

Bouw
Van Mourik Broekmanweg 6
Postbus 49
2600 AA Delft

TNO-rapport

2007-D-R1302/B

Windbelasting op grote steigers

T +31 15 276 30 00
F +31 15 276 30 10
info-BenO@tno.nl

Datum 29 november 2007
Auteur(s) Dr.ir. C.P.W. Geurts
Ir. C.A. van Bentum
Ir. P.E.J.M. de Winter

Opdrachtgever VSB

Projectnummer 034.77211/01.01

Rubricering rapport

Titel
Samenvatting
Rapporttekst
Bijlagen

Aantal pagina's 16 (incl. bijlagen)
Aantal bijlagen

Alle rechten voorbehouden. Niets uit dit rapport mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, fotokopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande schriftelijke toestemming van TNO.

Indien dit rapport in opdracht werd uitgebracht, wordt voor de rechten en verplichtingen van opdrachtgever en opdrachtnemer verwezen naar de Algemene Voorwaarden voor onderzoeksopdrachten aan TNO, dan wel de betreffende terzake tussen de partijen gesloten overeenkomst.

Het ter inzage geven van het TNO-rapport aan direct belanghebbenden is toegestaan.

Inhoudsopgave

1	Inleiding.....	3
2	Probleemstelling.....	4
3	Overzicht van bestaande rekenregels.....	5
3.1	Inleiding.....	5
3.2	NEN 6702.....	5
3.3	NEN-EN 1991-1-4.....	5
3.4	DIN 1055 deel 4, 2005.....	7
3.5	Oostenrijkse B 1991-1-4.....	9
3.6	VSB richtlijn 2007.....	11
3.7	NEN EN 12811-1, NEN EN 12810-2, NEN EN 12810-1.....	11
3.8	Literatuur: N.J. Cook: The Designer's Guide to Wind Loading, Part 2.....	12
3.9	Conclusies.....	12
4	Voorstel voor de richtlijn	14
4.1	Procedure.....	14
4.2	Voorbeeld.....	14
5	Referenties.....	16

1 Inleiding

Bij grote steigers wordt de windbelasting bepaald door de belasting op de individuele staanderrijen afzonderlijk te bepalen. De totale belasting volgt dan uit de sommatie van deze afzonderlijke belastingen. De mate waarin achter elkaar liggende rijen zorgen voor afscherming is een vraag die een belangrijke invloed heeft op deze totale belasting.

Binnenkort wordt de regelgeving voor windbelasting op constructies in heel Europa opgenomen in de Eurocode. Steigers vallen hier ook onder. Dit rapport is opgesteld in opdracht van de VSB, om tot een eenduidige interpretatie van de regelgeving te komen voor de mate waarin afscherming leidt tot een reductie van de totale belasting. Naast de Eurocode voor windbelasting, EN 1991-1-4 speelt ook de EN 12810 en EN 12811 een rol. Daarnaast worden de regels van de huidige Nederlandse norm NEN 6702 beschouwd, en is over de grens gekeken naar bestaande richtlijnen. Op basis van die documenten wordt een voorstel geformuleerd voor het in rekening brengen van de belastingen op (grote) steigers.

2 Probleemstelling

Grote steigers kunnen worden beschouwd als een ruimtevakwerk van meerdere achter elkaar geplaatste staafwerken. De belasting op de totale constructie wordt bepaald door de sommatie van alle resulterende krachten op de individuele onderdelen. Indien meerdere staven achter elkaar worden geplaatst, kan bij grote steigers een situatie ontstaan dat de totale windlast groter wordt, dan wanneer de complete steiger afgeschermd (dus zonder wind door te laten) wordt uitgevoerd. Dit is overigens geen ondenkbare situatie.

De thans door de VSB gehanteerde richtlijn wijkt op dit punt af van NEN 6702, wat de vraag heeft doen rijzen welke regels gehanteerd moeten worden. Omdat daarnaast de Eurocode is gepubliceerd wordt aansluiting gezocht bij deze regelgeving. Als voorbeeld is door de VSB in een notitie d.d. 17-4-2007 een voorbeeldsteiger gedefinieerd, die ook hier als basis wordt gebruikt. Deze steiger heeft een slaghoogte van 2 meter, een breedte van 1,8 meter. Voor de steigerpijpen wordt een doorsnede van 50 mm aangehouden. Een vloerdeel is 75 mm hoog, en een kantplank 200 mm. Dit levert een aangestroomd oppervlak op van 22% voor een steigerdeel met leuning, en 9% voor een steigerdeel met een schoor. Het tweede vlak en verder is het aangestroomde oppervlak alleen de steigerpijp zelf, dit is ongeveer 3%.

Dit rapport concentreert zich op steigers met per staanderrij een zogeheten volheidsgraad van maximaal 30%. De volheidsgraad is gedefinieerd als de verhouding van het door de wind aangestroomde oppervlak van steigermateriaal, gedeeld door het totale oppervlak van de steiger (de omhullende).

$$\varphi = \frac{A}{A_c}$$

waarin:

- A is de som van de geprojecteerde oppervlakken van de staven en knooppunten van het vlak geprojecteerd loodrecht op het vlak.
- A_c is de oppervlakte omsloten door de randen van het vlak, geprojecteerd loodrecht op het vlak = $d \ell$.

3 Overzicht van bestaande rekenregels

3.1 Inleiding

In dit hoofdstuk worden verschillende rekenregels besproken en wordt aan de hand van een voorbeeld aangegeven wat de uitwerking ervan betekent voor de windbelasting op steigers. Hierin komen de Nederlandse, Duitse en Oostenrijkse regelgeving langs, wordt de VSB richtlijn beschouwd en is een theoretische beschouwing uit de literatuur opgenomen. Per document wordt aangegeven hoe veel de totale belasting afhankelijk is van de volheidsgraad van de constructie en aantal staanderrijen. Voor steigers is een volheidsgraad van maximaal 30% van belang.

3.2 NEN 6702.

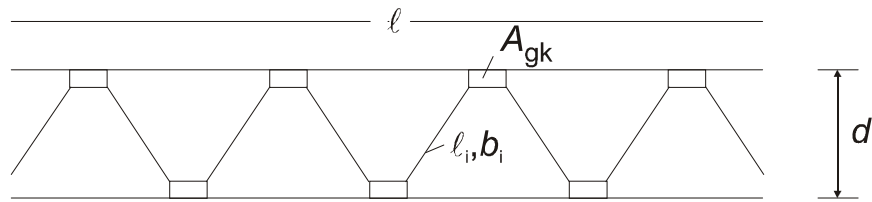
In NEN 6702 wordt voor ruimtevakwerken gesteld dat een reductie voor de belasting alleen mogelijk is als de volheidsgraad meer dan 30% is. Dat betekent in de praktijk dat geen reductie wordt toegestaan in het geval van steigers. Met andere woorden, elke staanderrij telt voor 100 % mee in de berekening. Dit betekent dat de belasting op elke staanderrij in zijn geheel moet worden meegerekend bij de bepaling van de totale belasting. Met andere woorden, bij 15 staanderrijen is de totale belasting 15 maal de belasting op de individuele staanderrij (uiteraard per rij met het daarop betrekking hebbende oppervlak). Het totale effect wordt in tabel 1 weergegeven.

Tabel 1: Totale vermenigvuldigingsfactor op de belasting op de eerste rij; NEN 6702 procedure

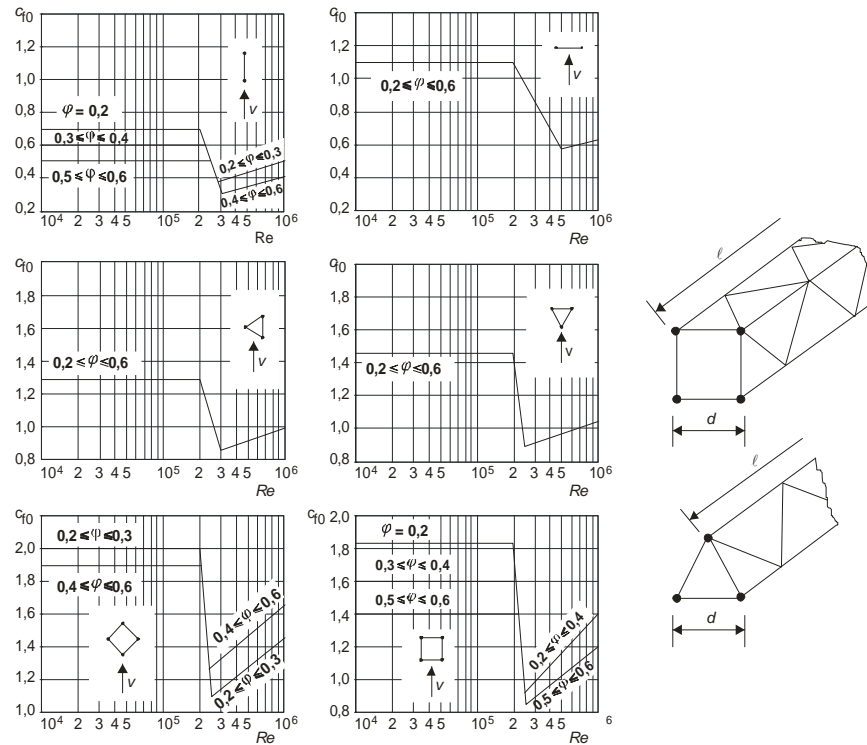
Volheidsgraad	Aantal staanderrijen			
	2	5	10	15
0,1	2	5	10	15
0,2	2	5	10	15
0,3	2	5	10	15

3.3 NEN-EN 1991-1-4.

Vanaf 2010 is alle nationale regelgeving voor constructies vervangen door de Eurocodes. Voor de windbelasting op steigers is artikel 7.11 uit EN 1991-1-4 van belang. Dit artikel kent een aantal figuren met bijbehorende waarden voor de krachtcoëfficiënt voor 'plane lattice structures' afhankelijk onder andere van de volheidsgraad van de constructie. Figuren 7.32 en 7.35 uit deze norm zijn relevant als het om staven met cirkelvormige doorsnede gaat. Deze figuren zijn hieronder gegeven.



Figuur 7.32 — Vakwerkconstructies en stellages



Figuur 7.35 — Krachtcoëfficiënt $c_{f,0}$ voor een vlakke en ruimtelijke vakwerkconstructies met staven van cirkelvormige doorsnede

Voor Steigers zijn de onderste twee figuren van 7.35 van belang. Vanwege de afmetingen van het steiger materiaal, en de optredende windsnelheid moet voor deze constructies rekening worden gehouden met $Re < 2 \cdot 10^5$. Dit betekent dat een $C_{f,0}$ van ongeveer 1,8 wordt gevonden.

De slankheid van de steiger bepaalt vervolgens de waarde die in rekening wordt gebracht. Omdat de slankheid van steigers (dit is de hoogte-breedte verhouding) meestal kleiner is dan 10, wordt een reductiefactor gevonden van ongeveer 0,7. Dit levert een totale krachtcoëfficiënt van ongeveer 1,3. Dit komt overeen met de waarden die ook in de steigerbouwnormen EN 12810 en EN 12811 worden gevonden (zie later in dit rapport).

De volheidsgraad, φ , is gedefinieerd in de Eurocode door $\varphi = \frac{A}{A_c}$

waarin:

A is de som van de geprojecteerde oppervlakken van de staven en knoopplaten van het vlak geprojecteerd loodrecht op het vlak

$$A = \sum_i b_i l_i + \sum_k A_{gk}$$

A_c is de oppervlakte omsloten door de randen van het vlak, geprojecteerd loodrecht op het vlak = $d \ell$ zie figuur 7.32.

ℓ is de lengte van het vakwerk

d is de breedte van het vakwerk

b_i, ℓ_i is de breedte en lengte van de individuele staaf i (zie Figuur 7.32), geprojecteerd loodrecht op het vlak

A_{gk} oppervlakte van de knoopplaat k

De referentie oppervlakte A_{ref} is gelijk aan $A_{ref} = A$

De referentiehoogte voor de bepaling van de stuwdruk z_e is gelijk aan de hoogte van het element boven de grond.

Deze figuren geven geen uitsluitsel hoe om te gaan met de probleemstelling van afscherming voor steigers. Bij open steigers is doorgaans sprake van een volheidsgraad kleiner dan 0,3.

3.4 DIN 1055 deel 4, 2005

Deze nieuwe versie van DIN 1055 is gebaseerd op de Eurocode (EN 1991-1-4), maar geeft op onderdelen aanvullende regels. Zo staat er een rekenregel in voor de reductie van belastingen voor achter elkaar liggende bouwdelen. De tekst is hieronder weergegeven.

3.4.1 *Abminderung der Windkräfte auf hintereinander liegende gleiche Stäbe, Tafeln oder Fachwerke*

(1) Die gesamte Windkraft, die auf hintereinander liegende Baukörper wirkt, ist geringer als die Summe der Einzelkräfte. Die Abminderung der Gesamtkraft wird erfasst, indem die Bezugsfläche A nach Tabelle 14 vermindert wird. Der Abminderungsfaktor ist in Bild 25 angegeben.

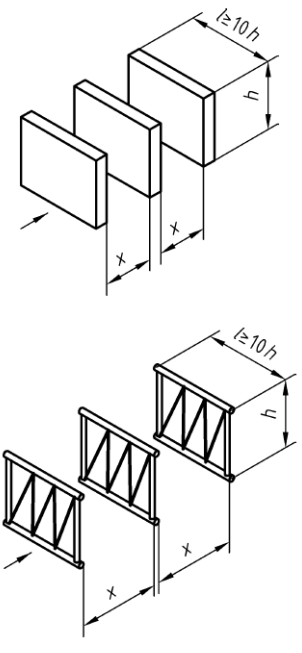
(2) Die Abminderung gilt für Queranströmung und für eine Schraganströmung bis 5° . Sie darf bei annähernd gleichen Einzelbaukörpern angewandt werden, wenn bei der Ermittlung der Bezugsfläche A für A_1 die Bezugsfläche des größten Einzelbaukörpers zu Grunde gelegt wird.

(3) Bei unterschiedlichen Abständen x der Einzelbaukörper darf näherungsweise der Grostabstand der Körper als einheitlicher Abstand zu Grunde gelegt werden.

(4) Es wird vorausgesetzt, dass die Einzelbaukörper an den Enden gehalten sind und im Übrigen frei umströmt werden. Näherungsweise darf auch die Windlast auf

hintereinander liegende Baukörper, die sich unter einer geschlossenen Decke befinden, nach diesem Abschnitt ermittelt werden.

Tabelle 14 — Bezugsfläche A und Kraftbeiwert c_f für hintereinander liegende Baukörper

Form und Lage des Baukörpers	Bezugsfläche A	Kraftbeiwert c_f
	<p>Für das Gesamtsystem aus n Baukörpern $A = [1 + \eta + (n - 2) \times \eta^2] \times A_1$ mit A_1 Bezugsfläche des Einzelbaukörpers; n die Anzahl der Einzelbaukörper; η Abminderungsfaktor nach Bild 25.</p>	<p>c_f eines Einzelbaukörpers</p>

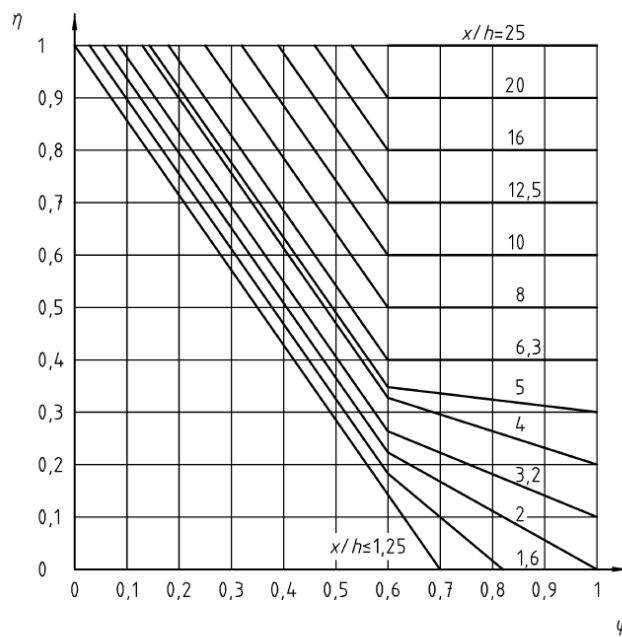


Bild 25 — Abminderungsfaktor η für die Summe der Windkräfte auf hintereinander liegende gleiche Baukörper in Anhängigkeit vom Verhältnis x/h und vom Völligkeitsgrad φ (bei vollwandigen Baukörpern: $\varphi = 1$)

3.4.2 Toepassing voor steigers

Het principe van dit artikel lijkt zeer bruikbaar voor een vertaling naar de steigerbouwrichtlijnen. Hier wordt dus de reductie vertaald naar een aandeel dat de erachterliggende vakwerken hebben in een totaal oppervlak.

Dit aandeel is afhankelijk van zowel de volheidsgraad, de afstand tussen de staanderrijen en de hoogte van de steiger. Probleem is echter dat deze grafiek alleen gegeven is voor $x/h > 1,25$. Bij steigers is vaak $x/h < 1$, wat hier niet verder is opgenomen. We zouden in dit geval voor steigers de factor η kunnen kiezen voor $x/h = 1,25$ als veilige aanname. Deze factor kan dan met de volgende uitdrukking worden beschreven.

$$\eta = 1 - \phi/0,7$$

De volheidsgraad voor steigers is typisch tussen 0,05 en 0,3. Voor de factor η worden dan waarden in de orde van 0,57 tot 0,93 gevonden. De formule voor A in de tekst is gebaseerd op meerdere achter elkaar liggende, identieke constructies. Bij steigers is de eerste rij vaak voorzien van een leuning, en deze heeft daardoor een groter aangestroomd oppervlak. Deze bepaalt de reductie voor de erachter liggende rijen. Voor de totale belasting wordt in DIN 1055, Teil 4 een equivalent oppervlak uitgerekend, dat afhankelijk is van het aantal staanderrijen achter elkaar. Dit levert de in onderstaande tabel gegeven waarden op voor de mate waarin de rijen meetellen in de totale belasting.

Tabel 2: Totale vermenigvuldigingsfactor op de belasting op de eerste rij, toepassing van DIN 1055, Teil 4, voor $x/h = 1,25$ (veilige benadering voor steigers).

Volheidsgraad	Aantal staanderrijen			
	2	5	10	15
0,1	1,86	4,06	7,73	11,41
0,2	1,71	3,24	5,80	8,35
0,3	1,57	2,55	4,18	5,82

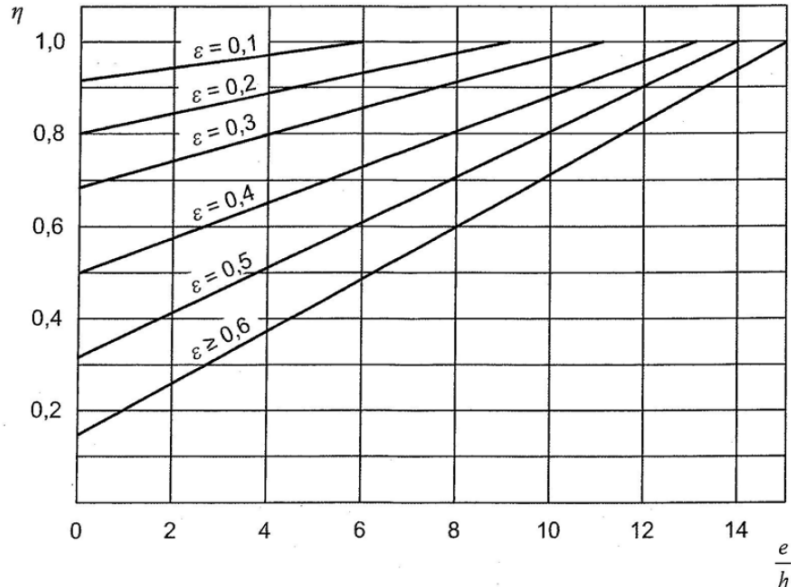
3.5 Oostenrijkse B 1991-1-4

Voor de Oostenrijkse Nationale Bijlage bij EN 1991-1-4, die als een van de eersten in Europa gereed is, is ook een regel opgenomen voor de afscherming van vakwerkliggers. Deze regels zijn verwerkt in het document Önorm B 1991-1-4.

Een afschrift van die tekst is hier gegeven.

5.4.1 Mehrere hintereinander liegende Träger

Für den zweiten Fachwerkträger und die folgenden, soweit sie, von der Windrichtung her gesehen, vom ersten verdeckt sind, ist die Berechnung wie für den Einzelträger durchzuführen. Die so ermittelten Werte dürfen aber für den zweiten und alle folgenden Träger mit dem Faktor η multipliziert werden. Dieser Wert kann abhängig vom Verhältnis Trägerabstand zu Trägerhöhe e/h und dem Parameter ε dem Bild 4 entnommen werden. Der Wert ε hängt gemäß der Tabelle 9 vom Völligkeitsgrad Φ und der Profilform und bei kreisförmigen Profilen zusätzlich auch von der Reynolds-Zahl ab.



Toelichting: h is de hoogte (van de totale staanderrij), e de afstand tussen de vakwerken of staanderrijen. η is de reductiefactor, en ε hangt af van de doorlaatbaarheid van de constructie.

Tabelle 9

Stab	ε
kantig	$1,0 \cdot \Phi$
kreisrund $Re < 2,0 \cdot 10^5$	$0,8 \cdot \Phi$
kreisrund $Re \geq 2,0 \cdot 10^5$	$0,6 \cdot \Phi$

Hierin is Φ de verhouding tussen aangestroomd en omhullend oppervlak (de volheidsgraad). Voor steigers is doorgaans $Re < 2 \cdot 10^5$ dus is het logisch uit te gaan van $\varepsilon = 0,8 \Phi$.

In deze procedure is wel de afstand tussen de rijen meegenomen. De reductiefactor is voor alle rijen dezelfde.

Voor deze reductiefactor is uit bovenstaande grafiek de volgende benadering afgeleid:

$$\eta = 1,11 - 1,5714\varepsilon + (0,0037 + 0,0886)\frac{e}{h}, \text{ voor } \varepsilon \leq 0,6 \text{ en met een maximum voor } \eta = 1.$$

Voor steigers geldt dat $\varepsilon = 0,8 A/A_{\text{totaal}}$. In deze procedure wordt dus ook voor relatief open constructies een reductie gevonden. Deze reductie hangt alleen af van de doorlaatbaarheid van de eerste staanderrij, die vaak met een kantplank als leuning is uitgevoerd. In tabel 3 is het resultaat weergegeven in dezelfde vorm als hiervoor in tabellen 1 en 2 was weergegeven.

Tabel 3: Totale vermenigvuldigingsfactor op de belasting op de eerste rij; Oostenrijkse procedure, bij $e/h = 1$.

Volheidsgraad	Aantal staanderrijen			
	2	5	10	15
0,1	2,00	4,98	9,96	14,93
0,2	1,88	4,51	8,89	13,27
0,3	1,76	4,03	7,82	11,61

3.6 VSB richtlijn 2007

TNO heeft een notitie verkregen d.d 17-4-2007, waarin een voorstel wordt omschreven voor het in rekening brengen van de belasting op achter elkaar liggende vakwerken. In de richtlijn wordt ervan uitgegaan dat voor het bepalen van de volheidsgraad $\Phi = A/A_{\text{proj}}$ alle aangestroomde oppervlakken van stroomopwaarts gelegen vakwerken mogen worden opgeteld.

Dit komt niet overeen met de bedoeling van NEN 6702 en van EN 1991-1-4, waarin eenduidig is gesteld dat A gelijk is aan de projectie van de constructiedelen in een vlak loodrecht op de wind. Dat wil zeggen dat als constructieonderdelen achter elkaar liggen deze niet meetellen bij de bepaling van A. De VSB Richtlijn levert een totale belasting die vanaf ongeveer 10 rijen constant blijft met toenemend aantal rijen.

De VSB richtlijn is op dit punt niet correct, wat tot onveilige constructies kan leiden.

Tabel 4: Totale vermenigvuldigingsfactor op de belasting op de eerste rij; VSB procedure

Volheidsgraad	Aantal staanderrijen			
	2	5	10	15
0,1	2	4,10	4,84	4,93
0,2	2	3,38	3,87	3,93
0,3	1,66	2,57	2,90	2,94

Deze procedure levert dus voor een groot aantal staanderrijen een forse reductie op van de belasting, en deze is lager dan bij alle hiervoor beschreven richtlijnen.

3.7 NEN EN 12811-1, NEN EN 12810-2, NEN EN 12810-1

Deze normen verwijzen voor de windbelasting naar EN 1991-1-4.

EN 12810-1 (paragraaf 8.3) geeft de basisregel voor de windbelasting. Er worden krachtcoëfficiënten gegeven en definities met hoe om te gaan met het belast oppervlak. Een reductie is gedefinieerd voor steigers die voor een gevel zijn geplaatst.

In EN 12810-2 geeft methoden en testprocedures voor het ontwerp van steigers. Hier worden geen regels voor de windbelasting gedefinieerd.

In EN 12811-1, hoofdstuk 6.2.7, en bijlage A, wordt de windbelasting op steigers gegeven aan de hand van dezelfde algemene formule als in EN 12810-1. Hier wordt voor de krachtcoëfficiënten verwezen naar ENV 1991-2-4 (de voorganger van EN 1991-1-4).

In deze norm wordt ook een reductiefactor voor de totale belasting gegeven, wanneer steigers tegen dichte gebouwen worden geplaatst. Deze zogeheten site coëfficiënt kan lager zijn dan die in EN 12810-1, afhankelijk van de mate waarin de gevel de wind door kan laten. EN 12810-1 was gebaseerd op een doorlaatbaarheid van 40%.

De wind kan dan niet vrij door de steiger heen waaien. Er ontstaat een drukveld, wat ertoe leidt dat de belasting op de steiger zelf minder wordt. Dit zal alleen van belang zijn bij wind loodrecht op de betreffende gevel.

Deze normbladen geven alle geen regels hoe om te gaan met een mogelijke reductie van de windbelasting voor achter elkaar liggende delen.

3.8 Literatuur: N.J. Cook: The Designer's Guide to Wind Loading, Part 2

In dit handboek wordt zowel een theoretische beschouwing als een vertaling naar praktijkadviezen gegeven voor achter elkaar liggende staafconstructies. De theorie gaat ervan uit dat alle mogelijke windrichtingen apart beschouwd worden. Dit is in de praktijk wellicht lastig te doen. De maatgevende situatie is in deze beschouwing bij een aanstroomhoek van de wind tussen 20 en 40 graden ten opzichte van de normaal. Het is niet aannemelijk dat een dergelijke beschouwing standaard gaat worden.

Tabel 5: Totale vermenigvuldigingsfactor op de belasting op de eerste rij; Methode Cook, bij loodrechte aanstroming.

Volheidsgraad	Aantal staanderrijen			
	2	5	10	15
0,1	1,87	3,94	6,25	7,78
0,2	1,76	3,23	4,51	5,21
0,3	1,65	2,73	3,52	3,91

De berekeningsmethode van Cook is zeer omslachtig, omdat voor alle mogelijk maatgevende windrichtingen een afzonderlijke berekening moet worden gemaakt. Als de berekening alleen voor loodrechte wind wordt gemaakt wordt een grotere reductie gevonden in vergelijking tot alle hierboven gegeven methoden. Echter bij schuine aanstroming zal een deel van de steiger vol belast blijven worden, en is de totale reductie een stuk minder groot.

3.9 Conclusies

Naar aanleiding van de vergelijking van verschillende procedures, wordt het volgende geconcludeerd.

1: De VSB richtlijn geeft waarden voor de totale belasting die voor grote aantallen staanderrijen ver onder de waarden liggen die met de andere procedures worden bepaald.

2: De methode uit NEN 6702 is de meest conservatieve, omdat geen enkele reductie wordt toegekend voor steigers (minder dan 30% aangestroomd oppervlak).

3: Een zeer bewerkelijke methode is gegeven in de literatuur door Cook. Deze levert op het eerste gezicht lage waarden op, maar deze moet echter met zorg worden toegepast, en is niet direct geschikt voor toepassing in een richtlijn.

4: De methodes die thans in Duitsland en Oostenrijk worden toegepast liggen tussen de resultaten uit de VSB richtlijn en de NEN norm in. De Oostenrijkse richtlijn geeft wat hogere belastingen dan de Duitse.

Op basis van deze vergelijking wordt geadviseerd uit te gaan van de procedure in de Duitse norm, DIN 1055, Teil 4, die ook in de Duitse Nationale Bijlage wordt geïmplementeerd.

4 Voorstel voor de richtlijn

4.1 Procedure

Vanuit de bestudeerde documenten wordt hier een procedure voorgesteld hoe om te gaan met achter elkaar liggende vakwerken en steigers. Deze procedure is gebaseerd op de methode die in Duitsland in de regelgeving is opgenomen.

1: Bepaal de windbelasting op elk deel afzonderlijk.

2: Bepaal voor de eerste staanderrij de afscherming. Deze wordt bepaald door de oppervlakte A van de aan de windzijde gelegen delen, geprojecteerd op een vlak loodrecht op de windrichting. De afschermingsfactor is dan gedefinieerd als:

$$\phi = A / A_{\text{totaal}}$$

Met A het totaal aangestroomde oppervlak van de eerste staanderrij, en A_{totaal} het totale omhullende oppervlak.

Opmerking: het gaat in principe alleen om het eerste vlak. Als er midden in de steiger een extra blokkerend deel aanwezig is, kan die voor de daar achter liggende delen alsnog worden meegeteld in de berekening van A .

3: Bepaal vervolgens voor de beschutte staanderrijen de reductiefactor η . Deze is voor alle stroomafwaarts gelegen rijen dezelfde:

$$\eta = 1 - \phi/0,7$$

Bepaal vervolgens de totale belasting op de steiger met n staanderrijen, door toepassing van een equivalent oppervlak:

$$A = A_1 + (\eta + (n-2) \cdot \eta^2) A_2$$

Ervan uitgaande dat A_2 gelijk is aan het aangestroomde oppervlak van alle erna liggende staanderrijen.

4.2 Voorbeeld

De voorbeeldsteiger die in hoofdstuk 2 is geïntroduceerd, heeft een slaghoogte van 2 meter en een breedte van 1,8 meter. Voor de steigerpijpen wordt een doorsnede van 50 mm aangehouden. Een vloerdeel is 75 mm hoog, en een kantplank 200 mm. Dit levert een aangestroomd oppervlak op van 22% voor een steigerdeel met leuning, en 9% voor een steigerdeel met een schoor. Het tweede vlak en verder is het aangestroomde oppervlak alleen de steigerpijp zelf, dit is ongeveer 3%.

Voor de belasting op de eerste steigerrij moet 100% van de berekende windbelasting worden gerekend (geen afscherming).

Voor de tweede en elke volgende rij wordt gerekend met:

$$\eta = 1 - 0,22/0,7 = 0,68.$$

De totale kracht volgt uit:

$$F = A \cdot C_f \cdot p_w$$

Met:

p_w de stuwdruk

C_f de krachtcoëfficiënt, waarvoor 1,3 wordt aangehouden.

A het totaal effectief belaste oppervlak, waarvoor geldt:

$$A = A_1 + (\eta + (n-2) \cdot \eta^2) A_2$$

Stel de steiger is 10 slagen groot, A_{totaal} is dan $20 \times 1,8 = 36 \text{ m}^2$.

$$A_1 = 0,22 \times 36 = 7,92 \text{ m}^2.$$

$$A_2 = 0,03 \times 36 = 1,08 \text{ m}^2.$$

Bij 10 staanderrijen wordt nu gevonden voor A:

$$A = 7,92 + (0,68 + 8 \times 0,68^2) \times 1,08 = 12,65 \text{ m}^2.$$

De steiger moet dus worden uitgerekend alsof in totaal $12,65 \text{ m}^2$ wordt getroffen door de wind.

5 Referenties

N.J. Cook, 1986, 'The Designer's guide to wind loading of building structures, Part 2 Static Structures', Butterworths, London

NEN 6702: TGB 1990 – Belastingen en vervormingen

NEN EN 1991-1-4, Eurocode 1: Belastingen op constructies, Algemene belastingen, deel 1-4: Windbelasting, April 2005.

Önorm B 1991-1-4, Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke, Teil 1-4: Allgemeine Einwirkungen – Windlasten. Nationale Festlegungen zu önorm EN 1991-1-4 und nationale Ergänzungen, Ausgabe 2006-12-01

NEN-EN 12810-1: 2003. Gevelsteigers vervaardigd van geprefabriceerde componenten- deel 1: Product specificaties, Januari 2004.

NEN-EN 12810-2:2003. Gevelsteigers vervaardigd uit geprefabriceerde onderdelen – Deel 2: Bijzondere methode van een constructief ontwerp, Januari 2004

NEN EN 12811-1:2003 Tijdelijke Bouwplaatsuitrusting – Steigers – Prestatie-eisen en algemeen ontwerp, Januari 2004

DIN 1055, Teil 4. Einwirkungen auf Bauwerke, Teil 4: Windlasten, März 2005.