W. Borgstein, Tata Steel Europe • ir. M.F.I. Braem, Croes • ir. Y. van Diermen, Pieters Bouwtechniek • R.S. Dursin, Zinkinfo Benelux • A. Hagoort, SNS • ir. M. Horikx, Hogeschool van Amsterdam • ing. K. Flierman, Construsoft • G.J. Kannekens, Severfield • ir. F. Maatje (voorzitter), Bouwen met Staal • ing. I.B. van der Meer, Bam Infraconsult • ir. K. Oosterman, ZJA • ing. J. Seinen, Rijkswaterstaat • ir. L.I. Vákár, Movares • ing. F.E. Vasquez, Dumebo | DWS • T.S. Wolvekamp MSc, BAM Infraconsult.

Redactie en administratie Bouwen met Staal • Louis Braillelaan 80 • 2719 EK • Zoetermeer • tel. (088) 353 12 12 • bms@bouwenmetstaal.nl.

Advertenties Advercom • Dijkzichtlaan 2, 2071 EZ Haarlem • tel. 023-737 07 96/ 06-24 68 52 25 • edejong@advercom.nl • www.advercom.nl.

Vormgeving Banee Design, Rotterdam • www.banee-design.nl.

Druk Veldhuis Media, Raalte • www.veldhuismedia.nl.

Vrijwaring Uitgever, redactie, auteurs en medewerkers verklaren dat de inhoud van dit vakblad zorgvuldig en naar beste weten is samengesteld. Zij aanvaarden geen aansprakelijkheid voor schade, van welke aard ook, als gevolg van handelingen en/of beslissingen die zijn gebaseerd op de geboden informatie.

Abonnementen 2021 Binnenland € 76; buitenland € 101; studenten € 20 (via Staalkaarthouder); losse nummers € 25 (prijzen incl. btw). Annuleren voor 2022 is mogelijk tot 1 december 2021. Een abonnement is ook verkrijgbaar als onderdeel van een lidmaatschap van Bouwen met Staal met exclusieve toegang tot de digitale versie(s) van het vakblad.

Lidmaatschap Bouwen met Staal Een lidmaatschap geeft recht op één of meer abonnementen op het vakblad *Bouwen met Staal* en gratis deelname aan avondsessies. Als (bedrijfs)lid ontvangt u ook korting op studiedagen, excursies en op andere producten en diensten van Bouwen met Staal (zoals publicaties, cursussen, opleidingen en de Nationale Staalbouwdag). Bovendien krijgt elk lid toegang tot de digitale versie(s) van het vakblad (online bladermodule) en het archief (eveneens online) dat per artikel kan worden geraadpleegd via bijvoorbeeld auteur, onderwerp of een trefwoord. Annuleren voor 2022 is mogelijk tot 1 december 2021.

Meer informatie en aanmelding(en) www.vakbladbouwenmetstaal.nl.

Cover en p. 3 (± 1900) J.G. Kramer, Utrechts Stadsarchief.

Foto André Verschoor (p. 2 en 6) Vincent Basler • www.vincentbasler.com.



© Bouwen met Staal 2021. Alle rechten voorbehouden. Niets uit deze uitgave mag worden verveelvoudigd, in enigerlei vorm, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van de uitgever.



- 4 NIEUWS
- 6 ANDRÉ #1
- 48 WONEN MET STAAL (82):
WOONSCHUUR, BEUNINGEN
Driescharnierspantpand
P.F. van Deelen
- 64 VRAAG & ANTWOORD 374-376



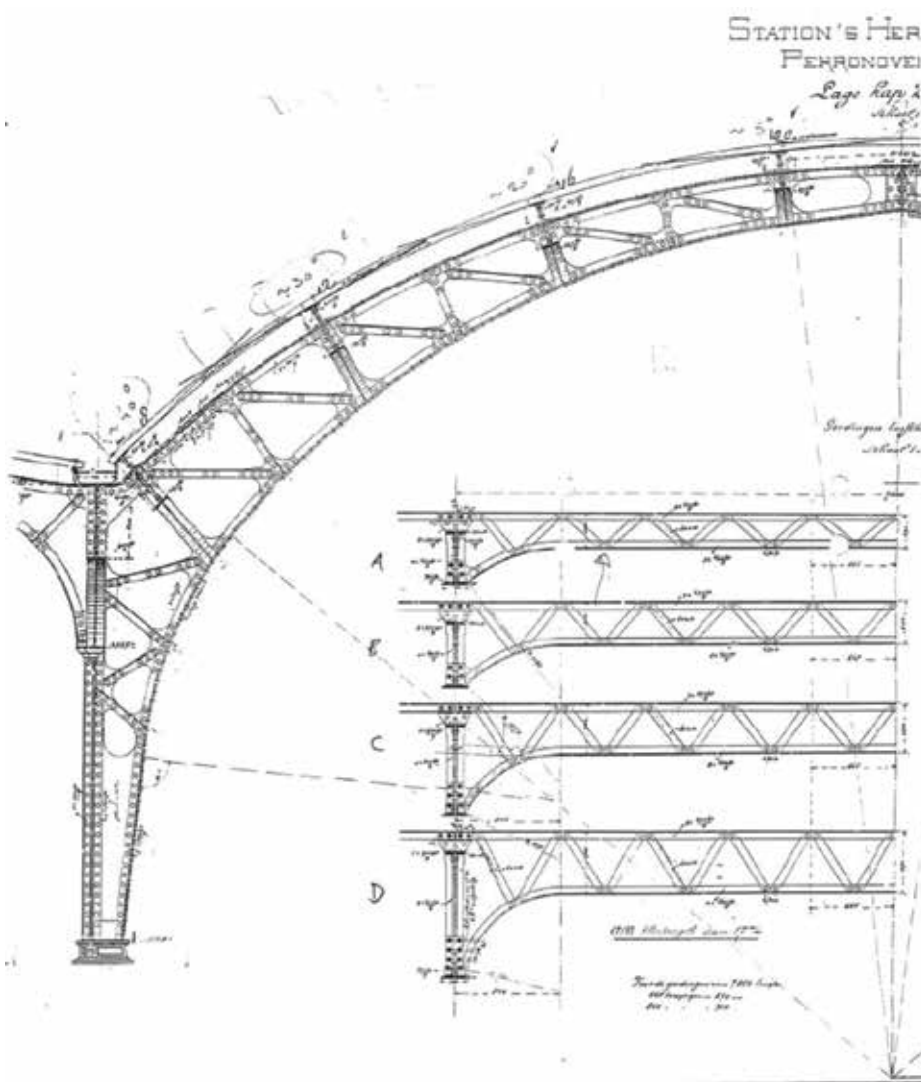
18 | PROJECTEN



53 | TECHNIEK

- | | | | |
|----|--|----|--|
| 10 | <p>KANTOORGEBOUW CANON
PRODUCTION PRINTING, VENLO
(1): DEFINITIEF ONTWERP
Schragen op 500 palen
E.J. Brok en H.M. Hazelaar</p> | 42 | <p>STABILITEIT ONDERRANDEN
VAKWERKLIIGERS GEKLONKEN
STATIONSKAPPEN
Vakwerk afgestoft
M.R.C. van der Heijde, H.H. Snijder en L.I. Vákár</p> |
| 14 | <p>(2): UITVOERINGSGEREED ONTWERP
Optimalisaties
H.M. Hazelaar</p> | 53 | <p>NTA 8800 (1): BIJNA ENERGIENEUTRALE
GEBOUWEN (BENG)
BENG vervangt EPC</p> |
| 18 | <p>STATIONSKAPPEN IN HISTORISCH
PERSPECTIEF
IJzer spoort naar staal
H.J. van Lint en L.I. Vákár</p> | 55 | <p>NTA 8800 (2): TO <small>JULI</small>
Risico op oververhitting</p> |
| 22 | <p>RESTAURATIE PERRONKAPPEN
LEEWARDEN
Sikkels en Polonceaus
W. van 't Land en L.I. Vákár</p> | 56 | <p>NTA 8800 (3): LICHTTE UTILITEITSBOUW
Wikken en wegen met BENG
R.M.M. van der Loos</p> |
| 32 | <p>RESTAURATIE PERRONKAPPEN
GRONINGEN
Behoud van pracht en praal
H.J. van Lint en L.I. Vákár</p> | 60 | <p>NTA 8800 (4): LICHTTE WONINGBOUW
Effectieve interne warmtecapaciteit
M.A. Barendsz</p> |

**SPECIAL
BENG**



1. Opbouw van spant en gordingen van Station 's-Hertogenbosch.

Vakwerk afgestoft

De toetsing van geklonken onderranden van vakwerkliggers bij oude stationskappen volgens de normen is erg conservatief. Dit is al vastgesteld bij de restauratie van de kappen van Station 's-Hertogenbosch, 25 jaar geleden. De rekenmethode die toen is ontwikkeld, is nu weer gebruikt bij de herberekening van de kappen van Station Groningen. Inzicht in ontwikkeling en gebruik van die rekenmethode.

ir. M.R.C. van der Heijde, prof.ir. H.H. Snijder en ir. L.I. Vákár

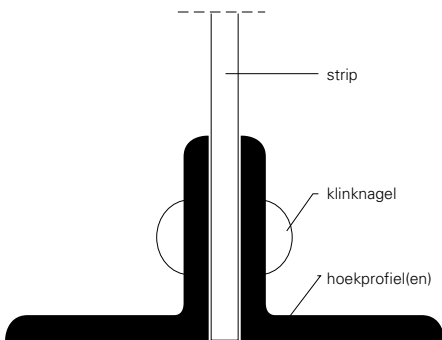
Mark van der Heijde is senior-adviseur bij Movares in Utrecht en maakte destijds nog als student aan de TU/e de numerieke analyse in het kader van projectwerk. Bert Snijder is hoogleraar Constructief Ontwerpen (Staalconstructies) bij de TU Eindhoven, László Vákár is raadgevend ingenieur bij Movares in Utrecht.

De toetsing van geklonken onderranden van vakwerken naar de letter van de normen, zou bij restauraties van oude stationskappen leiden tot grootschalige aanpassingen en versterkingen van die vakwerken. Daarom is bij de restauratie van Station 's-Hertogenbosch onderzoek gedaan om te komen tot een nauwkeurigere berekening om zoveel mogelijk van de constructie in zijn originele staat te behouden en daarmee veel kosten te besparen^[1]. Bij de restauratie van oude perronkappen is het doel om de levensduur van deze constructies met 50 of 100 jaar te verlengen. Naast het behoud van (monumentaal) erfgoed, geeft dit invulling aan de noodzaak van duurzaam materiaalgebruik. Dat de verlengde levensduur gehaald wordt, dient te worden aangetoond met de toetsingsregels uit de normen van dit moment. Het inzicht in de belasting en het gedrag van deze oude constructies is door de jaren heen sterk verbeterd. Het slechts repareren van gecorrodeerde onderdelen volstaat dus niet.

Volgens de vigerende normen dient bijvoorbeeld gerekend te worden met een opwaartse belasting ten gevolge van windzuiging, terwijl de oude perronkappen in het verleden alleen zijn ontworpen op neerwaartse en horizontale belasting. Voor de vakwerkgordingen betekent dit dat de onderrand ook op druk en op stabiliteit dient te worden getoetst. De onderrand bestaat veelal uit geklonken hoekstalen en de stabiliteit is onder andere afhankelijk van de eigenschappen van de samengestelde doorsnede. Bij de restauratie van de kappen van Station 's-Hertogenbosch^[2] (afb. 1) is dit reeds onderkend.

Probleemstelling

Bepaald moet worden of de onderranden van de oude vakwerkgordingen stabiel zijn bij de drukkracht die ontstaat ten gevolge van de opwaartse belasting door windzuiging. Bij standaard vakwerken mag volgens de vigerende norm de kniklengte van de onderrand gelijk worden gekozen aan de systeemplengte, tenzij een kleinere waarde aantoonbaar verantwoord is. Bij een eerste aftasting, waarbij de kniklengte van de onderrand gelijk is gekozen aan de systeemplengte (hart-op-hart-afstand tussen de kolommen), is de constructie instabiel.



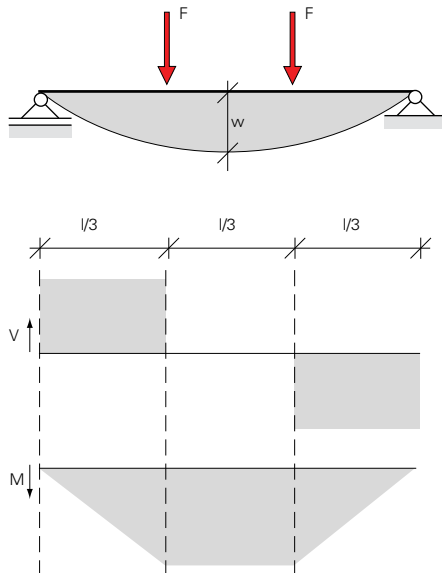
2. Doorsnede van de onderrand van de vakwerk-gording met de geklonken hoekprofielen en daartussen de strip als diagonaal.



3. Proefopstelling vierpunts-buigproef (Structures Laboratory Eindhoven, TU/e).

Omdat de onderrand op de uiteinden gekromd is en daarmee niet plaatsvast in zijdelingse richting, zou de kniklengte zelfs groter kunnen zijn dan de systeemplengte. Maar er zijn ook effecten die de kniklengte gunstig beïnvloeden, zoals de verende steun uit de wandstaven en enige inklemming uit het spant waar de onder- en bovenrand aan verbonden zijn.

De restauratie van de perronkappen van 's-Hertogenbosch, waarbij bleek dat een eenvoudige toets tot aanpassing van alle langsgordingen zou leiden, vormde de aanleiding tot nader onderzoek. Voor het experimentele en numerieke onderzoek zijn destijds studenten van de TU Eindhoven ingezet. Om tot een rekenmethode te komen is ten



4. Principe vierpunts-buigproef.

proefstuk	$I_{y(\text{exp})}$ (10^6 mm^4)
1 (Geldrop/Weert, 2x L60.60.6)	0,76
2 (Geldrop/Weert, 2x L60.60.6)	0,76
3 (Geldrop/Weert, 2x L60.60.6)	0,79
4 (Geldrop/Weert, 2x L60.60.6)	0,76
5 ('s-Hertogenbosch, 2x L60.60.8)	1,01
6 ('s-Hertogenbosch, 2x L60.60.8)	0,98
7 ('s-Hertogenbosch, 2x L60.60.8)	1,01
8 ('s-Hertogenbosch, 2x L60.60.8)	0,99

Tabel 1. Experimenteel bepaalde traagheidsmomenten $I_{y(\text{exp})}$ op basis van meetresultaten.

eerste experimenteel onderzoek gedaan naar de mate van samenwerking van de geklonken hoekprofielen (afb. 2). De stijfheid van de samengestelde onderrand heeft namelijk invloed op de knikgevoeligheid. Ten tweede is numeriek onderzoek verricht voor de ontwikkeling van een rekenmodel waarmee de kniklengte kan worden bepaald. Daarna kan toetsing van de stabiliteit van de gedrukte onderrand plaatsvinden op basis van de vigerende normen met de verkregen gegevens uit bovenstaande stappen.

Experimenteel onderzoek

Voor het experimenteel bepalen van het traagheidsmoment $I_{y(\text{exp})}$ (afb. 2) van de

samengestelde doorsnede is gebruik gemaakt van een vierpunts-buigproef (afb. 3). Daarbij zijn de kracht en vervorming bekend. Hieruit kan met een bekend vergeet-me-nietje het traagheidsmoment worden bepaald:

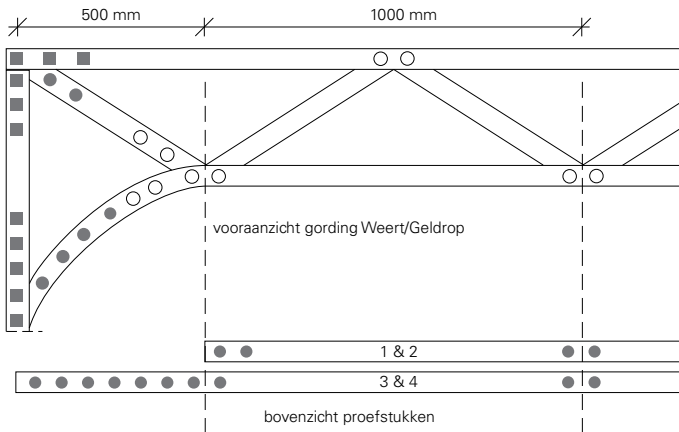
$$w = 5 \cdot F l^3 / 216 \cdot EI \quad (1)$$

Hierin is:

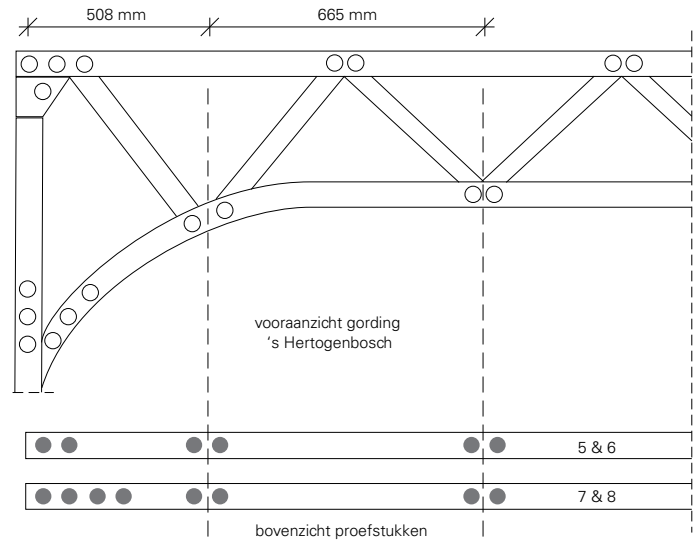
- w de doorbuiging in het midden (afb. 4);
- F de kracht;
- l de overspanning;
- E de elasticiteitsmodulus;
- I het te bepalen traagheidsmoment.

Bij de opleggingen, een scharnier en een rol, is het proefstuk zijdelings ondersteund. Om wringing te voorkomen, grijpt de belasting in het dwarskrachtcentrum aan in plaats van in het zwaartepunt.

Naast de perronkappen van 's-Hertogenbosch speelde dezelfde problematiek ook bij de veel kleinere kappen van Geldrop en Weert. De gordingen variëren in lengte, hoogte, afrondingsstraal nabij de kolommen en het aantal klinknagels in de verbindingen. Bij analyse van de tekeningen is gebleken dat de opzet van de overkapping van station Weert en Geldrop gelijk is. Er kon volstaan worden met onderzoek naar één onderrand bestaande uit twee hoekprofielen 60.60.6. De meest voorkomende gording van de stationskap in 's-Hertogenbosch heeft voor de onderrand een profiel 60.60.8. Om het effect van de eindverankering te weten te komen, werden er voor elk profiel twee verschillende proefstukken afgeleid; één waarbij de eindverankering wordt gerealiseerd door slechts twee klinknagels en één waarbij de eindverankering wordt verkregen door acht of vier klinknagels (afb. 5 en 6 voor de proefstukken van respectievelijk Weert/Geldrop en 's-Hertogenbosch). Voor een betrouwbaar resultaat is elk proefstuk tweemaal gefabriceerd. Er zijn dus acht proefstukken van gelijke lengte gemaakt en beproefd. Elk eerste profiel is belast in het elastische gebied en het tweede profiel is doorbelast tot in het plastische gebied. In tabel 1 is per proefstuk het experimenteel bepaalde traagheidsmoment $I_{y(\text{exp})}$ opgenomen dat is berekend uit de resultaten van de buigproef met formule (1).



5. Principe opbouw van de proefstukken voor Weert/Geldrop ($l = 9,0 \text{ m}$).



6. Principe opbouw van de proefstukken voor 's-Hertogenbosch ($l = 7,0 \text{ m}$).

In de vigerende norm, destijds TGB 1990 (NEN 6771) en nu NEN-EN 1993-1-1, staat een formule ter bepaling van het effectieve traagheidsmoment van drukstaven in de vorm van een (laddervormig) raamwerk:

$$I_{\text{eff}} = 0,5h_0^2 A_{\text{ch}} + 2\mu I_{\text{ch}} \quad (2)$$

Hierin is:

- I_{eff} het traagheidsmoment;
- h_0 de afstand tussen de zwaartepunten van de twee randstaven;
- A_{ch} de oppervlakte van de doorsnede van een deelstaaf;
- μ de bruikbaarheidsfactor;
- I_{ch} het traagheidsmoment van één randstaaf.

Het effectieve traagheidsmoment wordt bepaald door een verschuivingsterm en het traagheidsmoment van de gekoppelde randstaven, in dit geval de twee geklonken hoekstalen.

Vreemd in deze formule is dat juist het altijd aanwezige traagheidsmoment van de randstaven wordt gereduceerd met de bruikbaarheidsfactor μ , die afhangt van de waarde van λ , de slankheid van de samengestelde doorsnede op basis van de lengte van de staaf. De verschuivingsterm wordt in de formule voor I_{eff} volledig meegeteld, maar die hangt juist af van de mate van samenwerking tussen de profielen^[3]. Voorgesteld is daarom een samenwerkingsfactor δ^* toe te voegen aan de verschuivingsterm en de bruikbaarheidsfactor op 1 te stellen:

$$I_{\text{eff}}^* = \delta^* 0,5h_0^2 A_{\text{ch}} + 2I_{\text{ch}} \quad (3)$$

Indien I_{eff}^* nu gelijk wordt gesteld aan de experimenteel vastgestelde $I_{\text{y(exp)}}$, kan de waarde van de samenwerkingsfactor δ^* worden

invoer	gording	station	uiteinde	verbinding wand/rand (uit het vlak)	oplegging in lengterichting
1/2/3	A	Den Bosch	krom	ingeklemd	vast
4	A	Den Bosch	krom	ingeklemd	1-vrij
5	A	Den Bosch	krom	ingeklemd	2-vrij
6	A	Den Bosch	recht	ingeklemd	vast
7	A	Den Bosch	recht	ingeklemd	2-vrij
8	B	Den Bosch	krom	ingeklemd	vast
9	B	Den Bosch	krom	ingeklemd	2-vrij
10	B	Den Bosch	recht	ingeklemd	vast
11	B	Den Bosch	recht	ingeklemd	2-vrij
12	C	Den Bosch	krom	ingeklemd	vast
13	C	Den Bosch	krom	ingeklemd	2-vrij
14	C	Den Bosch	krom	scharnierend	vast
15	C	Den Bosch	recht	ingeklemd	vast
16	C	Den Bosch	recht	ingeklemd	2-vrij
17	D	Den Bosch	krom	ingeklemd	vast
18	D	Den Bosch	krom	ingeklemd	2-vrij
19	D	Den Bosch	recht	ingeklemd	vast
20	D	Den Bosch	recht	ingeklemd	2-vrij
21	A	Geldrop	krom	ingeklemd	vast

Tabel 2. Variatie van de verschillende onderdelen in het FEM model voor de invoer 1 t/m 21.

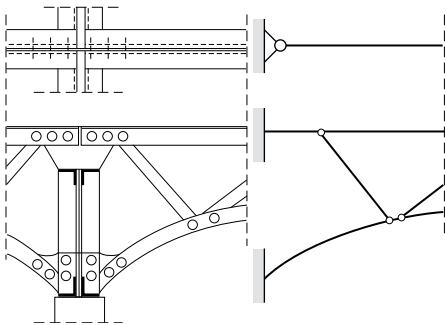
bepaald. Op basis van de buigproeven op de acht proefstukken met deze grote koppellingsafstand volgt uit berekening dat δ^* 44% bedraagt. Dit wil zeggen dat 44% van de verschuivingsterm mag worden toebedeeld aan het traagheidsmoment van de samengestelde doorsnede. Uit de proeven blijkt ook dat het gebruik van meer dan twee klinknagels op de uiteinden van de profielen, nauwelijks invloed heeft op deze waarde.

Numeriek onderzoek

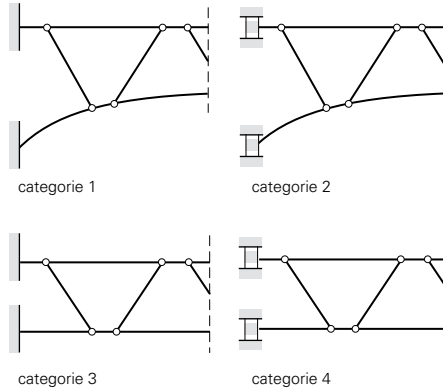
Het doel van het numeriek onderzoek is om een rekenmodel te ontwikkelen waarmee de kniklengte van de geklonken onderrand van vakwerkordingen in oude stationskappen

kan worden bepaald. Met de berekende kniklengten zijn dan de controleberekeningen volgens de huidige norm op een juiste wijze uit te voeren.

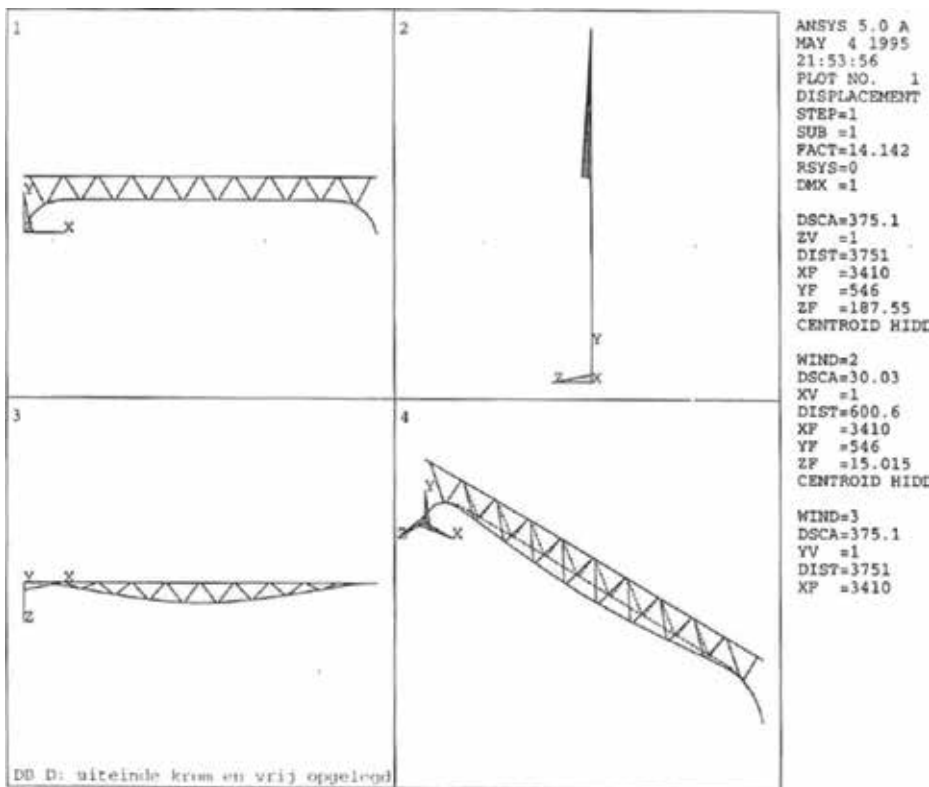
De kniklengte wordt berekend uit de knikkracht die met een eindige-elementenmodel (FEM) is bepaald. Hiervoor is gebruik gemaakt van het rekenprogramma ANSYS 5.0a. Er werd een lineaire knikanalyse uitgevoerd (Linear Buckling Analysis, LBA) waarbij instabiliteit als een eigenwaarde-probleem wordt geformuleerd, waaruit de eigenwaarde berekend kan worden. De laagste eigenwaarde hoort bij de eerste knikvorm die bij instabiliteit door knik zal optreden. De Eulerse knikkracht wordt gevonden door



7. Schematisering oplegging gording.



8. Geschematiseerde opleggingen van de gording in het vlak van het vakwerk, waarbij rekening wordt gehouden met positie en belastingsituatie.



9. Overzicht van het FEM-model en de resultaten van de lineaire knikanalyse behorende bij invoer 18 (gekromde uiteinden, translatievrij in lengterichting).

de maximale normaalkracht uit de statische berekening te vermenigvuldigen met de eigenwaarde: $F_E = N_{\max}$. Door N_{\max} gelijk te stellen aan de Eulerse knikformule $(\pi^2 EI)/(L_{cr})^2$ kan L_{cr} worden berekend:

$$L_{cr} = \sqrt{(\pi^2 EI)/(\alpha_{cr} N_{\max})} \quad (4)$$

De hele gording is (in 3D) gemodelleerd vanwege de gewenste, niet symmetrische, variatie van de oplegcondities op de uiteinden. De oplegging in het vlak van het vakwerk wordt ingeklemd aangenomen, zoals aangegeven in afbeelding 7. Dit is correct voor de modellering van een tussengording die, evenals de aanliggende gordingen, volbelast wordt.

Volbelaste tussengordingen worden beschouwd als categorie 1 en 3 (afb. 8). Volbelaste eindgordingen worden daarentegen gemodelleerd met één translatievrij uiteinde in lengterichting (categorie 2 en 4). Tussengordingen in een schaabordbelasting worden gemodelleerd met twee translatievrije uiteinden, maar tevens voorzien van steun in lengterichting halverwege de gording. Er wordt ook gevarieerd met een gekromd uiteinde van de onderrand (conform de werkelijkheid, categorie 1 en 2) en een volledig horizontaal lopende onderrand (categorie 3 en 4) ter bepaling van het effect van de kromming op de kniklengte. In het vlak van het vakwerk zijn de verbindingen tussen de randen wandstaven scharnierend, maar uit het vlak wordt gevarieerd tussen scharnierend en ingeklemd. In tabel 2 zijn de verschillen per invoer weergegeven.

Resultaten

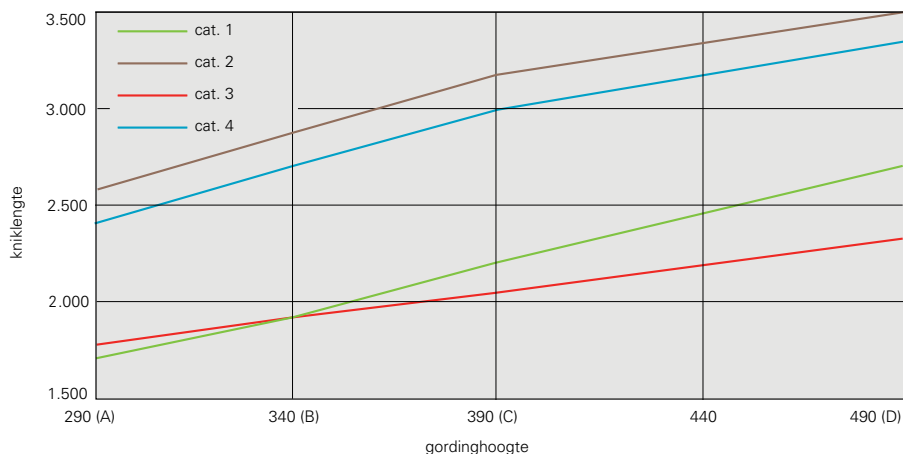
In afbeelding 9 staat een voorbeeld van het FEM-model en is het resultaat van de knikanalyse weergegeven bij invoer 18. In tabel 3 zijn de overige resultaten opgenomen van de verschillende berekeningen met per invoer van tabel 2 de kniklengte als eindresultaat.

Samenwerking tussen hoekprofielen

De buigstijfheid van de onderrand wordt gevarieerd op basis van een mate van samenwerking tussen de hoekprofielen van 0% (los), 44% (experimenteel bepaald) en 100% (star verbonden). Dit zijn invoer 1, 2 en 3 in tabel 2. Tussen 0% of 100% samenwerking zit bijna een factor twee verschil in de eigenwaarde van de gording ten gunste van de volledige samenwerking. Het verschil in kniklengte is slechts 15%. Het verschil in kniklengte tussen de werkelijke mate van samenwerking en de aanname van volledige samenwerking is nog kleiner, namelijk 7%.

Opleggingen in het vlak van het vakwerk

Bij ingeklemd opleggingen treedt er trek op bij de uiteinden van de onderrand waardoor de onderrand gestabiliseerd wordt. Bij één translatievrij uiteinde neemt de eigenwaarde van de gording al drastisch af ten opzichte van een schematisering met twee ingeklemd uiteinden. Bij twee translatievrije uiteinden is



dit effect nog groter, waarbij de eigenwaarden zelfs onder de 10 komen. Bij deze randvoorwaarde zijn de gordingen van Station 's-Hertogenbosch gevoelig voor instabiliteit.

Hoogte vakwerk

Een toename van de hoogte is ongunstig voor de kniklengte (afb. 10). Dit geldt voor alle categorieën en is te verklaren uit het feit dat de wandstaven bij toenemende lengte makkelijker meebuigen met een zijdelingse verplaatsing van de onderrand en dus minder steun kunnen bieden bij knik.

Verbinding rand- en wandstaven

(uit het vlak van het vakwerk)

De strippen ($t = 10$ mm) als diagonale wandstaven van het vakwerk zijn met klinknagels ingeklemd tussen de hoekprofielen en de verbinding wordt daarom momentvast geschematiseerd met betrekking tot buiging uit het vlak. Bij scharnierende verbindingen neemt de kniklengte met 39% toe. De onderrand vindt bij ingeklemde verbindingen dus veel zijdelingse steun uit de wandstaven, ondanks hun buigslappe doorsnede.

Kromming van de uiteinden

Een geringe afbuiging van de onderrand geeft een kleinere kniklengte dan een recht geschematiseerde onderrand. Bij een grotere afbuiging van de onderrand is de kniklengte groter dan bij de recht geschematiseerde versie. Dit effect kan verklaard worden door drie fenomenen die zich tegelijkertijd voordoen bij de toename van de hoogte en de verandering van de kromming die hiermee gepaard gaat. Ten eerste wordt de onderrand ter plaatse van de kromming in mindere mate gesteund door de langere wandstaven. Ten tweede wordt de afstand tussen de oplegpunten van de boven- en onderrand groter en daarmee kunnen de normaalkrachten in de boven- en onderrand afnemen. Tenslotte loopt de helling van de gekromde onderrand steeds steiler bij grotere hoogte van de gording en daardoor neemt de normaalkracht in de onderrand juist toe (de horizontale component blijft immers gelijk). Uit de rekenresultaten van de gemaakte knikberekeningen is niet te achterhalen welke invloed elk fenomeen precies heeft op de kniklengte.

10. Toenemende kniklengte bij toenemende gordinghoogte (bij een systeemplengte L_{sys} van 7,0 m).

invoer	traagheidsmoment I_y (mm ⁴)	N_{max} (kN)	α_{cr}	F_E (kN)	L_{cr} (mm)
1	$I_{y0\%} = 58,2 \cdot 10^4$	13,0	36,9	479,7	1586
2	$I_{y100\%} = 151,3 \cdot 10^4$	13,0	68,9	895,7	1871
3	$I_{y44\%} = 99 \cdot 10^4$	13,0	52,0	676,0	1742
4	$I_{y44\%} = 99 \cdot 10^4$	21,6	19,5	441,2	2207
5	$I_{y44\%} = 99 \cdot 10^4$	35,3	8,7	307,1	2585
6	$I_{y44\%} = 99 \cdot 10^4$	14,5	44,3	642,4	1787
7	$I_{y44\%} = 99 \cdot 10^4$	35,0	9,9	346,5	2433
8	$I_{y44\%} = 99 \cdot 10^4$	11,3	51,1	577,4	1885
9	$I_{y44\%} = 99 \cdot 10^4$	30,8	8,0	246,4	2886
10	$I_{y44\%} = 99 \cdot 10^4$	12,2	46,6	568,5	1900
11	$I_{y44\%} = 99 \cdot 10^4$	30,6	9,1	278,5	2715
12	$I_{y44\%} = 99 \cdot 10^4$	12,0	37,4	448,8	2138
13	$I_{y44\%} = 99 \cdot 10^4$	29,1	7,1	206,6	3151
14	$I_{y44\%} = 99 \cdot 10^4$	12,0	19,3	231,6	2977
15	$I_{y44\%} = 99 \cdot 10^4$	11,2	45,4	508,5	2009
16	$I_{y44\%} = 99 \cdot 10^4$	28,7	8,1	233,5	2971
17	$I_{y44\%} = 99 \cdot 10^4$	6,1	48,1	293,4	2644
18	$I_{y44\%} = 99 \cdot 10^4$	11,9	14,1	167,8	3497
19	$I_{y44\%} = 99 \cdot 10^4$	4,4	88,9	391,2	2290
20	$I_{y44\%} = 99 \cdot 10^4$	11,7	15,5	181,4	3364
21	$I_{y46\%} = 99 \cdot 10^4$	38,1	4,0	152,4	3215

Tabel 3. Resultaten van de invoer 1 t/m 21 (zie tabel 2) van het numerieke onderzoek.

Conclusies onderzoek

De kniklengte van de onderzochte vakwerk-gordingen is maximaal de helft van de systeemplengte en dus conform verwachting veel minder dan eerst aangenomen. Dit komt de toetsing van de stabiliteit van de gording ten goede. De invloed van de mate van samenwerking tussen de geklonken hoekprofielen in de onder- en bovenrand op de kniklengte is ondanks de grote afstand van de klinknagels uiteindelijk gering, ongeveer 15%. Een toename van de hoogte van de vakwerk-gording is altijd ongunstig voor de kniklengte, maar niet zonder meer voor de stabiliteitstoets vanwege de afname van de drukkracht in de randstaven.

Uiteindelijk kon aangetoond worden wat het engineeringgevoel al aangaf: de langsgordingen van de kappen van Station 's-Hertogenbosch voldeden zonder nadere aanpassingen. •

Literatuur

1. H.H. Snijder en L.I. Vákár, *Stabiliteit onderranden van vakwerkliggers bij geklonken oude stationskappen*, Ingenieursbureau NS, mei 1995 (niet openbaar).
2. L.I. Vákár, 'Renovatie Station 's-Hertogenbosch, Oude kappen weer als nieuw, nieuwe kap als oud', *Bouwen met Staal* 146 (1999), p. 16-21.
3. H.H. Snijder, 'Effective second moment of area of uniform built-up members', *Stahlbau* Vol. 87, No. 4 (2018), p. 323-331.