

bouw gerichte moduul voor een zakreken-machine, waardoor het construeren in staal in de toekomst weer vergemakkelijkt wordt.

U zult zich wellicht afvragen, wat heeft de staalbouw voor toekomst en heeft de staalbouw toekomst? Een beschouwing hierover zou te veel tijd vergen. Om hier toch enig inzicht in te geven wil ik inhaken op een rapport dat kort geleden door de Stichting Innovatie Woningbouw werd uitgegeven (brochure I d.d. april 1982). Hierin wordt een grafiek gegeven van de ontwikkeling van de bouwkosten en van de prijsontwikkeling van industrieel vervaardigde metaalprodukten.

Dit rapport concludeert dat de stijging van de bouwkosten buitensporig is in vergelijking met de kosten van de industrieel vervaardigde metaalprodukten.

Toekomst

En hoe zal de staalbouw zich in dit licht ontwikkelen? Staalbouw is immers geen massaproduct. Welnu, de staalbouw zal via verdere industrialisering en rationalisering van de productie, standaardisatie van constructiedetails zonder de flexibiliteit van de constructie als geheel aan te tasten, meer automatische fabricage en voorbereiding hiervan, onder meer met behulp van de genoemde CAD-CAM ontwikkeling, in de toekomst een prijsontwikkeling te zien geven die dicht in de buurt ligt van de in bovenvermeld rapport gegeven prijsontwikkeling voor industrieel vervaardigde metaalprodukten.

Reeds is deze ontwikkeling de laatste tien jaar al duidelijk te onderkennen bij de dunne plaatconstructies. Bijv. bij de bouw van bedrijfshallen is het vrij normaal geworden dat deze in staalconstructie worden uitgevoerd, voorzien van stalen of aluminium wanden en daken. Er is hier nu al een vergaande automatisering ingezet. Ook bij de zware staalconstructies begint de invloed van de rationalisering en voortschrijdende mechanisering van de productie merkbaar te worden.

Zelfs in de woningbouw, waar de staalbouw in de afgelopen 100 jaar slechts een zeer bescheiden rol heeft gespeeld, acht ik thans de tijd rijp voor een zeer belangrijke ontwikkeling van de toepassing van staalen aluminium constructies.

Uit het voorgaande moge duidelijk zijn dat het SG een onafhankelijke en levenskrachtige vereniging is, die voor de dagelijkse uitoefening van de activiteiten een nauwe samenwerking onderhoudt met het Staalcentrum Nederland. Ik stel het dan ook op hoge prijs dat ons bureau thans in deze behuizing, samen met het bureau van het Staalcentrum kan worden ondergebracht, waardoor de efficiency van de werkzaamheden kan worden vergroot om de staalbouw nog beter ten dienste te staan.

Toepassing van buisprofielen bij staal-betonkolommen (3)

Beoordeling van het gedrag bij brand

door ir L. Twilt, TNO-IBBC, Rijswijk;
dr ir J. Wardenier, TH Delft, Adviseur Staalconstructies;
ir A. K. de Groot, TNO-IBBC, Rijswijk.



Dit artikel is het laatste in een serie van drie artikelen betreffende de toepassing van buisprofielen bij staal-betonkolommen. In het eerste artikel, dat verschenen is in Bouwen met Staal no. 54 (maart 1981) werd meer in het algemeen aandacht besteed aan de eigenschappen en toepassingsmogelijkheden van buisprofielen.

De in Nederland en elders gehanteerde rekenmethoden voor de draagkracht van staal-betonkolommen bij kamertemperatuur werden in Bouwen met Staal no. 58 (maart 1982) besproken.

Thans zal nader worden ingegaan op het gedrag bij brand. Zoals reeds in het eerste artikel van deze reeks werd opgemerkt kan, onder bepaalde voorwaarden, de beton-vulling van de buiskolom leiden tot een gedrag bij brand dat aanzienlijk gunstiger is dan dat van stalen buiskolommen zonder betonvulling. Het analyseren van deze voorwaarden alsmede het aangeven van ontwerpregels waarmee het gedrag bij brand kan worden gekwantificeerd, zijn onderwerp van uitgebreid (internationaal) onderzoek. Hier zal in het navolgende worden ingegaan. Eerst moet echter kort worden stilgestaan bij de uitgangspunten van de brandpreventie in Nederland en bij de daarbij gehanteerde beoordelingsgrondslagen.

Uitgangspunten bij brandpreventie en beoordelingsgrondslagen

Brand in een gebouw kan ernstig gevaar opleveren voor de aanwezige personen. Bovendien gaat brand vaak gepaard met omvangrijke schade, zowel aan de inhoud van het gebouw als aan de constructie. Ook kunnen omringende gebouwen worden bedreigd.

Met het treffen van brandveiligheidsvoorzieningen wordt beoogd ongevallen door brand zoveel mogelijk te voorkomen en de materiële brandschade tot een aanvaardbaar niveau te beperken. Voor zover het de bouwconstructie betreft, gaat het er om dat de toegepaste constructie-onderdelen gedurende een zekere tijd weerstand moeten

kunnen bieden aan een brand. Men dient in dit verband te bedenken dat onder invloed van de temperatuurstijging, die tijdens brand in een bouwconstructie kan optreden, de sterkte en stijfheidseigenschappen van de gebruikelijke bouwmaterialen belangrijk afnemen. Bovendien blijkt de thermische uitzetting van de meeste bouwmaterialen niet onaanzienlijk. Als gevolg van één en ander zal een constructiedeel, blootgesteld aan brand, vervormen of zelfs kunnen bezwijken.

De tijd die een constructiedeel weerstand kan bieden aan een brand is vanzelfsprekend sterk afhankelijk van de temperatuursontwikkeling tijdens de brand. Dit temperatuursverloop wordt bepaald door onder meer de aard en de hoeveelheid van de brandbare materialen en door de ventilatiecondities, en vertoont van geval tot geval grote verschillen. In de praktijk van de brandbeveiliging wordt echter gebruik gemaakt van een aangenomen temperatuursverloop, dat min of meer representatief mag worden geacht voor een volledig ontwikkelde brand in woningen, kantoren e.d., de zogenaamde 'standaardbrandkromme' [1]. In afbeelding 1 is de standaardbrandkromme grafisch weergegeven.

De tijd die een constructie-onderdeel weerstand biedt aan een brand, die volgens de standaardbrandkromme verloopt, wordt de brandwerendheid genoemd. Om de brandwerendheid te kunnen bepalen moeten behalve de brandomstandigheden, ook beoordelingscriteria worden vastgelegd. Deze criteria hangen nauw samen met de functie die het betreffende constructiedeel tijdens brand moet vervullen. Voor constructiedelen met uitsluitend een dragende functie, geldt slechts één brandwerendheidscriterium: bezwijken onder invloed van de op de constructie werkende belasting. Deze situatie doet zich voor bij kolommen. In gevallen waarbij ook sprake is van een scheiden-de functie, moet bovendien het constructiegedrag worden beoordeeld op thermische isolatie en vlamdichtheid. Daar deze criteria bij de beoordeling van de brandwerendheid van kolommen geen rol spelen, zullen

ze in het volgende buiten beschouwing worden gelaten.

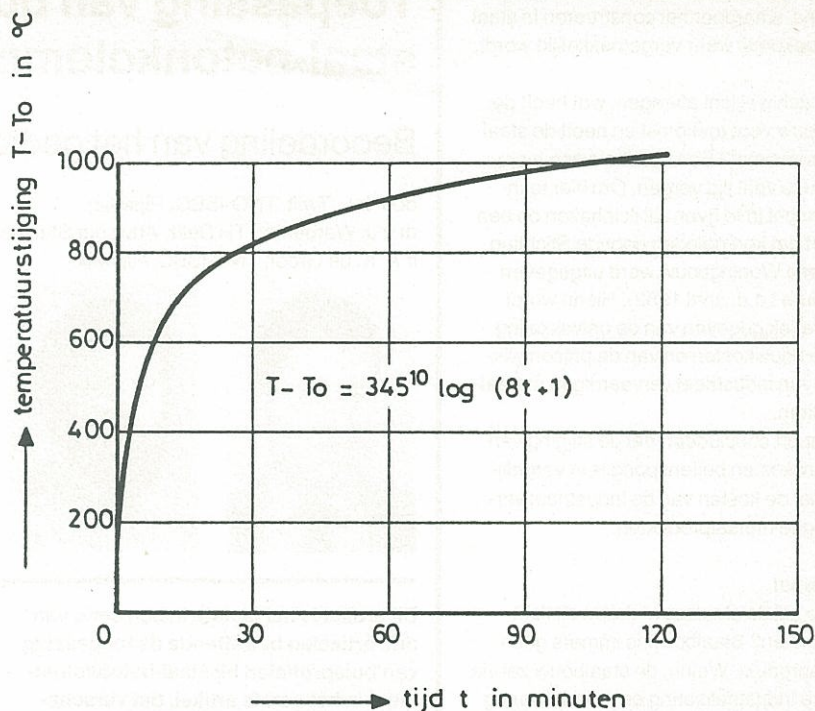
Eisen ten aanzien van de brandwerendheid worden in Nederland met name gesteld door de gemeentelijke overheid en soms ook door de verzekering. Voor zover het de overheid betreft, kan deze zich daarbij beroepen op verschillende wetten en gemeentelijke verordeningen. De Model Bouwverordening, samengesteld door de Vereniging van Nederlandse Gemeenten, vervult daarbij een belangrijke harmoniserende functie [2].

Ten aanzien van de zwaarte van de hierboven bedoelde eisen geldt dat 30 (soms 20) minuten als een minimum moet worden beschouwd. Dergelijke eisen worden bijvoorbeeld gehanteerd voor eengezinswoningen indien voldoende vluchtmogelijkheden zijn gegarandeerd. Een brandwerendheidseis van 120 minuten kan, in Nederland althans, praktisch gesproken als een maximum worden opgevat. Ze wordt gesteld aan de hoofddragconstructie van hoge woongebouwen, kantoorflats e.d. Tussengliggende eisen voor de brandwerendheid komen veelvuldig voor, met dien verstande dat steeds wordt uitgegaan van veelvouden van 30 minuten, dus (30) - 60 - 90 - (120) minuten.

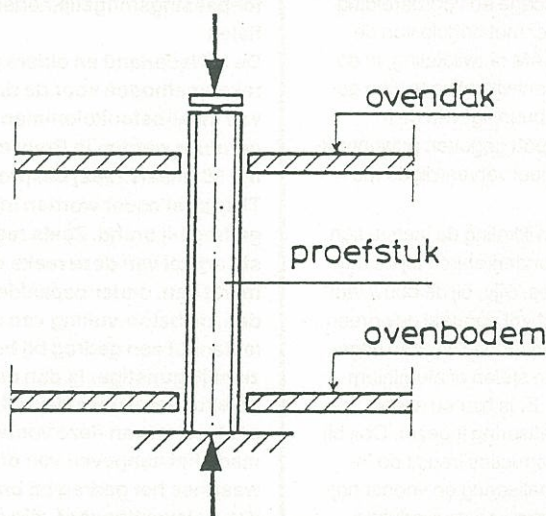
Tenslotte wordt opgemerkt dat lang niet altijd expliciete brandwerendheidseisen worden gesteld. Het betreft hier gevallen waarin het te verwachten brandverloop belangrijk gunstiger is dan dat volgens de standaardbrand en/of waarbij een vroegtijdig bezwijken van de constructie geen grote risico's voor persoonlijke ongelukken met zich meebrengt. Situaties waarin op dergelijke gronden wel van brandwerendheidseisen wordt afgezien, zijn lage industriegebouwen, open parkeergarages e.d.

Bepaling van de brandwerendheid van kolommen

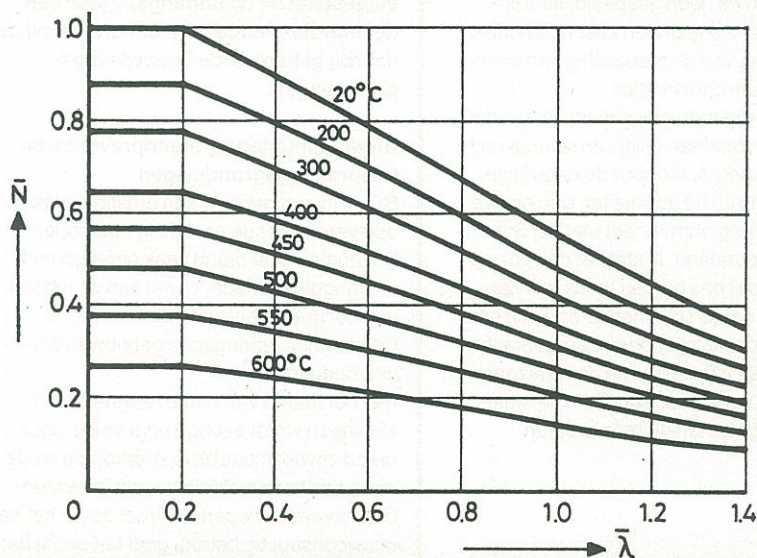
Traditioneel wordt de brandwerendheid langs experimentele weg vastgesteld. Hier toe wordt het te beoordelen constructiedeel voor of in de oven geplaatst en onderworpen aan een verhitting volgens de standaardbrandkromme. De proef wordt uitgevoerd onder de ontwerpbelasting. Met name bij de experimentele bepaling van de brandwerendheid van kolommen doen zich verschillende praktische problemen voor. Zo zal in werkelijkheid een kolom altijd verbonden zijn met aansluitende constructiedelen (liggers, vloeren, andere kolommen). De randvoorwaarden kunnen daarmee van geval tot geval variëren. Bij de standaard brandwerendheidsproef wordt hier, om praktische redenen, geen rekening mee gehouden. Uitgegaan wordt van een sterk vereenvoudigd beproevingsmodel waarbij veelal één van de kolomuiteinden volledig wordt ingeklemd, terwijl het andere scharnierend wordt opgelegd. De belasting wordt centrisc ingevoerd [3]. Wel wordt de hoogte van de kolom tijdens de proef zodanig gekozen, dat de slankheid correspondeert met de praktijkomstandigheden. Verder



Afbeelding 1. De standaardbrandkromme



Afbeelding 2. Principeschets van een gebruikelijke proefopstelling ter bepaling van de brandwerendheid van kolommen



Afbeelding 3. Knikkrommen voor stalen kolommen onder brandomstandigheden [5]

worden effecten van (gedeeltelijk) verhin-
derde uitzetting verwaarloosd, terwijl wordt
aangenomen dat de kolom alzijdig wordt
verhit. Een prinscheschets van de proefop-
stelling is weergegeven in afbeelding 2.
Het zal duidelijk zijn dat de aldus vast te
stellen brandwerendheid van kolommen
geen directe relatie heeft met het gedrag
van de kolom onder praktijkomstandighe-
den, maar meer moet worden gezien als
een relatieve classificatie.

Afgezien van de hiervoor aangestipte pro-
blematiek, levert de interpretatie van de ex-
perimenteel bepaalde brandwerendheid
nog een aantal problemen op. In de eerste
plaats is het niet zonder meer mogelijk de
uitkomst van één experiment te extrapole-
ren naar andere situaties, bijvoorbeeld met
betrekking tot het belastingniveau. Dit is
een erg belangrijke beperking omdat de
belasting een aanzienlijke invloed op de te
bereiken brandwerendheid heeft.
Een volgend probleem is dat zowel de re-
produceerbaarheid van proeven, uitge-
voerd in één oven, als ook de onderlinge
vergelijkbaarheid van identieke proeven
(uitgevoerd in verschillende ovens) met na-
me voor kolommen betrekkelijk slecht blij-
ken te zijn [4]. Een praktisch bezwaar ten-
slotte is, dat de kosten van een experimen-
tele brandwerendheidsbepaling hoog zijn.

Een en ander heeft ertoe geleid dat zowel
op nationaal als op internationaal niveau
reeds geruime tijd gezocht wordt naar ana-
lytische methoden om de brandwerendheid
van kolommen te bepalen. Een eerste doel
van dit onderzoek is langs theoretische
weg de uitkomst van een standaard proef
te voorspellen.

De mogelijkheden van een rekenkundige
bepaling van de brandwerendheid zijn het
verst ontwikkeld voor stalen kolommen. Zo
worden in [5] knikkrommen gepresenteerd,
geldig bij verhoogde temperatuur. Deze
krommen zijn in afbeelding 3 weergegeven
[6].

Op de horizontale as is de slankheidspara-
meter λ uitgezet, waarvoor geldt: (zie ook
het vorige artikel in deze serie).

$$\lambda = \frac{\lambda}{\pi \sqrt{E}} \frac{\sigma_e}{\sigma_e}$$

met:

λ = de slankheid van de kolom

E = elasticiteitsmodulus van staal bij ka-
mertemperatuur (N/mm^2)

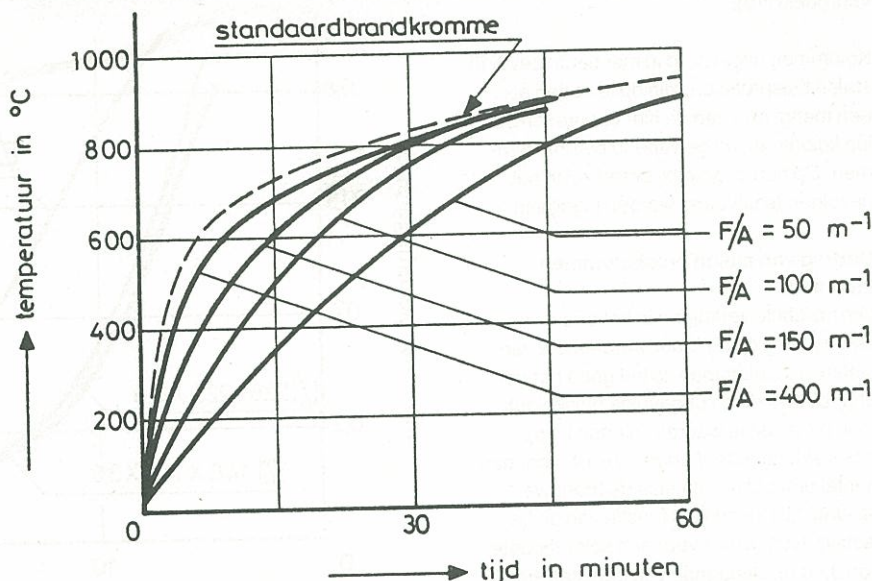
σ_e = vloeigrens van staal bij kamertempe-
ratuur (N/mm^2)

Op de verticale as is de dimensieloze para-
meter $\bar{N}$ uitgezet, waarvoor geldt:

$$\bar{N} = \frac{\sigma}{\sigma_e}$$

met:

σ = de gemiddelde drukspanning in de
kolom onder de bij brand maatgeven-



Afbeelding 4. Het verloop van de temperatuur in een onbeschermd staalprofiel onder invloed van de standaardbrand

de belasting (N/mm^2)
 σ_e = de vloeispanning van staal bij kamer-
temperatuur (N/mm^2)

Analytische uitdrukkingen voor de knik-
krommen worden in [5] gegeven. Voor al-
ternatieve knikkrommen bij brand wordt
verwezen naar [7].

Na berekening van $\bar{\lambda}$ en $\bar{N}$ volgt uit afbeel-
ding 3 de temperatuur waarbij de kolom
geacht wordt te bezwijken. Deze tempera-
tuur wordt de kritieke temperatuur ge-
noemd, waarbij ervan wordt uitgegaan dat
de temperatuursverdeling in de kolom uni-
form is. Om de brandwerendheid vast te
kunnen stellen, dient nog slechts een
schatting gemaakt te worden van het ver-
loop van de staaltemperatuur bij verhitting
volgens de standaardbrandkromme. Ook
hiervoor is een rekenmodel opgesteld, zie
bijv. [7]. Daaruit blijkt dat de toename van
de staaltemperatuur, behalve door het
brandverloop, ook nog in belangrijke mate
wordt beïnvloed door de geometrie van het
staalprofiel. Dit effect wordt verdisconteerd
door de zgn. profielfactor in te voeren,
waarvoor geldt:

$$\text{profielfactor} = \frac{F}{A} \quad (\text{m}^{-1})$$

met:

F = staalomtrek per m^1 waarlangs warmte
wordt toegevoerd (m^2/m)

A = staalinhoud per m^1 waardoor warmte
wordt opgenomen (m^3/m)

Enige berekeningsresultaten, geldend voor
onbeklede staalprofielen, zijn weergegeven
in afbeelding 4. Horizontaal is de tijd uitge-
zet; verticaal de staaltemperatuur. Iedere
kromme geldt voor één bepaalde waarde
van de profielfactor. De standaardbrand-
kromme is eveneens ingetekend.

Voor alzijdig verhitte I profielen kan, blij-
kens de hiervoor gegeven definitie, de pro-
fielfactor berekend worden uit het quotiënt:

$$\frac{F}{A} = \frac{\text{verfoppervlak}}{\text{staalinhoud}} \quad (\text{m}^{-1})$$

Voor de gebruikelijke walsprofielen blijkt de
aldus te berekenen profielfactor te variëren
tussen 50 en 400 m^{-1} . Voor 'holle' buispro-
fielen geldt bij goede benadering:

$$\frac{F}{A} \approx \frac{1}{t} \quad (\text{m}^{-1})$$

met: t = wanddikte van het buisprofiel in m.

Uitgaande van een praktische range voor t
van 20 tot 2,5 mm, leidt dit eveneens tot
profielfactoren variërend van 50 tot 400 m^{-1} .

Met behulp van afbeeldingen 3 en 4, kan
op eenvoudige wijze de brandwerendheid
van stalen kolommen worden beoordeeld.
In verband met een aantal, ten opzichte
van de beproevingspraktijk ongunstige, be-
rekeningsaannamen, mag hierbij de belas-
ting die tijdens de standaardproef zou moe-
ten worden aangehouden met 15% worden
gereduceerd. Zie ook [5] en [8].

De analytische bepaling van brandwerend-
heid van gewapend betonkolommen is veel
gecompliceerder dan die van stalen kolom-
men. De ontwikkeling op dit gebied is, me-
de daarom, ook minder ver gevorderd.
Daarbij komt dat het gedrag van betonko-
lommen bij brand in veel gevallen minder
kritisch is dan dat van stalen kolommen.
Voor zover het algemeen geaccepteerde
methoden betreft, geeft [9] enige aanwijn-
gen. Bepalend is daarbij het temperatuurni-
veau van het wapeningsstaal. De invloed
van belasting en slankheid komt slechts
impliciet tot uitdrukking. Hoewel dus, an-
ders dan voor stalen kolommen, algemeen
aanvaarde berekeningsmethoden voor de
brandwerendheid van betonkolommen ont-
breken, zijn in diverse onderzoekcentra

dergelijke methoden wel ontwikkeld. Zie bijvoorbeeld [10].

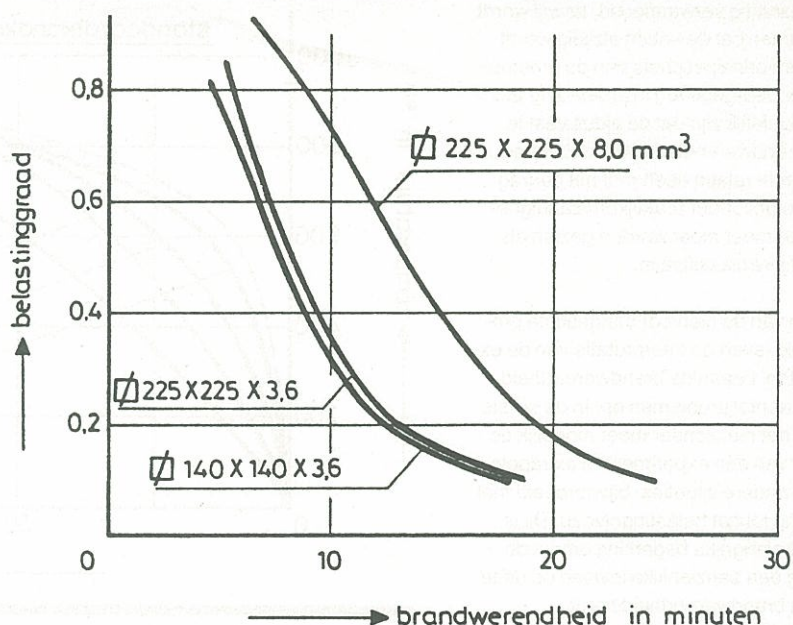
Kolommen uitgevoerd in met beton gevulde stalen buisprofielen, zijn op te vatten als een mengvorm van de hier besproken stalen kolommen en gewapend betonkolommen. Op hun gedrag bij brand zal in het navolgende uitvoerig worden ingegaan.

Gedrag van stalen buiskolommen bij brand

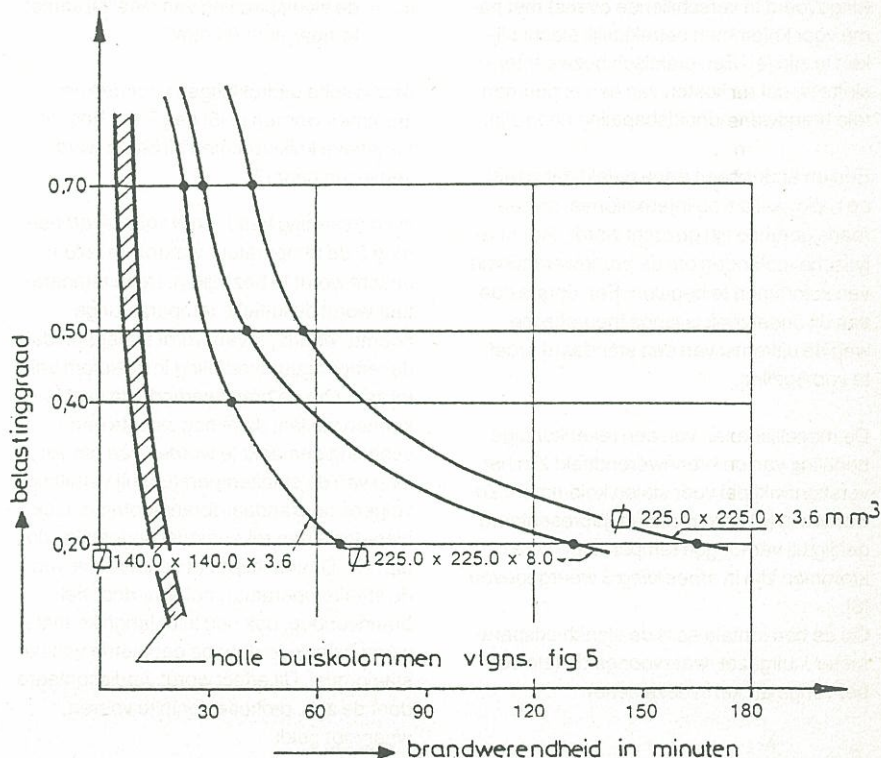
Om inzicht te verkrijgen in het effect van betonvulling op de brandwerendheid van stalen buiskolommen, is het goed het gedrag bij brand van onge vulde buiskolommen nader uit te werken. Hiertoe is, op basis van de afbeeldingen 3 en 4, voor een aantal praktische situaties de brandwerendheid berekend als functie van de belasting. Gekozen is voor een kolomhoogte van 3,60 m. Uitgaande van een statisch systeem zoals dit bij standaard brandwerendheidsproeven veelal zal worden aangehouden – zie bijvoorbeeld afbeelding 2 – leidt dit tot een kniklengte van $0,7 \times 3,60 = 2,52$ m. De analyse is verder beperkt tot een drietal profielafmetingen, te weten $\varnothing 140 \times 140 \times 3,6$; $\varnothing 225 \times 225 \times 3,6$ en $\varnothing 225,0 \times 225,0 \times 8,0$ mm³. De berekeningsresultaten zijn weergegeven in afbeelding 5. In deze figuur is op de horizontale as de brandwerendheid uitgezet en op de verticale as de belasting, betrokken op de rekenkundige bezwijkbelasting bij kamertemperatuur. Uit afbeelding 5 blijkt dat de te verwachten brandwerendheid betrekkelijk gering is. Zo zal bij een belastingsniveau van 0,67, corresponderend met de gebruikelijke belastingsfactor van 1,5, slechts op een brandwerendheid mogen worden gerekend van ca. 10 minuten. Deze situatie verbetert als het belastingsniveau daalt. Dit betekent echter wel dat de kolom dan wordt overgedimensioneerd.

De situatie wijzigt zich aanzienlijk indien het buisprofiel gevuld wordt met beton. Dit wordt geïllustreerd in afbeelding 6, waarin de resultaten zijn uitgezet van brandwerendheidsproeven op met beton gevulde buiskolommen [11]. Om een vergelijking met het gedrag bij brand van de 'holle' buiskolommen te vereenvoudigen, zijn de berekeningsresultaten volgens afbeelding 5 eveneens ingetekend in afbeelding 6. De proefresultaten hebben betrekking op dezelfde buisprofielen als waarvoor de hierboven besproken brandwerendheidsberekening is uitgevoerd. Ook de kniklengte (=2,92 m) stemt overeen. De belasting is, evenals in afbeelding 5, uitgedrukt in de berekende bezwijkbelasting bij kamertemperatuur. Bij de bepaling van deze bezwijkbelasting zijn de kolommen opgevat als staalbetonkolommen, d.w.z. dat de bijdrage van het beton tot de draagkracht in rekening is gebracht [14].

Met nadruk wordt erop gewezen dat bij de aldus berekende bezwijkbelasting is uitgegaan van de minimaal gegarandeerde mechanische eigenschappen van staal en beton, corresponderend met de gebruikte



Afbeelding 5. De brandwerendheid van 'holle' stalen buiskolommen als functie van de belastinggraad



Afbeelding 6. Het effect van de vulling met ongewapend beton op de brandwerendheid van stalen buiskolommen

staalsoort, respectievelijk betonkwaliteit. De wijze waarop in afbeelding 6 de proefresultaten zijn gepresenteerd, geeft daarom een iets vertekend beeld van de invloed van de belasting op de brandwerendheid [5]. Omdat deze presentatie echter volledig in overeenstemming is met de algemeen aanvaarde interpretatie van brandwerendheidsproeven [1], is hier toch voor gekozen.

In kwalitatieve zin kan het hierboven gesignaleerde verschil in gedrag bij brand als volgt worden verklaard:

- door de aanwezigheid van het beton in de buiskolom wordt de warmtecapaciteit ten opzichte van het holle buisprofiel ver-

groot; hierdoor zal de staaltemperatuur minder snel stijgen.

- bij stijging van de temperatuur boven ca. 300°C zal de stijfheid van het staal belangrijk afnemen. In het geval van de gevulde buiskolom zal daarom een herverdeling van krachten optreden, waarbij een gedeelte van de belasting die aanvankelijk werd gedragen door het staalprofiel, overgenomen wordt door de betonkern. Deze herverdeling van krachten is bij de onge vulde kolom uiteraard niet mogelijk.

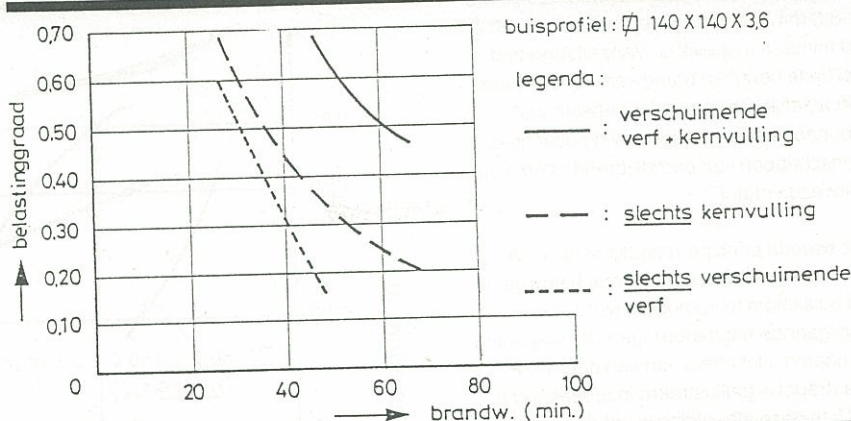
Beide omstandigheden leiden ertoe dat – bij eenzelfde wanddikte en belastinggraad – de brandwerendheid van een met beton

gevulde buiskolom groter is naarmate de dwarsafmetingen groter worden gekozen. Gesproken wordt wel van het zgn. 'massa-effect'. Een illustratie hiervan vormt het in afbeelding 6 weergegeven verschil in brandwerendheid tussen een kolom $\varnothing 140 \times 140 \times 3,6$ en $\varnothing 225 \times 225 \times 3,6$ mm³. De keuze van een grotere wanddikte daarentegen blijkt een negatieve invloed op de brandwerendheid te hebben. Vergelijk afbeelding 6 voor de kolommen $\varnothing 225 \times 225 \times 3,6$ en $\varnothing 225 \times 225 \times 8,0$ mm³. De verklaring van dit verschijnsel is dat, naarmate de wanddikte van het buisprofiel groter is, het aandeel van het staal in de belastingoverdracht belangrijker wordt. Tijdens brand zal de kracht, die onder kamertemperaturomstandigheden door het staal wordt opgenomen, voor een belangrijk deel worden overgedragen op het beton. Naarmate deze kracht groter is zal – bij een zekere betonddoorsnede – het beton tijdens brand zwaarder worden belast en zal de brandwerendheid dus geringer zijn. Uit het voorgaande zal verder duidelijk zijn dat het begrip 'profielfactor', zoals dit bij staalprofielen wordt gehanteerd, bij met beton gevulde buisprofielen geen betekenis heeft.

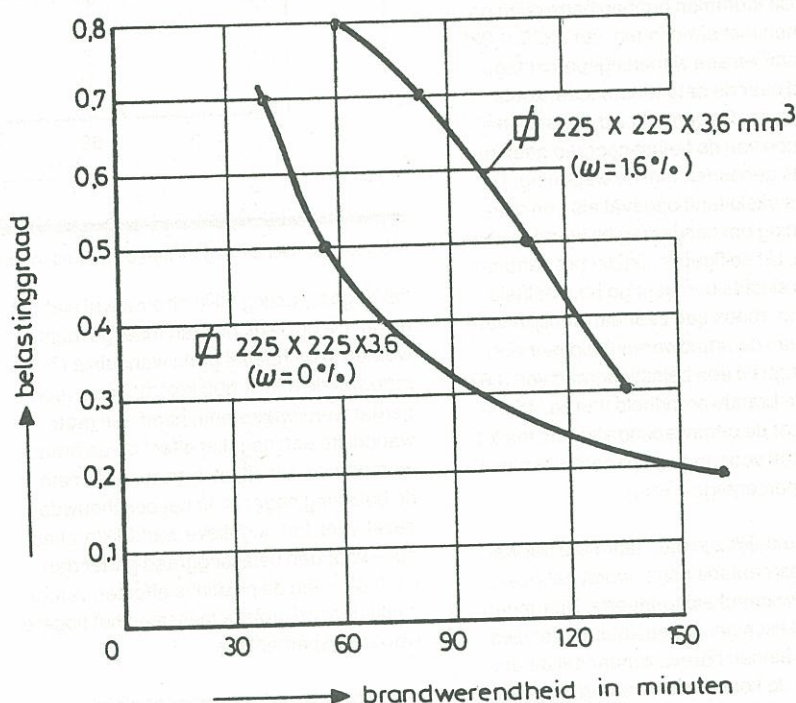
Beschouwt men de uitkomsten van de brandwerendheidsproeven meer in kwantitatieve zin, dan blijkt dat voor een bij kamertemperatuur volbelaste kolom (belastingsfactor 1,5; belastinggraad

$$\gamma = \frac{1}{1,5} \approx 0,67$$

een brandwerendheid van meer dan 30 minuten kan worden bereikt. Zelfs bij relatief grote dwarsafmetingen (225×225 mm²) en geringe wanddikte ($t = 3,6$ mm) blijft de belastinggraad echter onder de 0,50 te moeten dalen om een brandwerendheid van 60 minuten te kunnen bereiken. Vastgesteld moet daarom worden dat door betonvulling het gedrag van stalen buiskolommen bij brand weliswaar aanzienlijk wordt verbeterd, maar dat onder de maximale gebruiksbelasting slechts aan minimale eisen voor de brandwerendheid kan worden voldaan. Dit kan verklaard worden doordat het staal aan de buitenzijde van de kolom relatief snel in temperatuur stijgt. Zo blijkt uit proeven dat, bij in de praktijk gebruikelijke wanddikten en dwarsafmetingen, de staaltemperatuur na 30 minuten standaardbrand reeds 600 à 700°C bedraagt, hetgeen slechts ca. 100°C lager is dan in het geval van ongevulde buisprofielen [12]; zie ook afbeelding 3. Een en ander betekent, dat na 30 minuten, de sterkte en stijfheid van het stalen buisprofiel tot 10 à 15% van de waarde bij kamertemperatuur is gedaald. Het temperatuursverloop in het beton is vanzelfsprekend aanzienlijk gunstiger dan in het staal. Voor kolommen met dwarsafmetingen van 200×200 mm² blijft na 30 minuten de temperatuur in de betonkern, met uitzondering van een gebied vlak langs de rand, niet hoger dan ca. 220 °C te zijn [12]. De mechanische eigenschappen van het beton nemen bij een dergelijke temperatuur niet noemenswaardig af. Om-



Afbeelding 7. Het effect van vulling met ongewapend beton in combinatie met de toepassing van verschuimende verf op de brandwerendheid van stalen buiskolommen



Afbeelding 8. Het effect van de vulling met gewapend beton op de brandwerendheid van stalen buiskolommen

dat de sterkte en stijfheid van het stalen buisprofiel vrijwel wegvalt, gedraagt de kern zich na 30 minuten echter als een nagenoeg ongewapende betonkolom. Bui-gende momenten, ontstaan door toevallige excentriciteit van de belasting en/of het niet geheel recht zijn van de kolom, kunnen door deze kern slechts in beperkte mate worden opgenomen. Omdat de hier bedoelde momenten ook bij centrische belasting altijd aanwezig zullen zijn, zal de brandwerendheid van de met beton gevulde buiskolom niet veel meer dan 30 minuten bedragen, tenzij de belasting – en daarmee ook de hierboven bedoelde excentriciteitsmomenten – laag wordt gekozen.

Uit het voorgaande blijkt dat er in beginsel twee manieren zijn om het gedrag bij brand van met beton gevulde buiskolommen te verbeteren:

- het vertragen van de temperatuurstijging in het stalen buisprofiel;
- het aanbrengen van wapening in de betonkern.

De eerste oplossing houdt in dat de kolom

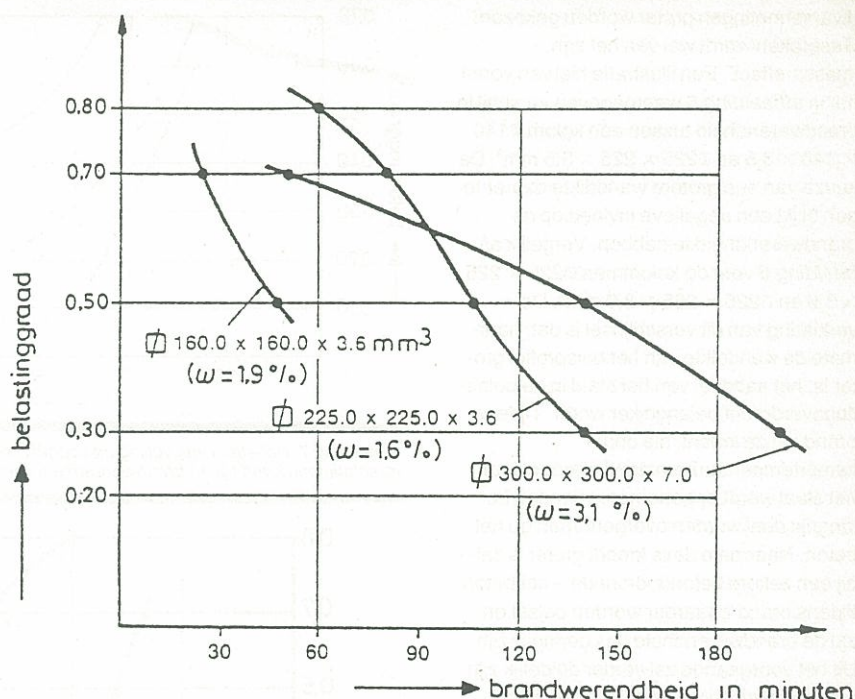
op de één of andere manier moet worden voorzien van een isolerende bekleding. Een nadeel van het gebruik van platen en vormstukken in dit verband is, dat de dwarsafmetingen van de kolom hierdoor aanzienlijk kunnen toenemen. Ook het typerende aanzien van de staalconstructie gaat verloren. Beide aspecten zijn vaak belangrijke motieven bij de keuze voor buisprofielen. Toepassing van platen of vormstukken is, vanuit dit oogpunt gezien, minder aantrekkelijk. Een alternatief kan worden gevonden door het toepassen van zgn. brandwerende verf. Dergelijke verf heeft de eigenschap om, blootgesteld aan een temperatuurstijging, te verschuimen. De schuimlaag, die overigens slechts gedurende een beperkte tijd in tact blijft, beschermt het onderliggende staal tegen snelle indringing van warmte. Resultaten van experimenteel onderzoek wijzen erop dat een gecombineerde toepassing van kernvulling met beton en verschuimende verf, een niet onaanzienlijke toename van de brandwerendheid geeft [13]. In afbeelding 7 is hiervan een illustratie gegeven, waaruit blijkt

dat nu ook voor een buiskolom $\varnothing 140 \times 140 \times 3,6$ mm³ een brandwerendheid van 30 à 60 minuten mogelijk is. Vanzelfsprekend zal de te bereiken brandwerendheid mede afhankelijk zijn van de toegepaste verf. Voor een nadere beschouwing over de eigenschappen van brandwerende verf wordt verwezen naar [7].

Als tweede principe-mogelijkheid om de brandwerendheid van een met beton gevulde buiskolom te verhogen, werd in het voorgaande het aanbrengen van wapening genoemd. Het effect van een dergelijke maatregel is geïllustreerd in afbeelding 8 [11]. In deze afbeelding is, op een zelfde wijze als in afbeelding 6, de experimenteel vastgestelde brandwerendheid uitgezet tegen de rekenkundig bepaalde belastinggraad. De krommen hebben betrekking op kolommen met afmetingen van $\varnothing 225 \times 225 \times 3,6$ mm³ en een wapeningspercentage, bepaald over de betondoorsnede, zoals aangegeven. Opgemerkt wordt dat bij het berekenen van de belastinggraad geen rekening is gehouden met de wapening. Deze is dus uitsluitend opgevat als een extra voorziening om het gedrag bij brand te verbeteren. Uit de figuur blijkt dat het aanbrengen van slechts een geringe hoeveelheid wapening, reeds een zeer aanzienlijke verhoging van de brandwerendheid met zich meebrengt: bij een belastinggraad van 0,67 neemt de brandwerendheid van ca. 45 minuten voor de ongewapende kolom, toe tot 90 minuten voor de gewapende kolom (wapeningspercentage 1,6%).

Het zal duidelijk zijn dat, naarmate het wapeningspercentage hoger wordt gekozen, de brandwerendheid toeneemt. Daarmee komt praktisch gesproken iedere brandwerendheid binnen bereik, zonder dat de omvang van de kolom moet worden vergroot of dat het aanzien ervan wordt geschaad. Dit maakt de methode bijzonder aantrekkelijk. Bij het vaststellen van het effect van de wapening moet men er overigens op bedacht zijn dat de andere factoren die het gedrag bij brand bepalen, zoals wanddikte en dwarsafmetingen, ook bij de gewapende kolommen een rol spelen. Hierdoor wordt de interpretatie van experimentele gegevens al gauw gecompliceerd. Ter illustratie wordt verwezen naar afbeelding 9. De achtergronden van deze figuur zijn dezelfde als die van afbeelding 8. Uit de figuur blijkt dat de brandwerendheid van de $\varnothing 160 \times 160 \times 3,6$ -kolom geringer is dan die van de $\varnothing 225 \times 225 \times 3,6$ kolom, ondanks het hogere wapeningspercentage (resp. 1,9 en 1,6%). De verklaring is gelegen in het gunstiger massa-effect bij de $\varnothing 225 \times 225 \times 3,6$ -kolom.

Het verschil tussen het gedrag bij brand van de kolommen $\varnothing 225 \times 225 \times 3,6$ ($\omega = 1,6\%$) en $\varnothing 300 \times 300 \times 7$ ($\omega = 3,1\%$) is als volgt toe te lichten. Zowel gezien het massa-effect als op grond van de wapening zou de brandwerendheid van de laatstgenoemde kolom systematisch hoger moeten zijn dan van de eerstgenoemde. Voor een rela-



Afbeelding 9. Het gedrag bij brand van verschillende, met gewapend beton gevulde stalen buiskolommen

tief hoge belasting blijft dit evenwel niet het geval. De oorzaak hiervan moet gezocht worden in de relatief grote wanddikte (7 mm) van de 300×300 kolom. Zoals reeds eerder werd opgemerkt, heeft een grote wanddikte een negatief effect op de brandwerendheid. Dit effect is groter naarmate de belasting hoger is. In het beschouwde geval 'wint' het negatieve wanddikte-effect het – voor een belastinggraad groter dan ca. 0,60 – van de positieve effecten veroorzaakt door de grotere massa en het hogere wapeningspercentage.

Uit de beschouwingen naar aanleiding van afbeelding 9 blijkt dat het niet eenvoudig is om op basis van de invloed van één bepaalde parameter, concrete conclusies ten aanzien van de brandwerendheid van met beton gevulde buiskolommen te trekken. Hiertoe is systematisch onderzoek naar het effect van de verschillende parameters noodzakelijk. Een dergelijk onderzoek is in Frankrijk uitgevoerd door Cométube, onder begeleiding van CIDECT. Op aanpak en resultaten van dit onderzoek, waarover in [12] wordt gerapporteerd, zal in het navolgende worden ingegaan.

Ontwerpregels ter bepaling van de brandwerendheid

Het onderzoek beschreven in [12] omvatte in het totaal 86 brandwerendheidsproeven op met beton gevulde buiskolommen. De belangrijkste parameters die het gedrag bij brand beïnvloeden werden systematisch gevarieerd. Het betreft hier:

- de belastinggraad;
- de dwarsafmetingen (inclusief wanddikte buisprofiel);
- het wapeningspercentage.

Daarnaast werd onder meer aandacht geschonken aan het effect van opzettelijk

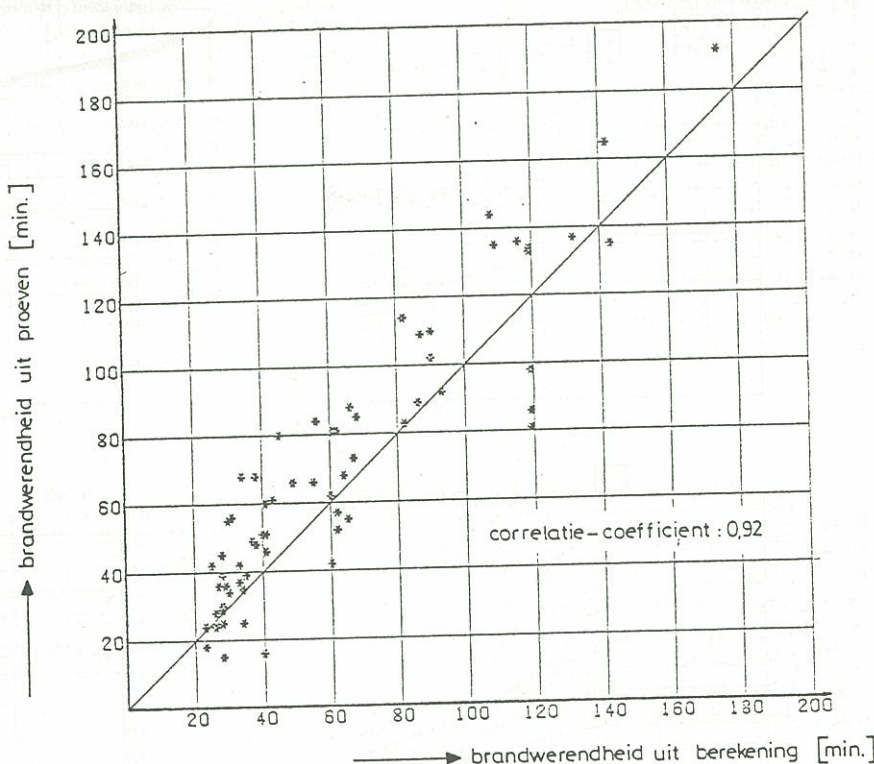
aangebrachte excentriciteiten, de kwaliteit van het toegepaste beton en de kniklengte. De resultaten van het onderzoek werden theoretisch geanalyseerd. Hiertoe werd een warmtestroommodel opgesteld ter berekening van de temperatuurverdeling in de kolomdoorsnee als functie van de tijd. Uitgegaan werd van standaardbrandomstandigheden. Het bezwijkgedrag van de kolom werd in eerste instantie geanalyseerd op basis van de door Guiaux en Janss ontwikkelde berekeningsmethode [14]. Uitgangspunt vormden de mechanische eigenschappen van het staal en het beton, zoals toegepast in de verschillende beproefde kolommen, uiteraard aangepast aan de verhoogde temperatuur. De aldus te berekenen brandwerendheid bleek voor wapeningspercentages groter dan ca. 1,5%, goed overeen te komen met de experimenteel gevonden waarden. Voor lagere wapeningspercentages en voor ongewapende buiskolommen bleek de berekende brandwerendheid aanzienlijk hoger te zijn dan de experimenteel gevonden waarden. Dit geldt met name voor middelslanke kolommen in combinatie met een relatief hoge belasting (belastinggraad > 0,40). Het verschil tussen theoretische en experimentele resultaten wordt in [12] verklaard door het optreden van de hiervoor reeds besproken toevallige excentriciteiten, die ook bij centrisc belaste kolommen nooit geheel zijn te voorkomen.

Onder kamertemperaturomstandigheden zullen de momenten, die ten gevolge van deze excentriciteiten ontstaan, voornamelijk door het staalprofiel worden opgenomen. Het effect hiervan op de stabiliteitsgedrag van de kolom wordt in rekening gebracht door de knikkrommen voor staalbetonkolommen af te stemmen op die geldig voor de onge vulde kolom, de zgn. ECCS-knikkrommen.

Laatstgenoemde knikkrommen zijn experimenteel vastgesteld en wel zodanig dat het effect van toevallige excentriciteiten erin is verdisconteerd. Zie ook het vorige artikel uit deze serie. Zoals reeds eerder plausibel werd gemaakt, mag onder brandomstandigheden na ca. 30 minuten niet meer gerekend worden op een belangrijke bijdrage van het buisprofiel in de krachtsoverdracht. Dit betekent dat de excentriciteitsmomenten nu voornamelijk door de betonkern moeten worden opgenomen. De betonkern zal zich, met name als zij niet of nauwelijks gewapend is, onder invloed van de excentriciteitsmomenten aanzienlijk ongunstiger gedragen dan een stalen kolom, omdat beton slechts zeer geringe trekspanningen kan opnemen. Een sterkteberekening, die ontwikkeld is voor kamertemperatuursomstandigheden – en waarbij slechts de mechanische eigenschappen van staal en beton zijn aangepast aan de verhoogde temperatuur – zal bijgevolg te hoge waarden voor de brandwerendheid opleveren. Het feit dat onder de hierboven geschetste omstandigheden betreffende belasting en slankheid, de invloed van de toevallige excentriciteiten het grootst is, is geheel in overeenstemming met deze verklaring.

Teneinde een betere overeenstemming te verkrijgen tussen de experimenteel gevonden brandwerendheid en de berekende waarden, bleek het daarom noodzakelijk het aanvankelijk gekozen rekenmodel bij te stellen. Uit het voorgaande zal duidelijk zijn dat deze bijstelling met name betrekking dient te hebben op de beschrijving van het gedrag van de betonkern. Met dit doel wordt in [12] een reductiefactor geïntroduceerd waarmee de betondruksterkte zoals die in eerste instantie in het rekenmodel werd ingevoerd, moet worden vermenigvuldigd. Deze reductiefactor is afhankelijk van de belastinggraad, het wapeningspercentage en de slankheid. De regels op grond waarvan de reductiefactor wordt vastgesteld, zijn zodanig gekozen dat een optimale correlatie wordt gevonden tussen proefresultaat en berekeningsresultaat. Voor het uiteindelijke effect wordt verwezen naar afbeelding 10. Hierin zijn de uitkomsten van de proeven beschreven [12], uitgezet tegen de brandwerendheid zoals die tenslotte is berekend. Bij een volledige overeenstemming tussen experiment en berekening zouden alle in afbeelding 10 weergegeven punten op de diagonaal moeten liggen. Dit is vanzelfsprekend niet het geval. Vastgesteld kan echter worden dat de overeenstemming zeer redelijk is (correlatiecoëfficiënt 0,92), terwijl in de meeste gevallen de berekening veilige uitkomsten voorspelt.

De hiervoor geschetste benaderingswijze lijkt op het eerste gezicht wellicht wat pragmatisch. Opgemerkt wordt echter dat een dergelijke aanpak, zeker waar het stabiliteitsproblemen betreft, niet ongebruikelijk is. Zo zijn de hiervoor reeds genoemde ECCS-knikkrommen bij kamertemperatuur in feite op een soortgelijke wijze vastgesteld. Daarbij werd het effect van de toeval-



Afbeelding 10. Vergelijking tussen de experimenteel gevonden brandwerendheid en theoretisch voorspelde waarden [12]

lige excentriciteiten in rekening gebracht door een vooruitbuiging in te voeren, afhankelijk van factoren zoals slankheid, profielvorm en staalsoort. De grootte van deze vooruitbuiging is eveneens op basis van knikproeven bepaald.

Tengevolge van de tijds- en temperatuursafhankelijkheid van het gestelde probleem, is het uitvoeren van de berekening gecompliceerd. Oplossingen kunnen slechts verkregen worden met behulp van een computer. Om het rekenwerk te vereenvoudigen zijn daarom, op basis van het rekenmodel, ontwerpgrafieken samengesteld. Een voorbeeld van dergelijke grafieken, geldig voor buiskolommen met afmetingen van $\varnothing 250 \times 250 \times 3,6 \text{ mm}^3$ is weergegeven in afbeelding 11. Elk van de grafieken geldt voor één bepaalde brandduur. In de figuur is hierbij onderscheid gemaakt tussen 30, 60, 90 en 120 minuten. Op de horizontale as is steeds de kniklengte uitgezet; op de verticale as staat de belasting. De getrokken lijnen geven het verband aan tussen de kniklengte en de belasting die bij de aangegeven brandduur nog juist kan worden overgebracht. Voor verschillende combinaties van wapeningspercentage en betonkwaliteit gelden aparte krommen. Een complicatie bij de interpretatie van de figuren is, dat de betondruksterkte – zoals in Frankrijk gebruikelijk – uitgedrukt is in de cylindredruksterkte na 90 dagen ($= \sigma'_{b,cyl,90}$). In Nederland is het gebruikelijk de betonkwaliteit uit te drukken in de kubusdruksterkte na 28 dagen ($\sigma'_{b,kub,28}$). Tussen beide grootheden bestaat het volgende globale verband:

$$\sigma'_{b,kub,28} \approx 1,15 \sigma'_{b,cyl,90}$$

Hiermede kunnen de ontwerpgrafieken worden 'vertaald' voor Nederlands gebruik. De toepassing van de ontwerpgrafieken kan worden geïllustreerd met behulp van het volgende rekenvoorbeeld:

Rekenvoorbeeld

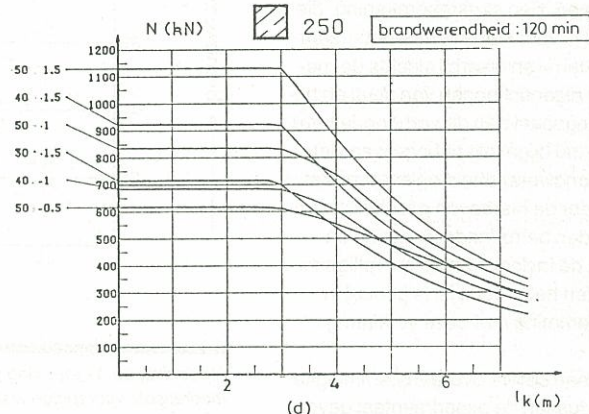
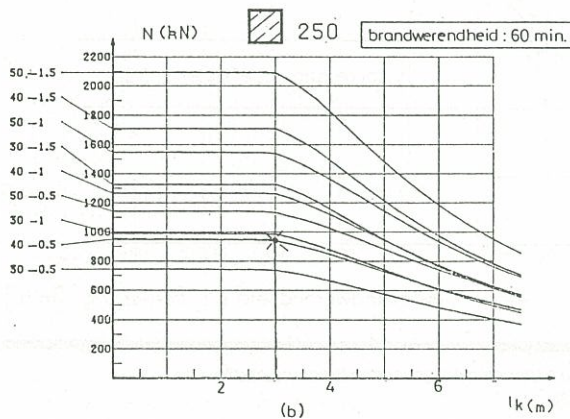
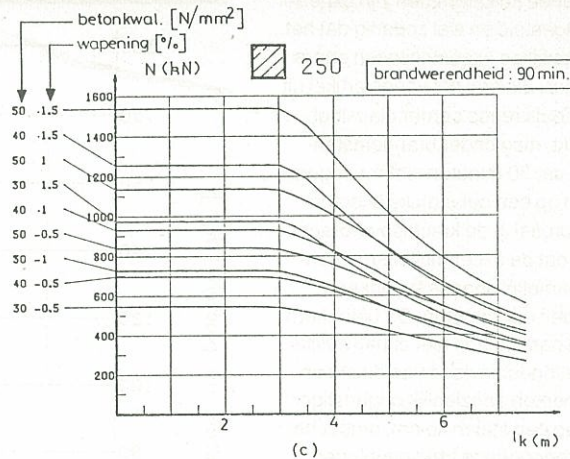
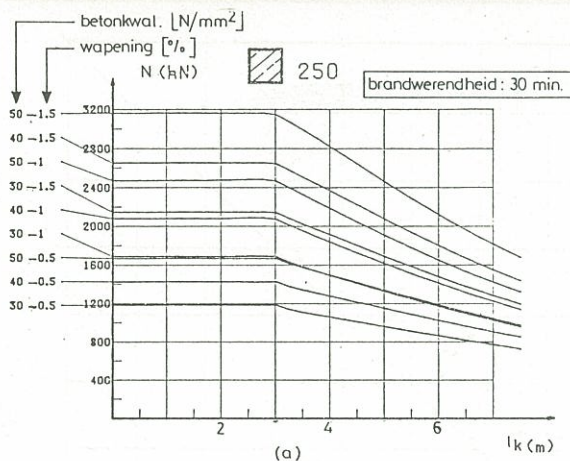
Uitgegaan wordt van een met beton gevulde buiskolom in een kantoorflat. De afmetingen van het buisprofiel bedragen $\varnothing 250 \times 250 \times 3,6 \text{ mm}^3$. De kniklengte is 3 m en de ontwerpbelasting bij kamertemperatuur bedraagt 950 kN.

Gevraagd wordt de kolom zodanig te ontwerpen dat een brandwerendheid wordt bereikt van 60 minuten.

Oplossing

Uit afbeelding 11^b wordt afgelezen dat voor $N = 950 \text{ kN}$ en $\ell_k = 3,00 \text{ m}$ een betonkwaliteit corresponderend met een druksterkte van 40 N/mm^2 in combinatie met een wapeningspercentage van 0,5% voldoet. Als alternatief kan ook worden uitgegaan van een betonkwaliteit van 30 N/mm^2 en een wapeningspercentage van 1%.

In [12] worden ontwerpgrafieken gegeven voor vierkante profielen variërend van 140×140 tot $400 \times 400 \text{ mm}^2$; voor ronde profielen varieert de diameter van 139 tot 450 mm. Slechts voor de kolommen met relatief geringe dwarsafmetingen worden ontwerpgrafieken gegeven voor een ongewapende betonkern. Als grenswaarde is hierbij 200 mm aangehouden. Overweging is dat, in de hier bedoelde gevallen, het wapenen van de kern om praktische redenen niet goed mogelijk is in verband met het gevaar van ontmenging van het beton. Verder wordt opgemerkt dat bij de keuze



Abbeelding 11. Ontwerpgrafieken ter bepaling van de brandwerendheid van met beton gevulde stalen buiskolommen

van de buisprofielen waarvoor in [12] ontwerpgrafieken zijn gegeven, steeds is uitgegaan van minimale wanddikten. Motief hiervoor is dat, zoals uit de voorgaande beschouwingen over gedrag van buiskolommen bij brand is gebleken, voor minimale wanddikten een optimale brandwerendheid wordt bereikt. Overigens zal toepassing van de ontwerpgrafieken op profielen met een grotere wanddikte tot veilige oplossingen leiden omdat niet van een relatieve belastingsgraad, maar van de belasting zelf wordt uitgegaan. Omdat de berekeningen zijn uitgevoerd voor staal met een nominale vloeispanning van 235 N/mm², zal toepassing van de grafieken voor buisprofielen met een hogere vloeispanning eveneens een onderschatting opleveren van de werkelijke brandwerendheid.

Naast de hierboven behandelde uitgangspunten en beperkingen van de ontwerpgrafieken, is het gebruik ervan nog aan een aantal uitvoeringstechnische voorwaarden verbonden. Zo moeten bij de verdeling van de langswapening over de doorsnede bepaalde regels in acht worden genomen, één en ander afhankelijk van de dwarsafmetingen van de kolom. Hetzelfde geldt voor de dwarswapening, terwijl ook een zekere betondekking moet worden aangehouden. Voor aanwijzingen in dit verband wordt verwezen naar [12].

Een wat minder voor de hand liggende uitvoeringsregel tenslotte, betreft het voorkomen van drukopbouw tengevolge van verdampend water. Uit onderzoek dat reeds in

de jaren vijftig in Duitsland is uitgevoerd, is namelijk gebleken dat hierdoor vroegtijdig bezwijken van de kolom kan optreden [15]. Bij het hier besproken Franse onderzoek zijn daarom alle kolommen voorzien van 4 gaten $\varnothing$ 10 mm, ter plaatse van doorsneden op 500 mm van de kop en van de voet van de kolom. Bij geen van de proeven heeft de drukopbouw door verdampen van water tot complicaties geleid, waaruit mag worden geconcludeerd dat de getroffen maatregelen afdoende waren.

Slotopmerking

In het bovenstaande is toegelicht waarom het gedrag bij brand van met beton gevulde buiskolommen, met name indien wapening is dan het gedrag bij brand van 'holle' buisprofielen onder overigens vergelijkbare omstandigheden. De achtergronden van een Franse ontwerpmethod, waarmee de brandwerendheid op eenvoudige wijze kan worden bepaald, zijn besproken. Deze ontwerpmethod berust op een modificatie van het door Guiaux en Janss opgestelde rekenmodel, ter bepaling van de draagkracht van staalbetonkolommen bij kamertemperatuur.

Zoals uit het vorige artikel in deze serie bleek, wijken de in Nederland voor te stellen rekenmethoden, geldig voor kamertemperaturomstandigheden, op een aantal punten af van de Guiaux-Janss method. In praktische gevallen blijken de verschillen evenwel gering, zodat toepassing van de Franse method ter bepaling van de brandwerendheid alleszins verantwoord is. Een

bewerking van de Franse method, met het doel deze meer toegankelijk te maken voor de praktijk in Nederland, wordt daarom aanbevolen.

Literatuur

- [1] NEN 3891 'Richtlijnen brandbeveiliging van gebouwen, Deel 1: Algemeen gedeelte' Nederlands Normalisatie Instituut, Rijswijk, december 1971.
- [2] 'Model Bouwverordening'. Vereniging van Nederlandse Gemeenten, Den Haag, december 1978.
- [3] Dekker, J., Klingelhöfer, N. G. and Vandeveld, P. 'Testing and classification of the resistance to fire of structural building components'. Proposal to EEC, 1982.
- [4] Witteveen, J. and Twilt, L. 'A critical view on the results of standard fire resistance tests on steel columns'. Fire Safety Journal, 4 (1981/82) 259-270, Elsevier Sequoia SA, Lausanne.
- [5] ECCS-Committee 3: Fire Safety of Steel Structures. 'European recommendations for the fire safety of steel structures'. European Convention of Construction Steelwork, June 1982.
- [6] Janss, J. and Minne, R. 'Buckling of steel columns in fire conditions'. Fire Safety Journal 4 (1981/82) 227-235, Elsevier Sequoia SA, Lausanne.
- [7] Twilt, L. en Witteveen, J. 'Brandveiligheid Staalconstructies'. Staalcentrum Nederland en Staalbouwkundig Genootschap, Rotterdam, juli 1980.
- [8] Pettersson, O. and Witteveen, J. 'On the critical temperatures of steel elements derived from conventional fire resistance tests and from calculations'. Fire Safety Journal 2, 1979/1980, Elsevier Sequoia SA, Lausanne.

Nieuwe bouwloods Van der Giessen-de Noord in Krimpen a/d IJssel

Nadat in 1965 de Commissie Keijzer een eerste aanzet had gegeven tot verbetering van de situatie in de Nederlandse scheepsbouw, heeft de Commissie Winsemius aanbevelingen opgesteld voor de grote scheepsbouw, in casu het RSV-concern (1970-1971). In 1972 wordt de logische stap naar de middelgrote scheepsbouw gemaakt, waarin onder meer inhalen van de investeringsachterstand wordt bepleit. Tijdens het uitwerken van de voorstellen

door GNK werd in eerste instantie het overdekt bouwen op zeer grote schaal als te futuristisch beschouwd en verworpen. Wel werd aan het Bureau Aronsohn de opdracht verstrekt tot het doen van een grondige analyse van loodskosten, variërend in breedte en hoogte, in samenhang met bijpassende hijsvermogens en kosten van kranen. Uit deze studie zou blijken dat het overdekt bouwen op deze schaal binnen de mogelijkheden zou liggen.

Ontwerp en constructie van de bouwloods

Op het werfterrein in Krimpen a/d IJssel moesten aanvankelijk komen:

1. Een lasloods, lang 140 m, breed 45 m

[9] 'FIP-CEB Recommendations for the Design of Reinforced and Prestressed Concrete Structural Members for Fire Resistance'. Series Guides to Good Practice, June 1975.

[10] Gantvoort, G. J. 'Brandveiligheid betonconstructies'. Rapport TNO-IBBC BI72-72, 1972.

[11] Tournay, M. 'Fire resistance of concrete filled HSS'. International Symposium on Hollow Structural Sections, Toronto, 1977. (Zie ook voordrachtenbundel Symposium Buisconstructies, Delft, 1977).

[12] Grandjean, G., Grimault, J. P. et Petit, L. 'Détermination de la durée au feu des profils creux remplis de béton'. Rapport Final pour la Commission des Communautés Européennes, Convention no. 7210 SA/3/302, 1980.

[13] Tournay, M. 'Profil creux remplis de béton'. Annales de l'Institut Technique du Bâtiment et des Travaux Publics. Serie Construction Métallique no 78, Supplément au no 342, Septembre 1976.

[14] Guiaux, P. et Janss, J. 'Comportement au flambement des tubes en acier remplis de béton'. CRIF, MT 65, Novembre 1970.

[15] Boué, P. 'Der Feuerschutz im Stahlhochbau ins besondere von Stahlstützen'. Dissertation aan de Technische Hogeschool Aken, Aken 1958.

- en hoog 35 m, waarin drie bovenloopkranen met een hijsvermogen van 90 ton elk.
2. Een dokhal, lang 100 m, breed 85 m en hoog 45 m, waarin drie bovenloopkranen met eveneens een hijsvermogen van 90 ton elk.
3. Uitbreidingen van de bestaande loodsen en nog een nieuwe brandersloods.

Op het werfterrein in Alblasserdam moesten eveneens uitbreidingen, respectievelijk wijzigingen plaatsvinden van bestaande loodsen. Hier was een lasloods gepland van 85 m lang. De kosten van deze loodsen werden groot, waarbij de opdrachtgever was geïnteresseerd in variaties ten aanzien van de breedte van loodsen en het hijsvermogen van de bovenloopkranen. Deze problematiek is in *afbeelding 1* grafisch weergegeven.

Hierbij werd uitgegaan van een aantal vaste gegevens, zoals:

- kosten gevel f 100,—perm2;
- kosten dak f 70,—perm2;
- betonvoeten f 450,— per m3 gewapend beton;
- betonpaal f 1.600,—per stuk;
- staalconstructie f 2,25 per kg.

Alle prijzen waren gebaseerd op prijspeil september 1977. Basis voor de grafieken waren de op *afbeelding 7* weergegeven loodsen.

Parallel aan deze studie ontwikkelde GNK een alternatief investeringsplan, waarbij het dok kwam te vervallen en werd vervangen door een helling.

Het bleek dat de kosten per m2 loodsoepervlakte bij grote overspanningen nauwelijks varieerden. Slechts indien de overspanningen onevenredig klein of groot werden, weken de kosten sterk af van het gemiddelde.

Dit inzicht heeft GNK ertoe gebracht, in

door ir J. N. de Jong, adjunct-directeur Van der Giessen-de Noord (GNK);
F. Stokla, directeur Raadgevend Ingenieursbureau Aronsohn bv;
R. W. Verhey, chef afdeling Staalconstructies Bailey nv;
J. van Rooijen, chef afdeling Staalconstructies Hollandia-Kloos nv.



bouwen
met
staal

17

afwijking van de oorspronkelijke gedachte, te overwegen de sectieloods en de helling onder één dak te brengen. De kosten per m² bleken bij deze samengestelde loods met h = 45 m onder het spant minder dan bij de twee afzonderlijke loodsen. Hiermee stond de keuze van GNK vast. De basis van de huidige bouwloods was gelegd. Een groot voordeel van deze geïntegreerde loods was mede, dat handelingen en transporten konden worden beperkt en vereenvoudigd.

Programma van eisen

Akoustiek

Het overdekt bouwen heeft behalve voordelen ook nadelen. Bij het bouwen van schepen in de open lucht wordt het geproduceerde lawaai nagenoeg niet gereflecteerd. In een loods met stalen binnenbeplating is de absorptie zeer gering en de reflectie dus groot. Hierdoor kan bij de geëigende geluiden van een scheepswerf een onwerkbaar geluidsniveau in de loods ontstaan.

Beproevingen en studie leidden tot constructies en oplossingen, die op deze schaal nog niet eerder zijn toegepast. Dit geldt speciaal voor de dak- en gevelbeplating, die aan de binnenzijde van de loods zijn geperforeerd met daarachter minerale wol voor de geluidsabsorptie.

Isolatie

De isolatie van daken en gevels moest thermisch zodanig zijn, dat bij lage buitentemperaturen tenminste een verschil van 10°C kon worden bereikt. De gekozen minerale wol platen c.q. dekens ten behoeve van de akoustiek waren ruimschoots voldoende om aan deze klimaatseisen te voldoen.

Daglicht

Daglicht-toetreding was mogelijk via de gevels en/of via het dak. Technisch gezien kunnen daklichten meer onderhoud vragen