18 maart 2021
Welkom bij het VSB Webinar
ANNEX windbelasting op steigers
Over enkele minuten gaan we beginnen

Mededelingen

- Via de chat kunt u vragen stellen door op te drukken en uw vraag te typen

- De chat blijft open tot een half uur naar afloop van het Webinar

- De presentatie inclusief toelichting staat vanaf volgende week op de website van de VSB

- U ontvangt een korte enquête van dit Webinar

Inhoudsopgave
- Inleiding
- Windtunneltesten
- ANNEX
- Stuwdrukprofielen
- Gevel- / objectsteigers
- Ruimtelijke steigers
- Steiger rondom/naast cilindrische doorsnede
- Steiger met afgeronde / afgeschuinde hoeken

Webinar: Nederlandse ANNEX voor windbelasting op steigers

Deze Webinar is onderverdeeld in de volgende hoofdstukken.
Waarbij ikzelf u iets zal vertellen over:
- De windtunneltesten zelf;
- Over het ontstaan en gebruik van deze ANNEX
- Een korte uitleg over de stuwdrukprofielen

Jaap van Broekhoven zal dieper ingaan op de gevel- en objectsteigers.
Hierna zal ik weer wat meer vertellen over windbelasting op ruimtelijke steigers
Jaap zal afsluiten met de steiger rondom en naast een cilindrische doorsnede
En als toetje een korte uitleg over het effect van het afschuinen of afronden van hoeken van beklede steigerconstructies

Inleiding

- Vraagstelling vanuit de Branche

Hoe bepalen we op een juiste manier de windbelasting op steigerconstructies?

- Waarom deze vraag?:

Het is namelijk niet harder gaan waaien...

  - Verandering in wet- & regelgeving
  - Schaalvergroting steigerconstructies
  - Intensievere integriteit controle bestaande constructies

Vanuit de Branche is de vraagstelling gekomen over hoe de windbelasting voor steigerconstructies op een juiste manier bepaald kan worden.
Welke normen of richtlijnen moeten hiervoor aangehouden worden en hoe moeten we deze interpreteren. Alhoewel de EN 12800 serie wat aanknopingspunten geeft, is het niet volledig.
Mede door de grote diversiteit aan steigerconstructie en de toepassing hiervan, was er behoefte aan een duidelijk en eenduidig verhaal over het gedrag en invloed van wind op steigerconstructies.

Maar waarom deze vraag?

Het is namelijk niet extreem harder gaan waaien in de afgelopen 10 a 20 jaar.
Toch heeft de windbelasting een grotere invloed gekregen op onze berekeningen in de afgelopen jaren. Dit komt met name door:

- Verandering in wet- en regelgeving, waarbij vooral de eisen uit de Eurocode voor hogere factoren heeft gezorgd.
- Maar ook de schaalvergroting van de steigers heeft een grote invloed. Deze worden steeds intensiever gebruikt. Ze moeten steeds groter, en dan liefst zo min mogelijk ankerpunten of zelfs vrijstaand. En de toepassing van windvangende bekleding is tegenwoordig eerder regel dan uitzondering.

- Daarnaast controleert de klant ook intensiever de integriteit van zijn bestaande of nieuwe constructies, waarbij van de steigerconstructeur verwacht wordt om ‘op het scherp van de snede’ te ontwerpen, om de constructie van de klant zo veel mogelijk te ontlasten in plaats van te belasten.

Door deze opeenstapeling is **rekentechnisch** de windbelasting fors toegenomen en het toetsen van een steigerconstructie in de loop van jaren complexer geworden.

Inleiding

- Werkgroep VSB Richtlijn Steigers: Windbelasting op steigerconstructies

Jaap van Broekhoven

Ermin Husanovic

Marco Gouwens

Maarten van Dijk

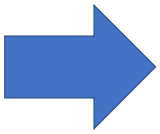
Peter van Oers

Om een antwoord te kunnen geven op deze vraag, is in 2014 vanuit de VSB een werkgroep opgezet.
Deze werkgroep bestaat uit de volgende personen.
Wij met z'n 5-en waren als werkgroep verantwoordelijk om op de vraagstelling vanuit de branche een antwoord te geven.

Inleiding

2014: Doelstelling

Het verkrijgen van inzichten en resultaten die dienen te worden gepresenteerd als pragmatische waarden en rekenregels als basis voor steigerconstructie berekeningen.



Uitvoeren Windtunneltesten

Eind 2014 werd de volgende doelstelling opgesteld:

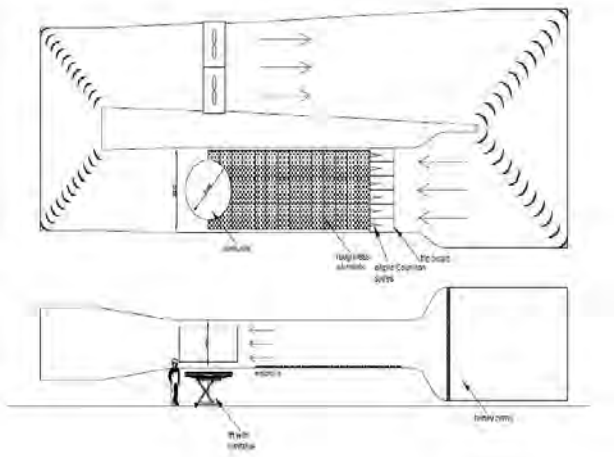
Het verkrijgen van inzichten en resultaten die dienen te worden gepresenteerd als pragmatische waarden en rekenregels als basis voor steigerconstructie berekeningen.
Inhoudelijke houdt dit in dat we het volgende wilden bereiken:
- Uniforme en heldere afspraken voor het bepalen van windbelasting op steigers;
- Invullen van grijze gebieden en onduidelijkheden
- Verhogen van begrip en inzicht over windbelasting op steigerconstructies
- Veilig en toch economisch (blijven) bouwen.
- Verkleinen van concurrentie, omdat we allemaal op dezelfde manier de windbelasting bepalen.

Na een literatuurstudie en onderzoek werd al snel duidelijk dat we windtunneltesten moesten uitvoeren om onze doelstelling te kunnen bereiken.

Windtunneltesten

2015:

PEUTZ

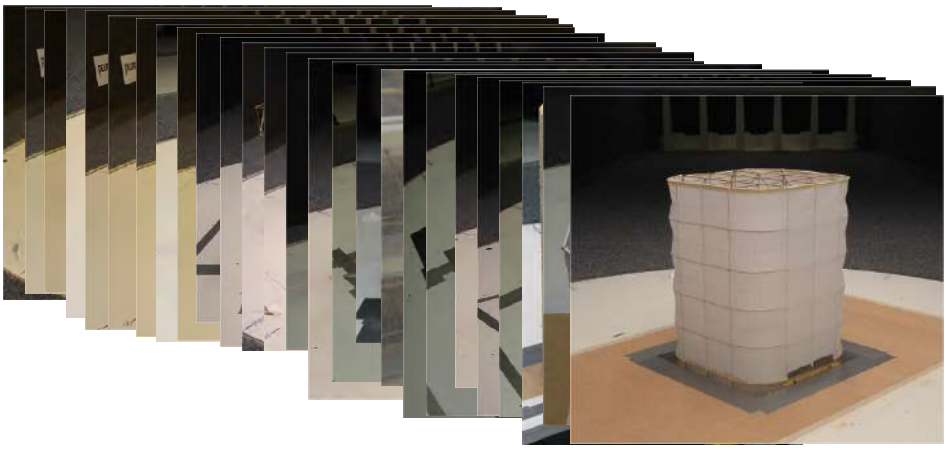


In 2015 hebben we onderzocht welke partij ons het beste kon ondersteunen voor het uitvoeren van de windtunneltesten. We zijn in gesprek geweest met DNW (Duits-Nederlands windtunnels), TNO & Peutz.

De keuze is uiteindelijk Peutz geworden.
Zij hebben namelijk een eigen windtunnel in tegenstelling tot TNO. Maar belangrijker was dat zij ook de resultaten voor ons konden uitwerken.
Waarbij DNW wel een windtunnel heeft, maar enkel de metingen doet en niet de uitwerking.
TNO is wel tijdens het gehele windtunneltest traject betrokken geweest om aannames te controleren en te fungeren als klankbord.

Windtunneltesten

2015 – 2016: **64** configuraties getest op schaal 1:20.

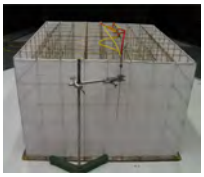


In 2015 en 2016 zijn er wel 64 verschillende configuraties getest.

Door de beperkte ruimte en randeffecten van de windtunnel kun je steigers niet 1 op 1 testen, maar moet alles verschaalt worden.
De schaal 1:20 bleek de beste schaalverhouding te zijn. Deze verschaling geldt voor alle onderdelen. Voor de buizen, de knooppunten, de bekleding, zelfs de objecten die invloed kunnen hebben op de steiger, maar ook de kantplanken, vloeren en leuningen.
Het spreekt voor zich dat het bepalen en opstellen van de juiste modellen een zeer intensief proces is geweest.
We wilden namelijk zoveel mogelijk verschillende configuraties testen binnen het beschikbare budget en tijdsplan.
De hier getoonde afbeeldingen geven een goede impressie van alle verschillende configuraties die we in de windtunnel getest hebben.
Waarbij we getracht hebben om te kijken naar objectsteigers en naar ruimtelijk steigers in combinatie met veel voorkomende praktijk situaties.

Windtunneltesten

- Verschalen netten



Behoorlijke uitdaging

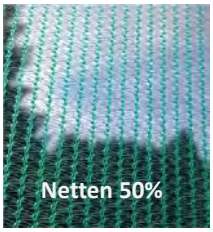
Uiteindelijk dient de stroomweerstand 1:1 gelijk te zijn aan 1:20 = zelfde gedrag/kracht

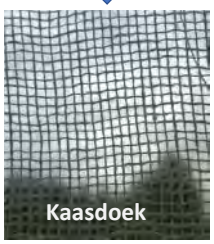
TNO is akkoord met de onderbouwing van de modellering van het steigerdoek, zoals beschreven in Peutz notitie W 15269-1-NO-002.

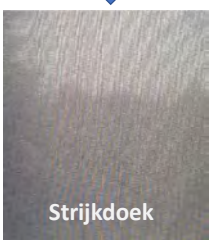
Met vriendelijke groet,

Ir. A.J. Bronkhorst
Research Scientist

Dr. ir. C.P.W. Geurts
Senior Research Scientist







Een van de belangrijkste onderzoeken die door Marcel van Uffelen van engineeringsbureau Peutz is uitgevoerd was het bepalen van de juiste verschaling van de netten. Het is namelijk essentieel dat de stroomweerstand van de netten op schaal nagenoeg gelijk is aan die van de daadwerkelijke steigernetten die buiten in het algemeen gebruikt worden. Daarbij is het belangrijk om op te merken dat de benamingen ‘Netten 50%’ en ‘Netten 90%’ handelsnamen in onze branche zijn en niet de dichtheid van de netten aangeeft.
Marcel is diverse keren naar de plaatselijke stofwinkel geweest om vele verschillende doeken uit te zoeken en te testen voor de juiste verschaling.

Uiteindelijk was voor ‘netten 50%’ een kaasdoek de beste match

en voor ‘netten 90%’ een strijkdoek.

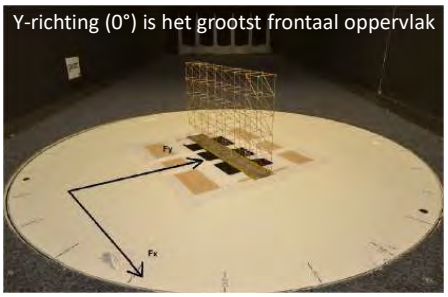
Hiervoor is ook contact geweest met TNO. Waarbij zij akkoord hebben gegeven op de uiteindelijke toe te passen doeken.

Windtunneltesten

- Uitgangspunten:
  - Onbebouwde omgeving
  - Windrichtingen variërend van 4 – 13 richtingen
  - Windsnelheid tot maximaal 20 m/s

- Metingen:
  - 6 componenten balans ➡ **globale kracht metingen**

Meer dan **600** unieke metingen!



Daarnaast zijn ook de algemene uitgangspunten voor de windtunneltesten opgesteld:

- Het aangehouden stuwdrukprofiel in de windtunnel dient overeen te komen met onbebouwd gebied

- Alle modellen zijn minimaal in 4 richtingen gemeten van 0° , 15°, 30°, 45° zodat één gehele sector is gemeten. Maar de meeste modellen zijn zelfs in 7 richtingen doorgemeten tot 90°. En in een enkel geval zelfs in 13 richtingen.

- Als maximale windsnelheid is 20m/s aangehouden. Door de verschaling zou je ook een hogere windsnelheid moeten toepassen. Maar dit is technisch niet te doen. En met behulp van testmetingen is aangetoond bij welke snelheid de metingen voldoende overeenkomend met de extreme wind situatie en waardoor we dus betrouwbare metingen kregen.

De metingen zijn vastgelegd op een 6 componenten balans. Waarbij we enkel geïnteresseerd waren in de totale globale kracht per windrichting in niet in lokale krachten.

In totaal zijn er meer dan 600 unieke metingen gedaan.

Windtunneltesten

- Resultaten windtunneltesten

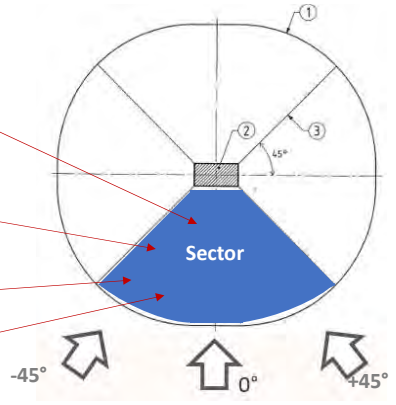
Belastingen omgezet naar relatieve dimensieloze vormfactoren, op basis van eenzelfde referentieoppervlak

Run	26	object n=	15	onbekleed
	0	15	30	45
	Cf	Cf	Cf	Cf
CF_x	0.11	0.16	0.28	0.43
CF_y	0.42	0.47	0.38	0.33
CF gecombineerd	0.44	0.5	0.47	0.54

Run	27	object n=	15	50 % doek alleen voorzijde
	0	15	30	45
	Cf	Cf	Cf	Cf
CF_x	0.13	0.18	0.31	0.39
CF_y	0.59	0.62	0.61	0.52
CF gecombineerd	0.6	0.64	0.68	0.65

Run	28	object n=	15	50 % doek rondom
	0	15	30	45
	Cf	Cf	Cf	Cf
CF_x	0.16	0.44	0.71	0.96
CF_y	0.88	0.88	0.85	0.69
CF gecombineerd	0.89	0.98	1.11	1.18

Run	29	object n=	5	50 % doek rondom
	0	15	30	45
	Cf	Cf	Cf	Cf
CF_x	0.06	0.14	0.25	0.33
CF_y	0.75	0.73	0.64	0.55
CF gecombineerd	0.75	0.74	0.69	0.64

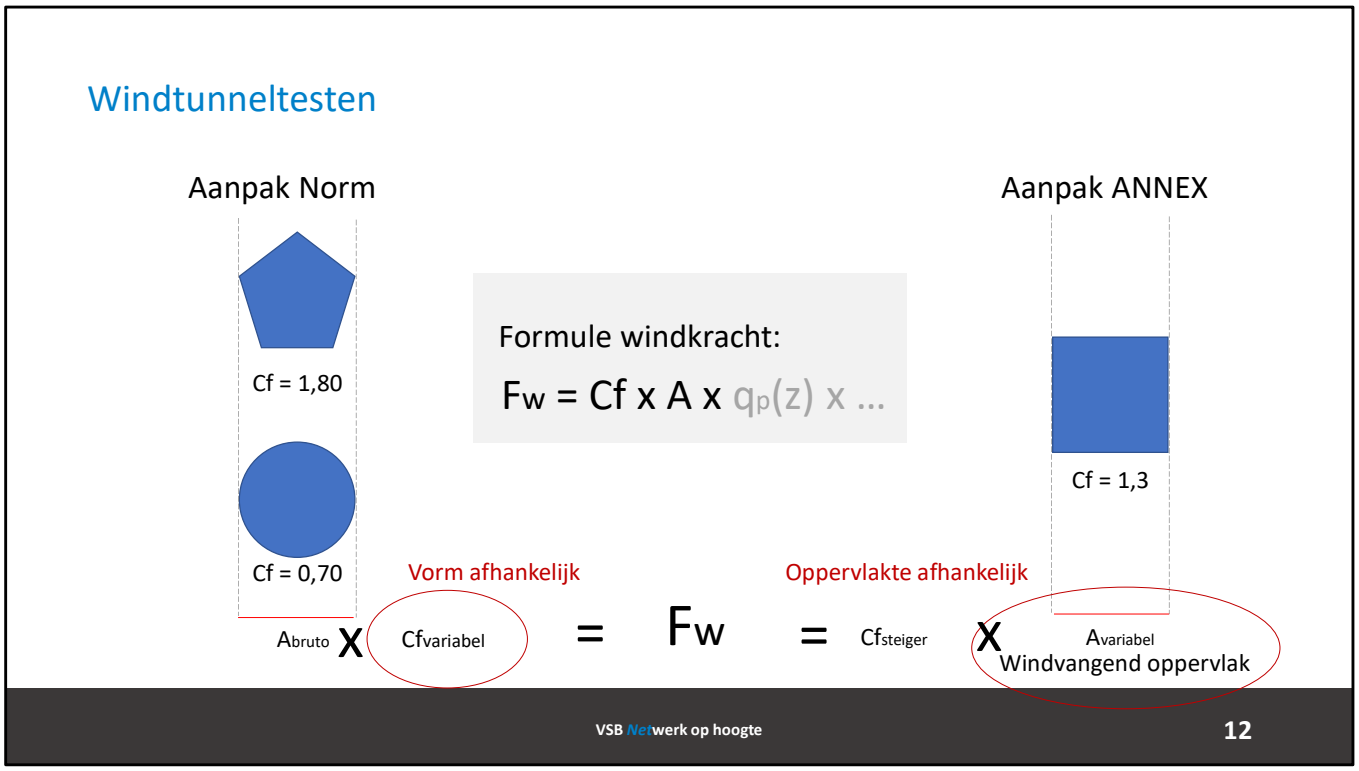


Deze grote berg met data hebben we gebruikt om samen met Peutz de bevindingen te interpreteren.

Waarbij Peutz de resultaten omgezet heeft naar relatieve dimensieloze vormfactoren, op basis van eenzelfde referentieoppervlakte.

Het bepalen van deze vormfactoren is gebaseerd op de CUR aanbeveiling C103, wat de richtlijn is voor windtunneltesten.

Uiteindelijk is per run gekeken wat de hoogste vormfactor is in de sector tussen -45° en +45°.
Hierdoor is het mogelijk om de windbelasting orthogonaal op het object te zetten, zoals ook in de Eurocode wordt gedaan, waarbij de hoogste vormfactor als uitgangspunt is genomen.
Daarom hoeft 'overhoeks' niet apart bekeken te worden, omdat de meest ongunstige windrichting voor deze gehele sector al in beschouwing is genomen.
En 45° was zeker niet altijd de hoek die de hoogste windkracht opleverde.



Elke vorm heeft zijn eigen vormfactor

Ook wel krachtcoëfficiënt genoemd.

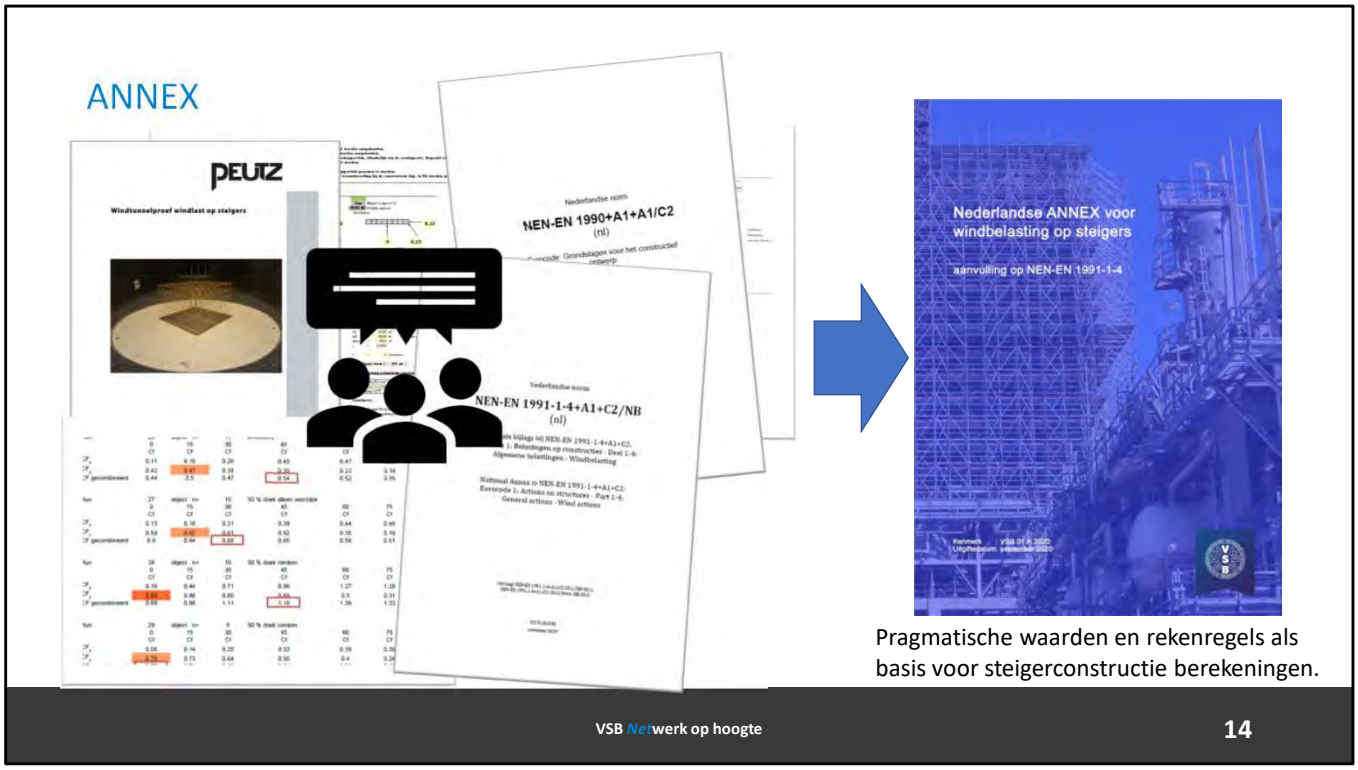
Volgens de norm dien je deze te vermenigvuldigen met het bruto oppervlak en de stuwdruk om een windkracht te krijgen.
Echter is deze aanpak voor steigerconstructies niet zo makkelijk, omdat we dan voor iedere denkbare configuratie een aparte vormfactor moeten bepalen. Dit is wel erg omslachtig.

Vandaar dat we het omgedraaid hebben. We houden een vaste vormfactor aan voor steigerconstructies en een variabel oppervlak; dat we het windvangend oppervlak noemen.
Het maakt namelijk niet uit welke van de 2 je als variabel neemt, als de uiteindelijke som maar hetzelfde is, oftewel de windkracht.
Hierdoor hebben we een rekenregel kunnen opstellen die het mogelijk maakt om de windbelasting op steigerconstructies uit te rekenen door het bepalen van het windvangend oppervlak en deze te vermenigvuldigen met een algemene steiger vormfactor.

Windtunneltesten

Rapport: W 15269-1-RA-007; d.d. 11 April 2017

Uiteindelijk heeft het onderzoek geresulteerd in een document waarin alle bevindingen en conclusies van Peutz en de werkgroep zijn vastgelegd.



Pragmatische waarden en rekenregels als basis voor steigerconstructie berekeningen.

Wij als werkgroep hebben met behulp van dit rapport, de verkregen resultaten, eerdere literatuurstudies, de huidige normen en vele uren overleg en werk;

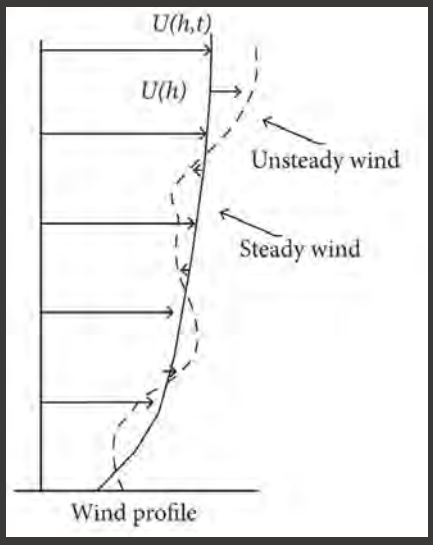
de Nederlandse ANNEX voor windbelasting op steigers opgesteld, waarmee we de doelstelling hebben gehaald voor het opstellen van pragmatische waarden en rekenregels als basis voor steigerconstructie berekeningen.

Voor de ANNEX hebben we bewust gekozen voor een opzet die overeenkomt met de hoofdstuk indeling van de Eurocode.
Om er voor te zorgen dat je niet alle normen tegelijkertijd moet raadplegen hebben we geprobeerd om zoveel mogelijke relevante bestaande normteksten ook in de ANNEX op te nemen, zodat er een chronologisch verhaal ontstaat.
Om toch nog de verschillen te kunnen onderscheiden tussen bestaande en nieuwe teksten hebben we gebruik gemaakt van een kleur- en naamcodering.

- Zwart is de ANNEX tekst opgezet door de VSB werkgroep.
- Blauw zijn citaten uit de norm. Boven deze blauwe tekst staat de bronvermelding, zodat deze terug te vinden is en het zelfs mogelijk is om een uitgave zonder blauwe teksten te maken
- De grijze tekst is een aanvulling op de citaten in onze eigen woorden. Hier hebben we getracht wat meer uitleg te geven op bepaalde citaten of regels.
- Als aanvulling op de hoofdstukken uit de norm heeft de werkgroep soms ook citaten toegevoegd. Deze zijn aangeduid als een opvolgend nummer van de betreffende norm en tussen accoladen is VSB voor dit citaat gezet.
- Tevens zijn er ook formules opgezet door de werkgroep, welke tussen haakjes zijn aangeduid met een opvolgend formule nummer met VSB ervoor.

Deze Annex is echt bedoeld voor de constructeur of specialist, toch hebben we geprobeerd om er een zo duidelijk en logisch geheel van te maken.

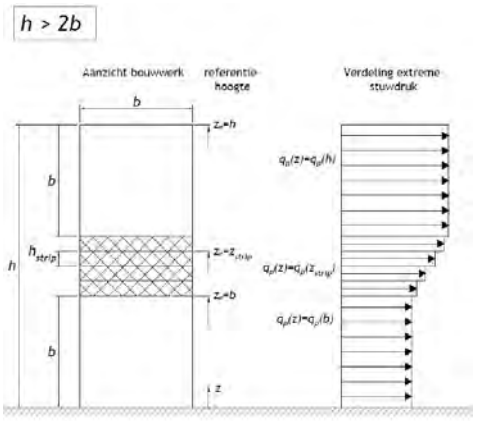
Met deze opzet hopen we dat het uiteindelijk ook wordt verwerkt of opgenomen in de updates van de Eurocode of misschien wel EN12811-1.



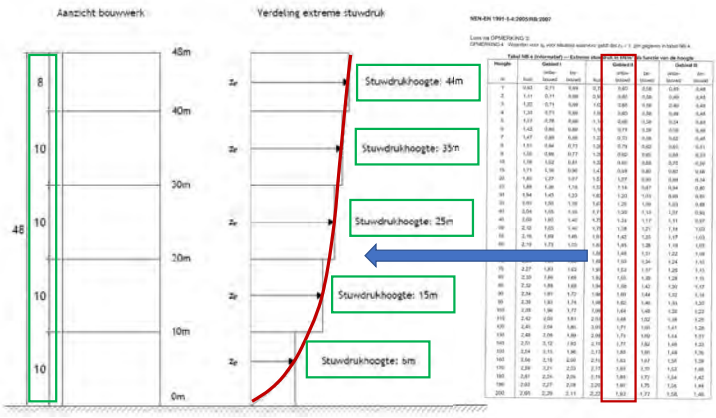
Stuwdrukprofielen

Laten we eerst iets korts vertellen over de stuwdrukprofielen.

Stuwdrukprofielen



Figuur VSB-7.6 Referentiehoogte z_e , afhankelijk van *h* en *b*



Figuur VSB-7.3 Voorbeeld stuwdrukprofiel onbekleed

In de NEN EN 1991-1-4 worden stuwdrukprofielen gegeven voor gebouwen. Als een steigerconstructie is bekleed met 100% winddichte bekleding, dan moet je deze stuwdrukprofielen aanhouden.

Wanneer de steigerconstructie onbekleed is, dan mag een stuwdrukprofiel worden aangehouden per meter,

overeenkomend met de tabel uit de Nationale Bijlage. Want de referentiehoogte voor onbeklede steigers is niet afhankelijk van de slankheidsverhouding h/b. Voor onbeklede steigerconstructies geldt dat ‘z_e’ gelijk is aan ‘z’.

Ter vereenvoudiging mag er een staffelhoogte worden toegepast met een maximum van 10m, met bijbehorende stuwdrukhoogte volgens voorbeeld figuur VSB-7.3.

Gevel- / objectsteigers

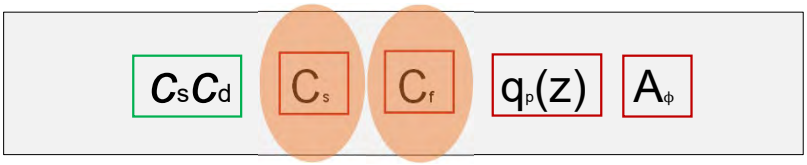
Gevel- / objectsteigers

- EN 1991-1-4 → EN 12811-1 → ANNEX

conservatief ← → specifiek

[VSB] (6) De windkracht F_w op steigerconstructies (gevel- / objectsteigers of ruimtelijke steiger) wordt bepaald met uitdrukking (VSB 5.8).

$$F_w = c_s c_d \times C_s \times C_f \times q_p(z) \times A_\phi \qquad \text{(VSB 5.8)}$$



ANNEX Eurocode EN 1991-1-4

De eurocode is zeer globaal en vooral conservatief voor steigerconstructies. De EN 12811-1 is specifieker voor steigerconstructies, maar nog steeds conservatief en niet volledig.
Hierdoor wordt er veel 'geshopt' tussen de normen en richtlijnen omdat er geen eenduidigheid was. De ANNEX is specifiek voor windbelasting op steigerconstructies.

Uiteindelijk is de volgende formule om de windkracht te bepalen opgesteld.

Aan de hand van de verschillende type steigerconstructies gaan we in deze webinar de verschillende factoren uitleggen.

Voor de gevel- / objectsteigers focussen we ons voornamelijk op de Cs en de Cf binnen de windkracht formule voor steigerconstructies.
Het bepalen van het referentie oppervlakte wordt bij de ruimtelijke steigers in detail behandeld.

Gevel- / objectsteigers

- C_s = omgevingsfactor / site coëfficiënt volgens NEN-EN 12811-1

De omgevingsfactor is een factor die de invloed van windbelasting op steigerconstructies door aanliggend gebouw of object weergeeft.
Deze invloed is afhankelijk van doorlatendheid van het aanliggende gebouw.
Zo is links bijna geen gebouw aanwezig en is de invloed dus zeer klein, er dus een hoge doorlatendheid.
Rechts is de invloed groter, omdat de aanwezigheid van het gebouw groter is.Er is een kleinere doorlatendheid, welke zorgt voor een gunstigere invloed op de grootte van de windkracht op de steigerconstructie.
Laten we hier eens in detail wat dieper naar kijken, want deze invloed is ook nog eens afhankelijk van de doorlatendheid van de steigerconstructie zelf.

Gevel- / objectsteigers

- C_s - onbekleed

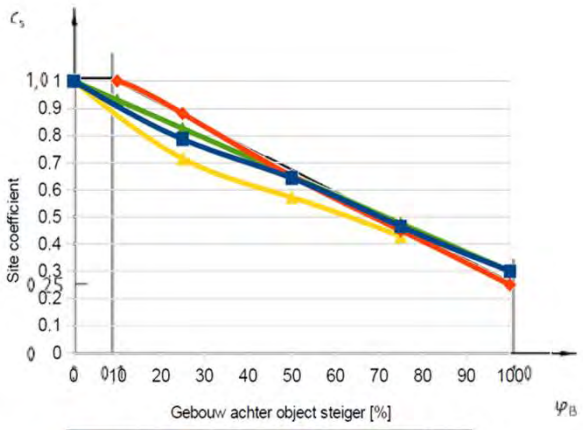


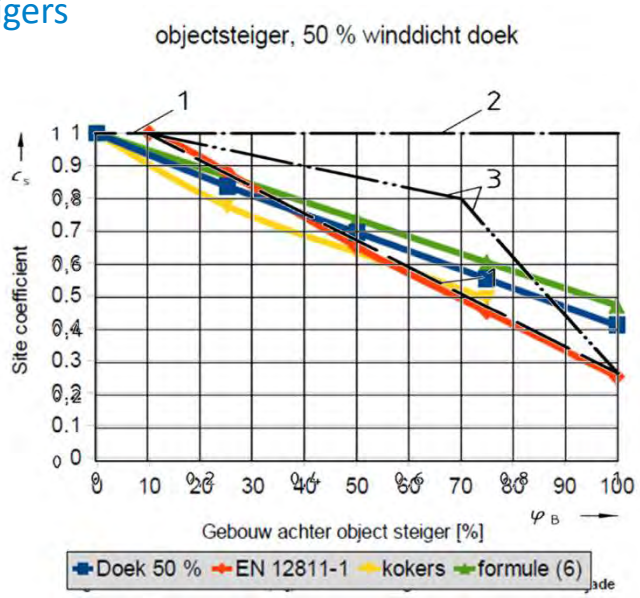
Figure 6 — Site coefficient c… …ade for wind forces normal to the façade

In de EN 12811-1 en de bijlagen zijn grafieken opgenomen die deze invloed weergeven. Voor een onbeklede gevel- / objectsteiger is dit de grafiek. Waarbij voor een gebouw met een 'dichtheid ratio van de gevel' van 0 - 10% de Cs 1,00 is, wat betekent dat er eigenlijk geen gebouw is of nagenoeg geen invloed heeft.
Bij een gebouw met een 'dichtheid ratio van de gevel' van 100% is de invloed maximaal en is de Cs = 0,25.

De resultaten uit de windtunneltesten komen overeen met figuur 6 uit de EN12811-1 Hiermee hebben we dus mede aangetoond dat wat in de EN 12811-1 beschreven staat klopt en daarom mee ook bewezen is dat onze methodiek klopt.

Gevel- / objectsteigers

- C_s – ‘netten 50%’



Bij een steigerconstructie volledig bekleed is de invloed van het achterliggende gebouw nihil.
Maar wat nu als je netten gaat toepassen die wel deels doorlatend zijn. Wat is dan de invloed van het gebouw?

Hiervoor hebben we netten 50% en netten 90% getest.
Voor de netten 50% komen de resultaten zeer goed overeen met figuur A1 uit de bijlage A van EN 12811-1.

Gevel- / objectsteigers

- C_s – ‘netten 90%’

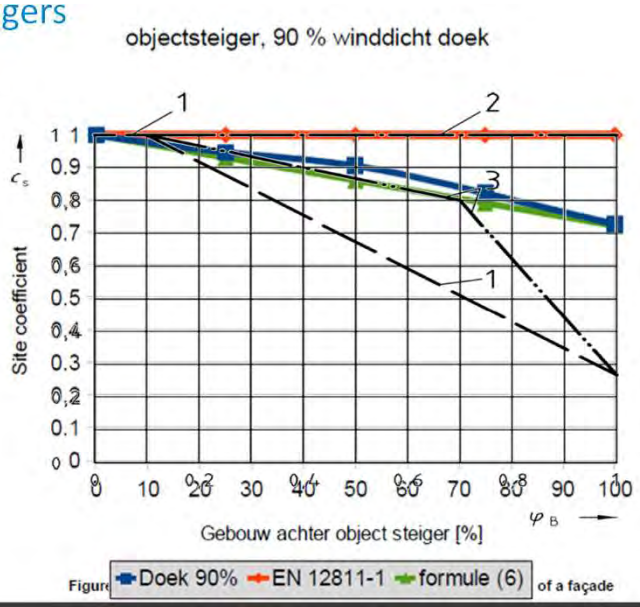
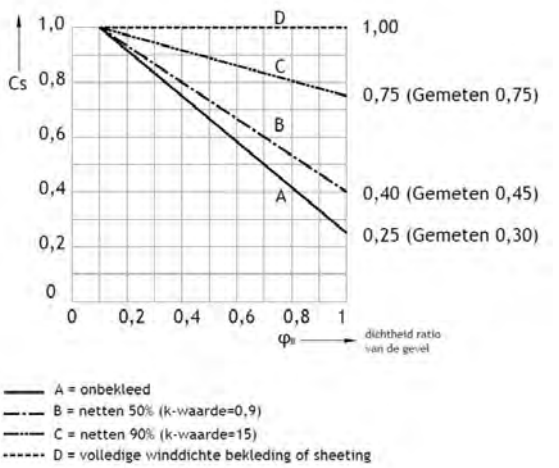


Figure of a façade

Voor netten 90% dien je lijn 2 aan te houden uit figuur A1 uit de bijlage A van EN 12811-1.
Echter blijkt uit onze toetsen dat een kleine doorlatendheid van de netten 90% toch de gunstige invloed van het achterliggende gebouw aanwezig blijft.
Bij een gebouw met een ‘dichtheid ratio van de gevel’ van 100% loopt deze invloed zelfs op tot Cs = 0,75.

Gevel- / objectsteigers

- C_s



Figuur VSB-6.2 site coëfficiënt C_s

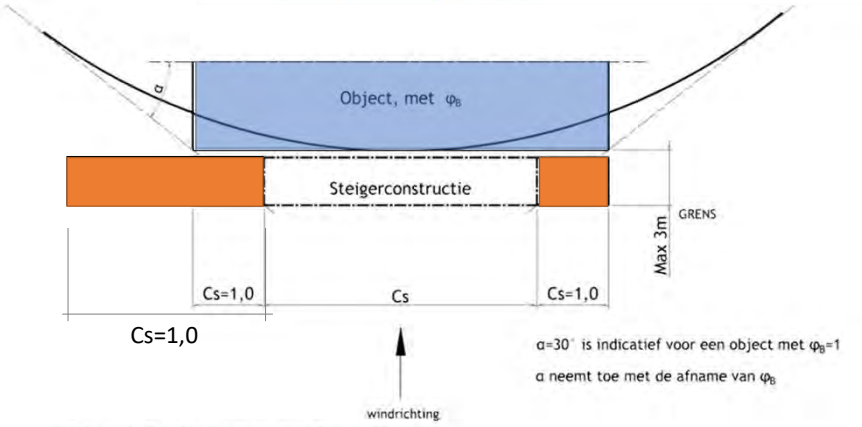
Samengevat is in de ANNEX deze grafiek opgenomen voor de 4 meest voorkomende situaties.
Er is een verschil tussen de daadwerkelijk waarden en de gemeten waarden tussen haakjes.
Dit komt omdat bij de metingen de invloed van de randeffecten niet gecorrigeerd zijn.
In de testen is de steigerconstructie even lang is als de gevel, waardoor de gemeten waarden hoger zijn.

Gevel- / objectsteigers

- Toepassing C_s

Bron: EN-NEN12811-1:2004, ANNEX A (A.4)

For calculation of wind loads on the area of the end of a run of a working scaffold, the value of C_s should be taken as 1,0.



Figuur VSB-6.1 toepassing C_s coëfficiënt

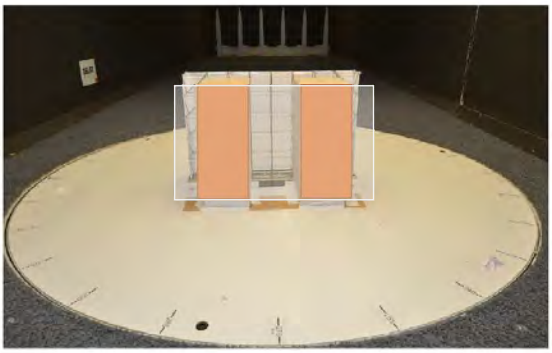
Dit randeffect is meegenomen in figuur VSB-6.1 van de ANNEX.
Wanneer de steigerconstructie net zo lang of langer is dan de gevel, dan vervalt de positieve invloed van het object.
Op deze oranje locaties dien je Cs=1,00 aan te houden. Voor het gedeelte ertussen mag de grafiek figuur VSB-6.2 van de ANNEX aangehouden worden.

Dit is ook beschreven in de EN 12811-1:
Voor het berekenen van de windbelasting op het oppervlak aan de uiteinden van een werksteiger moet de waarde van Cs genomen worden als 1,0.
Dit geldt zowel ter plaatse van de hoeken van het gebouw alsook de dakrand.
[Vertaling VSB]

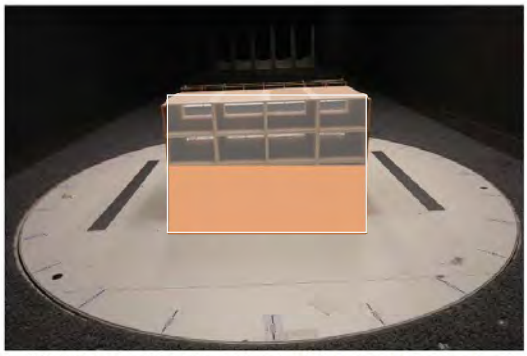
Figuur VSB-6.1 is een **voorbeeld met dichte gebouw** ($\varphi_B = 1$). De keuze van α=30° is gebaseerd op een logische aanname.
Bij een doorlatend object zal dit 'eindeffect' minder worden, waardoor α ≤ 30° toegepast kan worden. Deze invloed kun je inschatten, maar wanneer je 30 graden aanhoudt, zit je conservatief altijd goed!
De keuze van de grenslijn op 3m is een pragmatische aanname.

Gevel- / objectsteigers

- Dichtheid ratio van de gevel φ_B



17. Object steiger bekleed met 90 % winddicht doek en voor 50 % winddicht gebouw voor 7 windrichtingen, zonder dakbekleding



11. 2B 1C, Object steiger (n=2), onbekleed, met vloeren, kantplanken en leuningen alle slagen en voor 50 % winddicht gebouw opgebouwd uit kokers voor 7 windrichtingen.

Voor de het bepalen van de invloed zijn diverse object variaties getest.

In eerste instantie was Peutz uitgegaan van dichtheid door blokken, zoals de linker foto aangeeft.

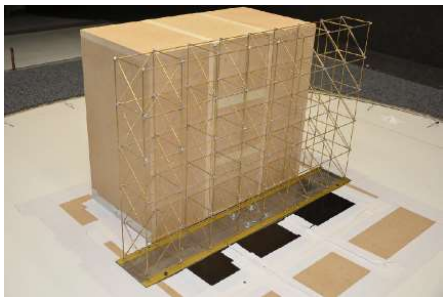
In dit geval was het een 50% winddicht gebouw.

Vanuit de werkgroep werd aangegeven dat dit niet representatief was voor cascobouw en dat we graag nieuwe metingen wilden doen met horizontale kokers zoals foto rechts.

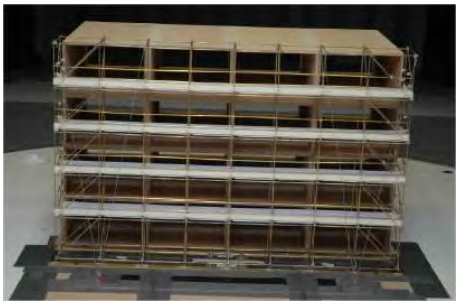
Uiteindelijk bleek uit de testen dat voor zowel opstelling links als recht nagenoeg hetzelfde resultaat gaf.
Het maakt dus uiteindelijk niet uit hoe de dichtheid ratio verdeeld is en dat het om een gemiddelde dichtheid gaat.

Gevel- / objectsteigers

- Cf = krachtcoëfficiënt



krachtcoëfficiënt C_f = 1,2 voor de steigerconstructie (of een gedeelte ervan) exclusief vloeren, kantplanken en leuningen



krachtcoëfficiënt C_f = 1,3 voor de steigerconstructie (of een gedeelte ervan) inclusief vloeren, kantplanken en leuningen.

Zoals eerder aangegeven wordt voor een steigerconstructie altijd een vaste krachtcoëfficiënt aangehouden. Echter is er wel een verschil in krachtcoëfficiënt tussen een steigerframe, zoals een ondersteuningssteiger en werksteiger met vloeropbouw, inclusief vloeren, kantplanken en leuningen.
De krachtcoëfficiënt voor een steigerconstructie met ronde buizen is 1,2. Echter door de toevoeging van leuningwerk en kantplanken, wordt deze factor hoger. De aanwezigheid van vloeren verlaagt deze factor weer, zodat er uiteindelijk een gemiddelde krachtcoëfficiënt van 1,3 voor werksteigers aangehouden mag worden. Het is toegestaan om een verdeling te maken wanneer een steiger bestaat uit een gedeelte ‘steigerframe’ en een gedeelte ‘werksteiger’.

Ruimtelijke steigers (Birdcage scaffolds)

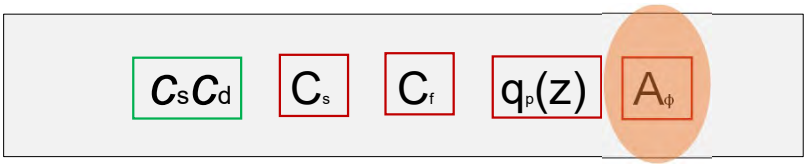
Ruimtelijke steigers

- EN 1991-1-4 ➡ EN 12811-1 ➡ ANNEX

conservatief ⟷ specifiek

[VSB] (6) De windkracht F_w op steigerconstructies (gevel- / objectsteigers of ruimtelijke steiger) wordt bepaald met uitdrukking (VSB 5.8).

$$F_w = c_s c_d \times C_s \times C_f \times q_p(z) \times A_\phi \qquad \text{(VSB 5.8)}$$



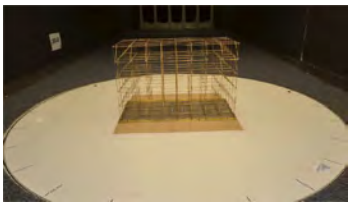
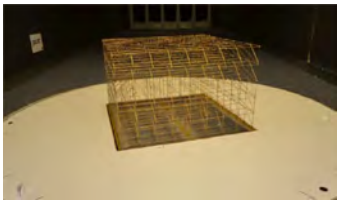
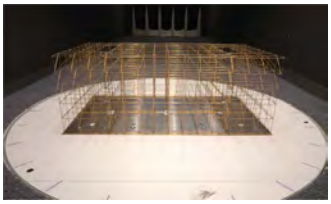
ANNEX Eurocode EN 1991-1-4

Aan de hand van de ruimtelijke steigers gaan we

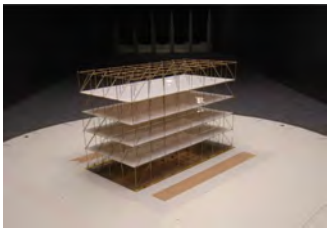
Het windvangend oppervlak, oftewel het referentie oppervlak uitleggen.
Het spreekt voor zich dat de vastgestelde krachtcoëfficiënten 1,2 en 1,3 ook voor ruimtelijk steigers gelden. De site coëfficiënt is doorgaans 1,0.

Ruimtelijke steigers

- Configuraties:
  - n=5
  - n=9
  - n=15

- Invloeden op windkracht
  - Invloed werkvloeropbouw (vloeren, leuningen en kantplanken)
  - De aanwezigheid van 'netten 50%' en 'netten 90%'
  - Invloed van daken en vloeren



In de windtunnel hebben we 3 verschillende configuraties getest voor een onbeklede kale ruimtelijke steiger met

n =5,

n=9 en

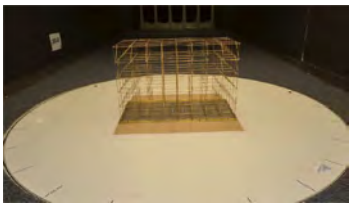
n= 15. Waarbij 'n' het aantal staanderrijen of vlakken achter elkaar aangeeft.
Met de resultaten uit de testen konden we de windkracht vergelijken tussen de verschillende configuraties.

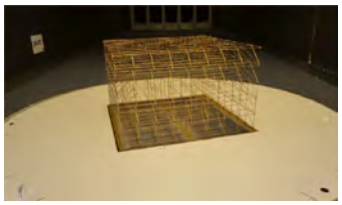
Naast enkel naar de steigerbuizen te kijken, hebben we ook gekeken naar veel voorkomende invloeden die het windvangend oppervlak kunnen verhogen:

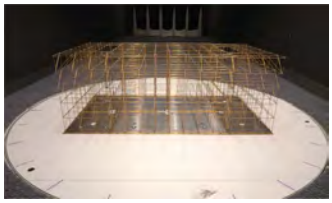
- Zoals de aanwezigheid van werkvloeropbouw met vloeren, leuningen en kantplanken.
- De invloed onbekleed, maar ook van 'netten 50%' en 'netten 90%'
- Tevens is gekeken naar de invloed van een dak of enkel vloeren op het totale windkracht;

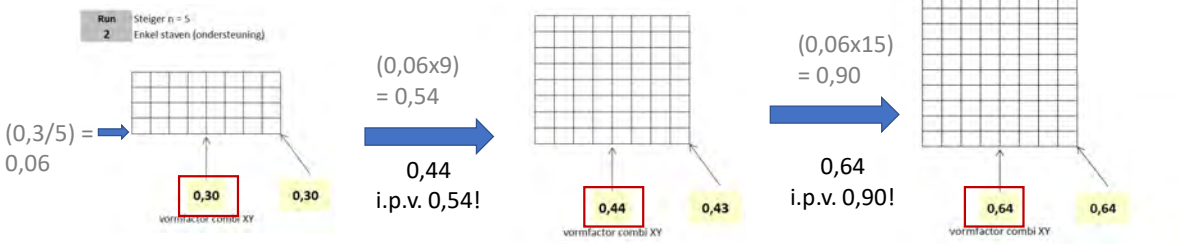
Ruimtelijke steigers

- ‘Schaduw effect’









Uit de resultaten bleek dat een ‘schaduw-effect’, waarbij een object een ander object als het ware uit de wind houdt, zeker aanwezig is.

Bij n=5 blijkt dat de vormfactor 0,30 is. Als we dit lineair bekijken en dus nog geen rekening houden met een ‘schaduw-effect’, dan is dit

0,30/5 = 0,06 per vlak.

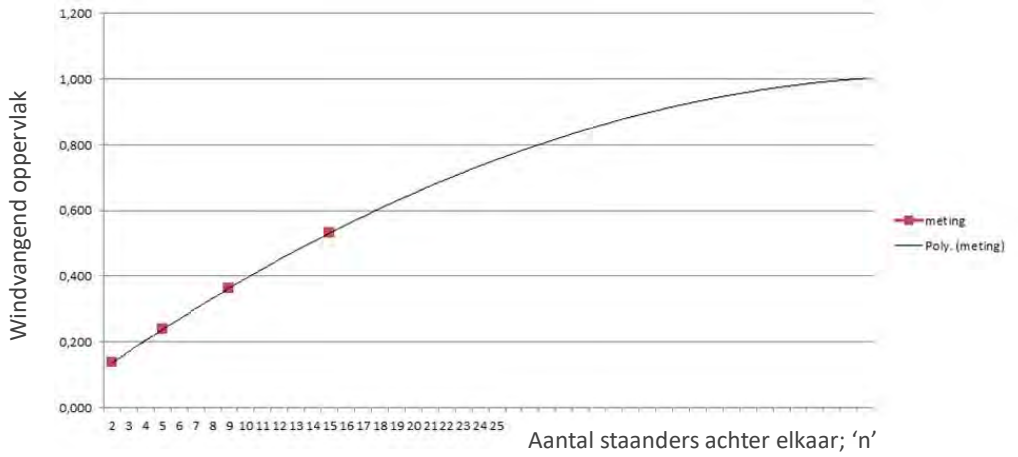
Bij een steiger met n=9, dan zou dit neerkomen op een vormfactor van 0,06 x 9 vlakken =0,54.

Echter uit de windtunneltesten blijkt dat dit 0,44 is in plaats van 0,54.

Voor de n=15 steiger zou lineair de vormfactor 0,90 zijn, maar uit de testen is dit zelfs maar 0,64. Hierdoor is duidelijk te zien dat naarmate er meer staanders achter elkaar staan, de windkracht op de steigerconstructie minder hard toeneemt en dus niet lineair is.

Ruimtelijke steigers

- Formules meerdere staanderrijen:



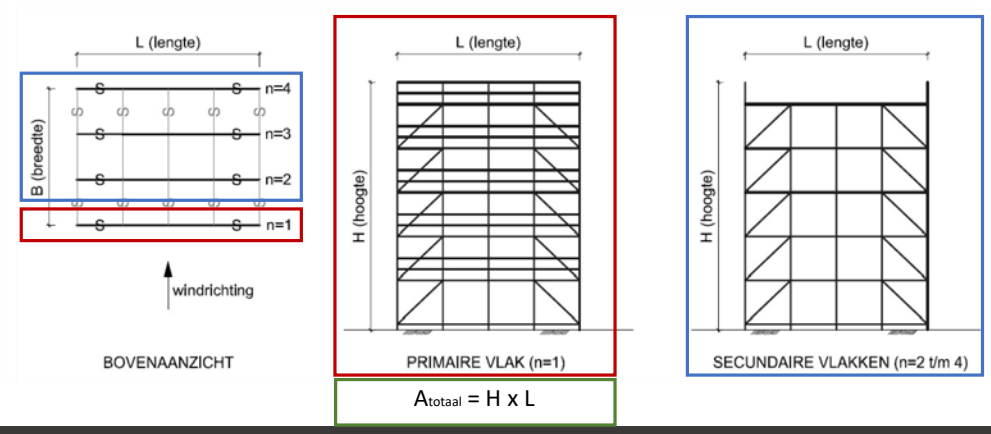
Als we dit weergeven in een grafiek en er een trendlijn overheen leggen, dan is te zien dat er heel erg veel staanders achter elkaar moeten staan, alvorens de 100% windvangend oppervlak bereikt is . Het spreekt natuurlijk voor zich dat bij een steiger met een werkvloeropbouw of andere vervuilingen deze 100% veel eerder bereikt zal worden.

Ruimtelijke steigers

- Onbekleed:

A_ϕ is windvangend oppervlak

$$A_\phi = A_1 + (A_{totaal} - A_1) \times (1 - e^{(-0{,}85 \times (n-1) \times A2/A_{totaal})}) \qquad \text{(VSB 7.1)}$$



$A_{totaal} = H \times L$

VSB Netwerk op hoogte 33

Op basis van de trendlijnen van de verschillende geteste configuraties

is de volgende formule opgesteld om het totale windvangend oppervlak te bepalen.

Waarin:

- A1 het windvangend oppervlak is van het primaire vlak. Het primaire vlak is het vlak met de meeste vervuiling oftewel grootste geprojecteerde oppervlak, dat als eerste wordt aangeblazen. Dit betekend dat A1 niet perse je eerste staanderrij hoeft te zijn. Wanneer je vloeropbouw pas in de 3e staanderrij begint, dan is dat A1.

- Atotaal is het totale omhullende frontale oppervlak: Hoogte x Lengte

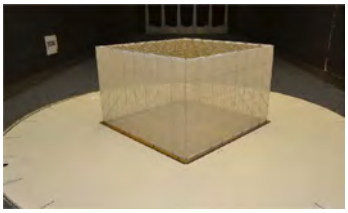
- n is het totaal achter elkaar liggende vlakken

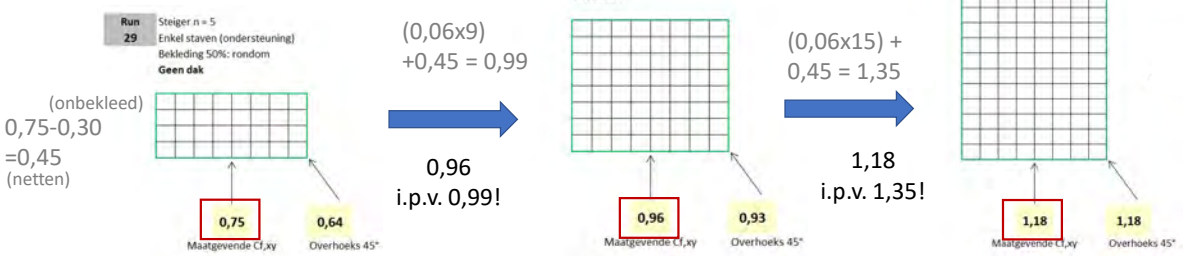
- A2 is het gemiddelde windvangend oppervlak per rij van de overige vlakken

Met deze formule is het dus mogelijk om voor elke onbeklede steigerontwerp het totale windvangend oppervlak te bepalen.

Ruimtelijke steigers

- Netten 50%





Eenzelfde effect zien we ook bij ‘netten 50%’

Bij n=5 blijkt dat de vormfactor 0,75 is. Hier kun je al zien dat door toepassing van netten, de windkracht op de steiger veel hoger is.

Als we hier de vormfactor van 0,30 van de onbeklede steiger van afhalen, dan houden we voor de netten 0,45 over.
Dit is natuurlijk niet helemaal 100% zuiver, maar conservatief zitten we in de goede richting om het effect te laten zien.

Bij een steiger met n=9, dan zou dit neerkomen op een vormfactor van 0,06 x 9 (onbeklede gedeelte) + 0,45 (netten) =0,99.

Echter uit de windtunneltesten blijkt dat dit 0,96 is in plaats van 0,99.

Voor n=15 zou lineair de vormfactor 1,35 zijn, maar uit de testen blijkt dat dit maar 1,18 is.
Hiermee is aangetoond dat ook voor netten 50% het ‘schaduw effect’ aanwezig is.
Maar dat ook de steigerconstructie achter de netten windkracht ondervinden.

Ruimtelijke steigers

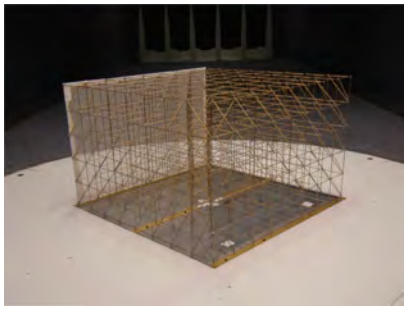
- Netten:

A_ϕ is windvangend oppervlak

$$A_\phi = \omega + ((A_{totaal} - \omega) \times (1 - e^{-p\,(n-1)\,\times\,A2/A_{totaal}})) \qquad \text{(VSB 7.2)}$$

waarin:
ω = $A_1 + 0{,}35\,(A_{totaal} - A_1)$ voor 50% netten met K=0,9
ω = $A_1 + 0{,}9\,(A_{totaal} - A_1)$ voor 90% netten met K=15

p = 0,4 bij netten enkel in primaire vlak (*)
p = 2,4 bij netten rondom (alle verticale vlakken)



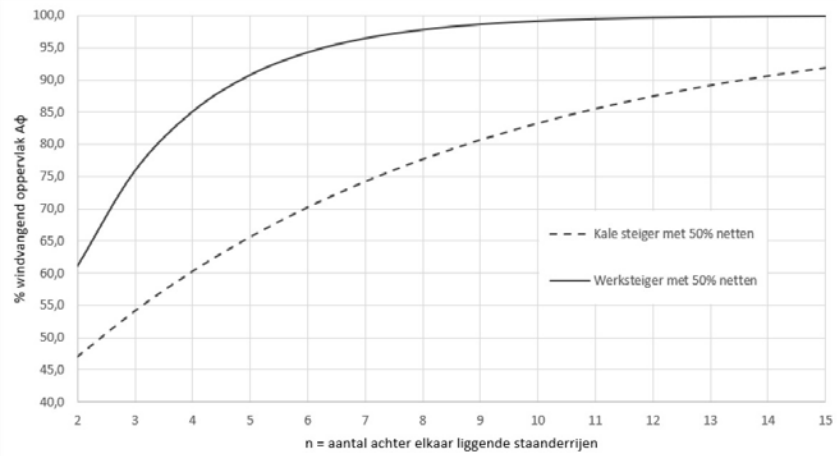
Voor steigerconstructies met netten is de volgende formule opgesteld. Hierin is A1, A totaal, n en A2 precies hetzelfde als bij onbekleed. Echter worden hier 2 nieuwe parameters geïntroduceerd.

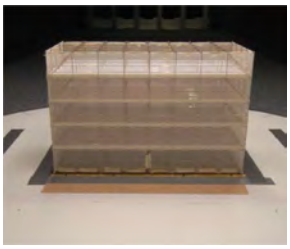
Namelijk de omega. Hiermee kun je het verschil aangeven bij toepassing van ‘netten 50%’ of ‘netten 90%’.

En de letter p. Hiermee kun je aangeven of de netten alleen aangebracht zijn op het primaire vlak of geheel rondom.

Ruimtelijke steigers

- Voorbeeld frame versus werksteiger netten 50%:

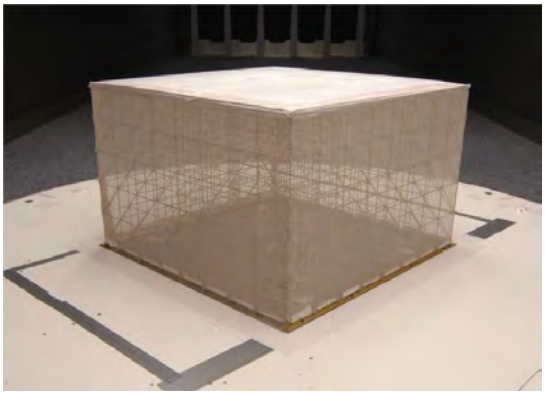


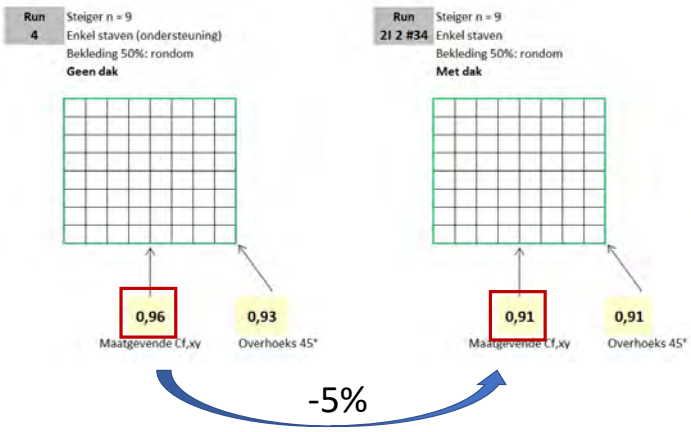


In deze grafiek kun je heel mooi zien wat het verschil is in windvangend oppervlak bij een steiger met ‘netten 50%’ en geen werkvloeropbouw, oftewel een frame steiger en steiger met een volledige werkvloeropbouw op alle slagen.
Voor de beklede werksteiger kun je dus zien dat de 100% windvangend oppervlak veel eerder bereikt wordt dan bij de beklede frame steiger. Wat ook logisch is.
Zoals eerder aangegeven: Wat achter de netten zit heeft zeker ook invloed op het totale windvangend oppervlak!

Ruimtelijke steigers

- Invloed dak bij netten 50%



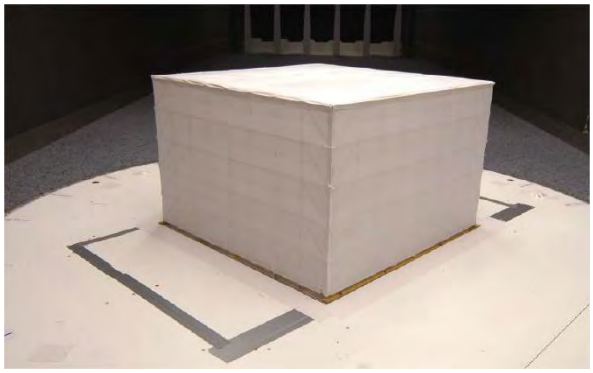


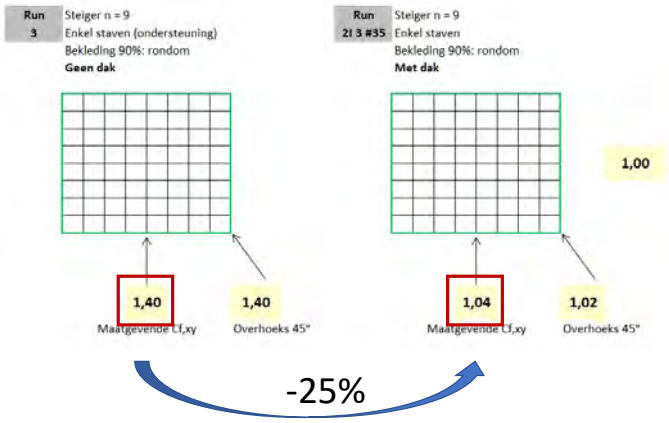
Het toepassen van een dak heeft een positief effect op de totale windkracht. Bij deze geteste configuratie met netten 50% kun je zien dat de vormfactor

met 5% afneemt wanneer er ook een dak wordt toegepast.

Ruimtelijke steigers

- Invloed dak bij netten 90%





En bij ‘netten 90%’ is het positief effect nog veel groter.

Namelijk 25%.
Dit positief effect is niet meegenomen in de eerder genoemde formules en de ANNEX.
Afhankelijk van de situatie kun je zelf inschatten of je dit positieve effect wel of niet meeneemt.
Steigerconstructies met ‘netten 90%’ met vloeropbouw op de bovenste slag of een dak gedragen zich bijna hetzelfde als een steigerconstructie die geheel bekleed is met een 100% dichte bekleding.
Het is dan ook toegestaan om deze steigerconstructies te benaderen als een gebouw volgens Eurocode. Deze keuze ligt bij jouw zelf als ontwerper.

Steiger rondom/naast cilindrische doorsnede

Dan zal Jaap nu iets meer uitleggen over steigers rondom en naast cilindrische doorsneden.

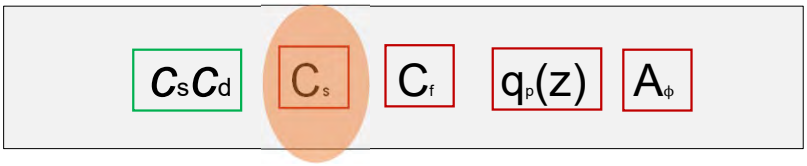
Steiger rondom/naast cilindrische doorsnede

- EN 1991-1-4 → EN 12811-1 → ANNEX

conservatief ← → specifiek

[VSB] (6) De windkracht F_w op steigerconstructies (gevel- / objectsteigers of ruimtelijke steiger) wordt bepaald met uitdrukking (VSB 5.8).

$$F_w = c_s c_d \times C_s \times C_f \times q_p(z) \times A_\phi \qquad \text{(VSB 5.8)}$$



ANNEX Eurocode EN 1991-1-4

Aan de hand van de Steiger rondom/naast cilindrische doorsnede gaan we opnieuw de site coëfficiënt behandelen.

Maar in dit geval kan het lokaal zowel een verminderingsfactor als vermeerderingsfactor zijn. De omgeving is hierbij bepalend.

Steiger rondom/naast cilindrische doorsnede

- Elke berekening begint met inzicht in verhoudingen

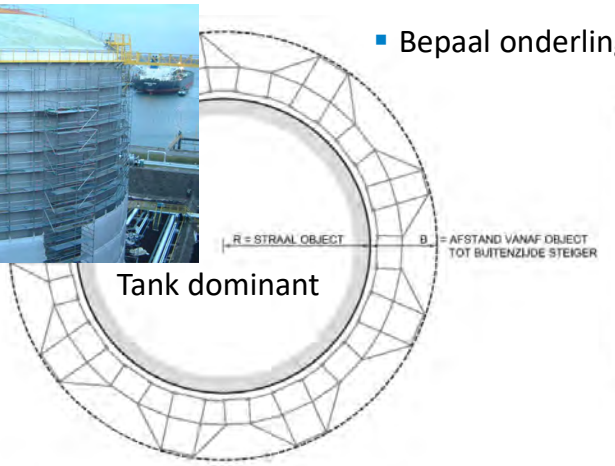
Om het gedrag van wind rondom cirkelvormige doorsneden te kunnen begrijpen is inzicht in verhoudingen een eerste vereiste.
De afmetingen van de tank ten opzichte van de steiger en de omgeving waarin deze zich bevinden hebben een zeer grote invloed op de windbelasting.

Uiteraard maakt het ook uit of de steiger bekleed is of niet. Als een steiger geheel (of gedeeltelijk) bekleed is neemt in feite alleen de uitwendige diameter toe (ten opzichte van de oorspronkelijke diameter van de tank).
Zoals je op de middelste foto kunt zien is er vaak ook nog een deel onbeklede steiger buiten het beklede deel aanwezig dat ook wind vangt. De totale windbelasting op het geheel neemt in ieder geval toe.
De tank zelf is volledig afgeschermd en heeft daardoor geen interactie op de steiger.

Voor een onbeklede steiger wordt het een stuk lastiger. Er is dan namelijk zowel interactie van de steiger op de tank als andersom. De aanwezigheid van de tank (en soms ook omliggende tanks) heeft invloed op de windbelasting op de steiger.
Met name de directe interactie van de steiger met de tank gaan we wat uitgebreider behandelen.

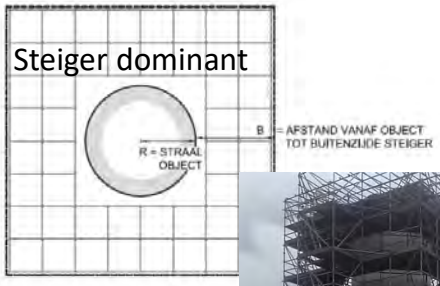
Steiger rondom cilindrische doorsnede

- Bepaal onderlinge verhoudingen



Tank dominant

Figuur VSB-7.12. Definitie R en B



In de vorige dia heb je kunnen zien wat de verhoudingen kunnen zijn. Op het linker plaatje is de tank overduidelijk groot en dus dominant. Op het rechter plaatje is de tank overduidelijk klein, waardoor de steiger dominant is. En elke mogelijke variatie ertussen in.

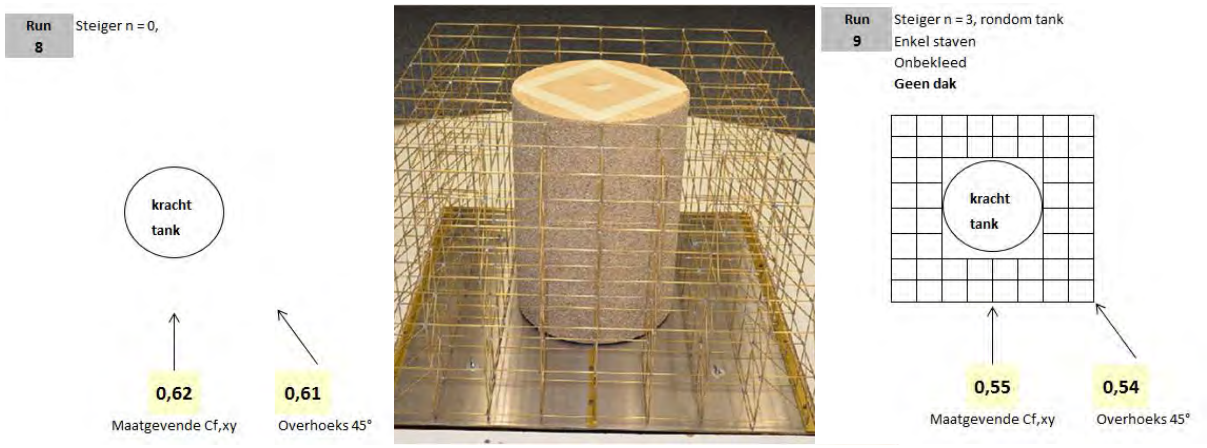
De begrippen “groot” en “klein” zijn subjectief. Daarom hebben we een rekenhulp geïntroduceerd op basis van de straal R van het object en de afstand B vanaf het object tot buitenzijde van de steiger.

Indien R > B dan is de cirkelvormige diameter dominant => Site coëfficiënt Cs

Als B >= R dan is de steiger dominant. => Alleen steiger bekijken
alsof er geen object aanwezig is

Steiger rondom cilindrische doorsnede (resultaten windtunnel)

- Invloed steiger op tank



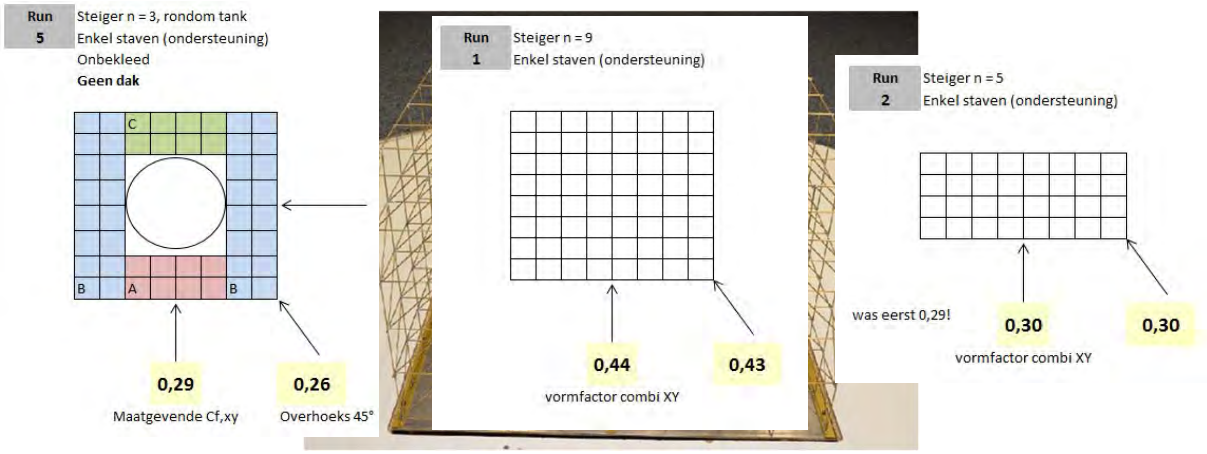
In deze runs hebben we gekeken naar de invloed van de steiger op de tank.

Als controlemeting is de kracht op een cilindrische doorsnede gemeten in de situatie ZONDER STEIGER (run 8) en situatie MET STEIGER (run 9).
Alleen de tank staat op de balans, de kracht op de steiger wordt NIET gemeten.

Wat opvalt is dat de gemeten kracht op de tank MET STEIGER wel afneemt, maar niet veel (ca. 10%) . De steiger houdt de tank dus niet uit te wind!

Steiger rondom cilindrische doorsnede (resultaten windtunnel)

- Invloed tank op steiger



We gaan nu bekijken wat de invloed van de tank op de steiger is.

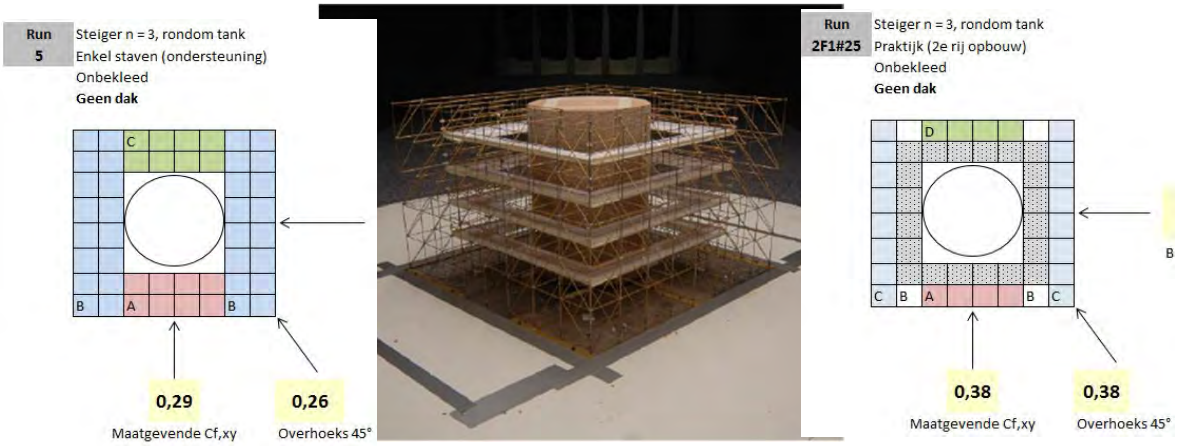
We hebben run 5 een steiger rondom een tank gemeten, waarbij de vormfactor 0,29 is. We zouden dit moeten vergelijken met een steiger met een sparing zonder tank. Deze test hebben we helaas niet uitgevoerd.

Qua uitwendige afmeting komt run 1 het meest overeen, maar hier zit geen sparing in. Dit geeft dus en hogere vormfactor, wat ook logisch is.
Het blijkt dat run 2 met n=5 beter overeenkomt met run 5. De tank heeft lokaal wel degelijk invloed, zo zal de kracht in A en C kleiner zijn en in B juist groter. Maar het totale gemeten kracht op het geheel blijft gelijk voor run 5 en run 2.

Hieruit kunnen we concluderen dat de tank zelf niet veel invloed heeft op het globale plaatje.

Steiger rondom cilindrische doorsnede (resultaten windtunnel)

- Invloed tank op steiger

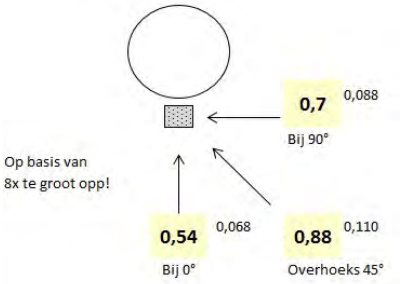


Als we de steiger gaan “vervuilen” met bekleding zoals gaasdoek, of met vloeren met leuningen en kantplanken neemt de totale kracht toe.

Steiger naast cilindrische doorsnede

- Toename kracht
- Introductie Cs

Run	
2G1A	Steiger n = 2, naast tank Praktijk onbekleed **Geen dak** Verhouding 0,70/0,54 = 1,30 Verhouding 0,88/0,54 = 1,62



Wanneer de verhoudingen veranderen, bijvoorbeeld een relatief kleine steiger naast een grotere tank, wordt het grotere object dominant. In de praktijk is dat lastig te beoordelen, maar oefening baart kunst.

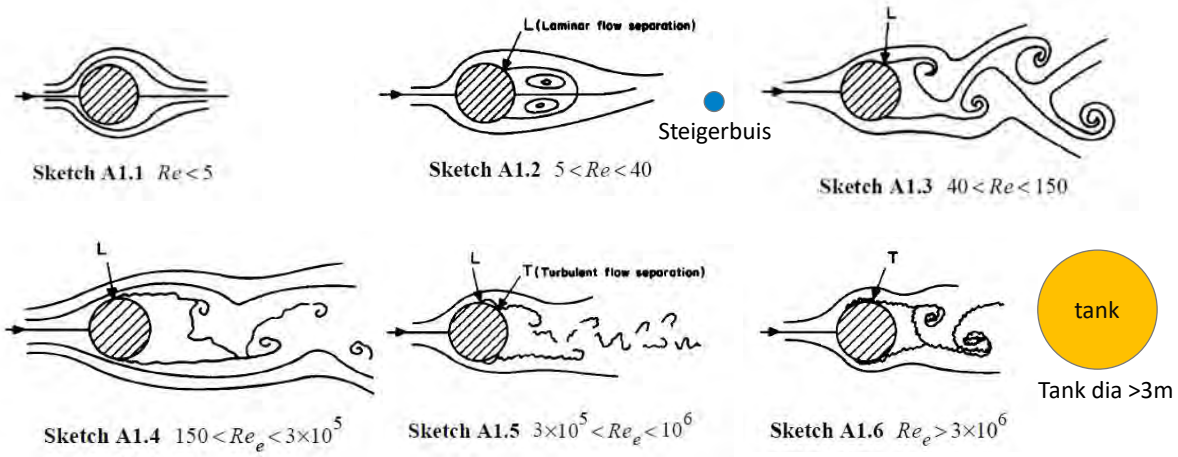
De getoonde waarden voor Cf geven een vertekend beeld omdat voor Aref het oppervlak van de (kleinere) steiger is aangenomen.
Als we de Cf in perspectief bekijken ten opzichte van de Aref van de (grote) steiger kunnen we concluderen dat er een vergrotingsfactor van ca. 1,5 van toepassing is.

We noemen deze factor: site-coëfficiënt Cs.

De toename van de kracht op de steiger wordt veroorzaakt door de turbulentie ter plaatse van het “loslaten” van de laminaire windstroming van de cirkelvormige doorsnede in combinatie met de verhoogde windsnelheid rondom de cilindrische doorsnee.

Steiger rondom/naast cilindrische doorsnede (theorie)

Bron: ESDU 80025 (cylinder with two-dimensional flow)



Afhankelijk van het Reynolds getal (en de ruwheid van het oppervlak) treedt rondom een cilindrische doorsnede een laminaire of turbulente stroming op.

Eenvoudig te onthouden: - Laminaire stroming (L) geeft minder kracht op het object (lage stromingsweerstand, vergelijk een moderne auto)
- Turbulente stroming (T) zorgt voor meer kracht op het object (vergelijk motor zonder kuip, “naked bike”)

Hoe groter de tank, hoe groter de verdringing en dus een grotere variatie van windsnelheden rondom de tank. Dit heeft ook invloed op de steiger direct naast de tank. Aan de zijkant van de tank is er meer turbulente stroming door versnelling, hierdoor wordt de kracht op de steiger direct naast de tank op deze locatie ook groter.

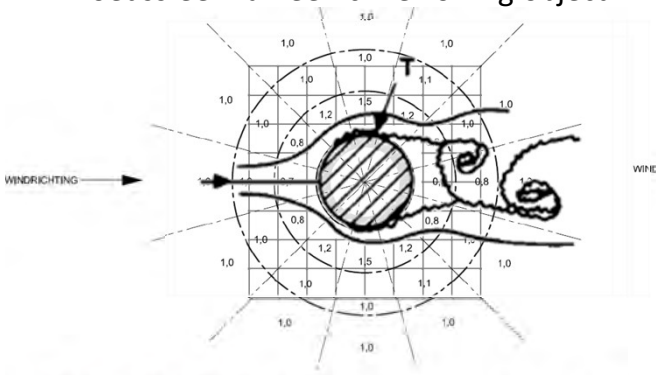
Reynoldsgetal voor diverse doorsneden: (bij een piekwindsnelheid van 40 m/s Re = (b x V(ze)) / ν)

- Steigerbuis 48,3mm x 3,2mm Re = (0,05m x 40 m/s) / 15 .10^{-6} m²/s = 130
- Tank dia 3 m Re = (3 m x 40 m/s) / 15 .10^{-6} m²/s = 8,0 x 10^6

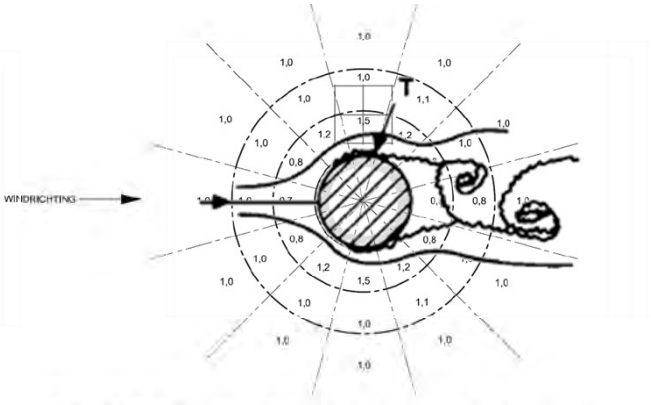
- Tank dia 10 m Re = (10 m x 40 m/s) / 15 .10^{-6} m²/s = 26,7 x 10^{6}
- Tank dia 60 m Re = (60 m x 40 m/s) / 15 .10^{-6} m²/s = 16,0 x 10^{7}

Steiger rondom/naast cilindrische doorsnede (VSB.01.A.2020 Annex)

Invloedssfeer van een cirkelvormig object



Figuur VSB-7.13 Lokale sitecoëfficiënt onbeklede steigerconstructie rondom 'klein' cirkelvormig object (afstand buitenvlak object tot buitenste vlak steigerconstructie is groter dan de straal van het cirkelvormige object).



Figuur VSB-7.15 Lokale sitecoëfficiënt onbeklede steigerconstructie naast 'klein' cirkelvormig object

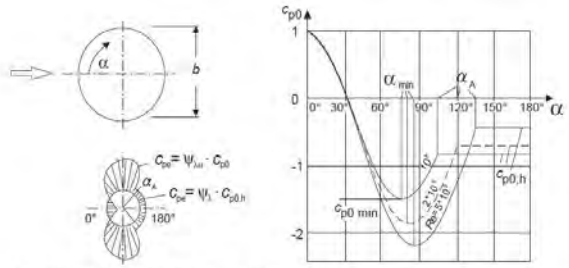
In deze plaatjes is de invloedssfeer van de tank vertaald in concentrische cirkels rondom het object. De onderlinge afstand tussen deze cirkels is om praktische redenen aangenomen als 3 meter.
Het is puur bedoeld als indicatie en hulpmiddel om de invloed van Cs te kunnen inschatten met behulp van een vereenvoudigde versie van de ESDU-plaatjes.

Zie de invloed van Cs dus als “meer” en/of “minder” (relatief) en ga er geen ingewikkelde berekeningen mee maken.

Steiger rondom/naast cilindrische doorsnede (NEN-EN 1991-1-4)

Beklede steiger => kracht loodrecht op beklede vlak

drukcoëfficiënten



OPMERKING 1 Voor tussenliggende waarden mag lineair zijn geïnterpoleerd.

OPMERKING 2 Kenmerkende waarden in bovenstaande figuur zijn te vinden in tabel 7.12. Figuur en tabel zijn gebaseerd op het reynoldsgetal met $v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_p}{\rho}}$ en q_p gegeven in 4.5.

OPMERKING 3 De bovenstaande figuur is gebaseerd op een equivalente ruwheid k/b kleiner dan $5 \cdot 10^{-4}$. Kenmerkende waarden voor de ruwheidshoogte k zijn gegeven in tabel 7.13.

Figuur 7.27 — Drukverdeling voor cirkelvormige cilinders voor verschillende reynoldsgetallen en zonder eindeffecten

In figuur 7.27 van NEN/EN 1991-1-4 wordt schematisch aangegeven hoe de windbelasting op de verschillende locaties van de cilindrische doorsnede moet worden geplaatst.

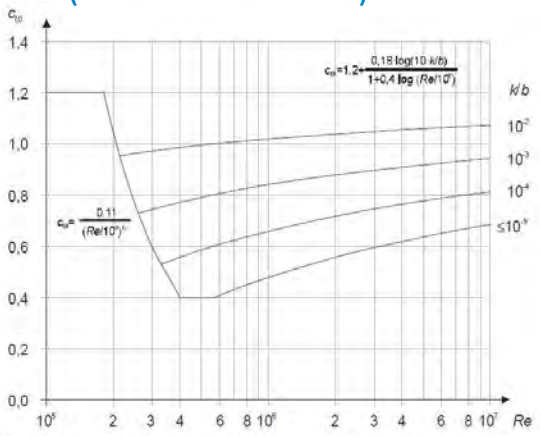
De windbelasting op de (beklede) steiger staat hierbij loodrecht op het beklede oppervlak.
Er worden verschillende **drukcoëfficiënten** aangegeven over de omtrek van de cilindrische doorsnede.

De resulterende kracht (de som van alle lokale krachten) op de (beklede) steiger is altijd in de richting gelijk aan die van de windrichting.

Steiger rondom/naast cilindrische doorsnede (NEN-EN 1991-1-4)

Beklede steiger => kracht in windrichting

krachtcoëfficiënt



Figuur 7.28 — Krachtcoëfficiënt $c_{f,0}$ voor cirkelvormige cilinders zonder eindeffecten en voor verschillende equivalente ruwheden *k/b*

OPMERKING 1 Figuur 7.28 mag ook zijn gebruikt voor gebouwen met $h/d > 5,0$.

OPMERKING 2 Figuur 7.28 is gebaseerd op het reynoldsgetal met $v = \sqrt{\frac{2 \cdot q_b}{\rho}}$ en q_b gegeven in 4.5.

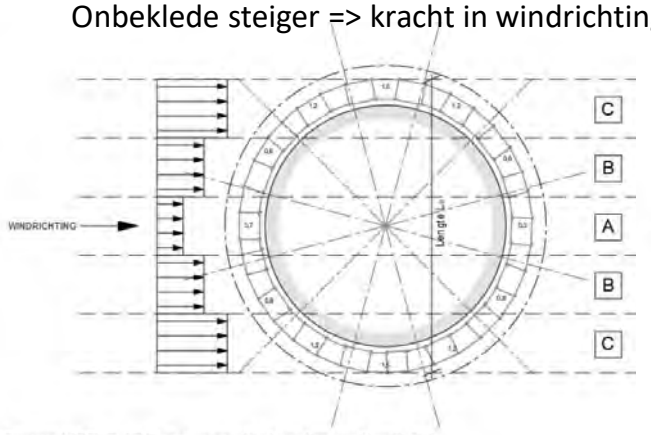
In figuur 7.28 van NEN/EN 1991-1-4 wordt schematisch aangegeven hoe de windbelasting op de gehele cilindrische doorsnede moet worden geplaatst.

De windbelasting op de (beklede) steiger is hierbij in de windrichting.
Er wordt voor de gehele doorsnede één (1) globale **krachtcoëfficiënt** aangegeven.

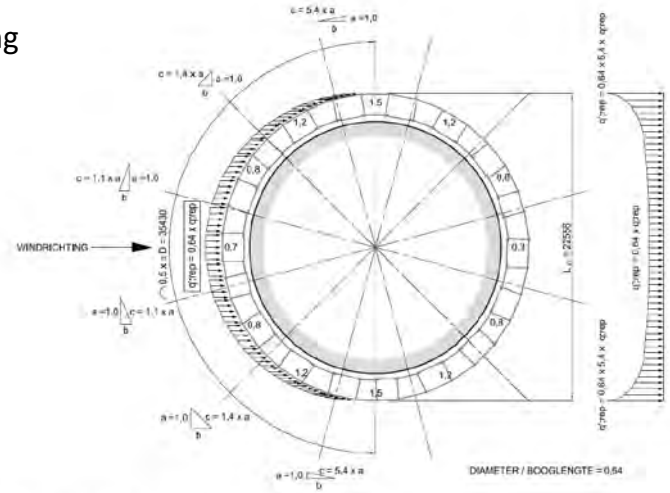
De resulterende kracht op de (beklede) steiger is altijd in de richting gelijk aan die van de windrichting.
Het maakt dus niet uit of je het berekent met druk of kracht coëfficiënten, het resultaat is voor beide methoden gelijk.

Steiger rondom/naast cilindrische doorsnede (VSB.01.A.2020 Annex)

Onbeklede steiger => kracht in windrichting



Figuur VSB-7.17 Vereenvoudigde rekenmethodiek 1.



Figuur VSB-7.18 Vereenvoudigde rekenmethodiek 2. Voorbeeld groot cirkelvormig object

In figuur VSB-7.17 en 7.18 wordt een praktische invulling aangegeven hoe de windbelasting op de verschillende elementen kan worden geplaatst bij een steiger rondom een tank.
De kracht op de steiger is altijd in de richting gelijk aan die van de windrichting.

Volgens figuur 7.17 : exacte invulling van handmatig bepaalde windbelasting met inachtneming van Cs

Volgens figuur 7.18 : globale invulling van windbelasting op doorsnede als constructie-element (invloed van Cs wordt automatisch verdisconteerd)

Steiger met afgeronde / afgeschuinde hoeken

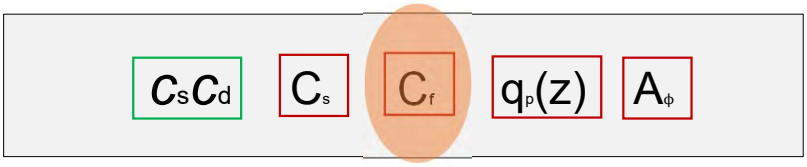
Steiger met afgeronde / afgeschuinde hoeken

- EN 1991-1-4 → EN 12811-1 → ANNEX

conservatief ← → specifiek

[VSB] (6) De windkracht F_w op steigerconstructies (gevel- / objectsteigers of ruimtelijke steiger) wordt bepaald met uitdrukking (VSB 5.8).

$$F_w = c_s c_d \times C_s \times C_f \times q_p(z) \times A_\phi \qquad \text{(VSB 5.8)}$$



ANNEX Eurocode EN 1991-1-4

Krachtcoëfficiënt zoals genoemd in NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011 7.6
Hiermee wordt rekening gehouden met de vorm van de steigerconstructie, en dan met name de invloed van afgeronde of afgeschuinde hoeken.

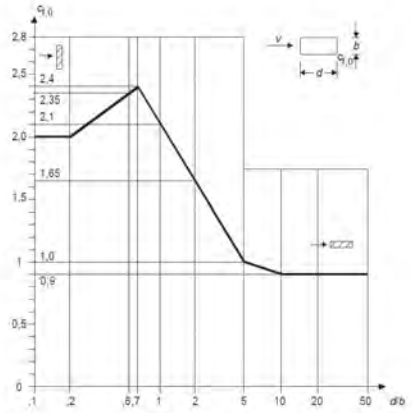
Steiger met afgeronde / afgeschuinde hoeken

Voorbeelden van steigerconstructies met afgeronde en/of afgeschuinde hoeken. Dit is alleen van toepassing bij een beklede steiger. De meeste reductie wordt gehaald als de hoeken echt afgerond zijn.
Hierin is niet altijd te voorzien. In veel gevallen zijn alleen afgeschuinde hoeken mogelijk.

Steiger met afgeronde / afgeschuinde hoeken

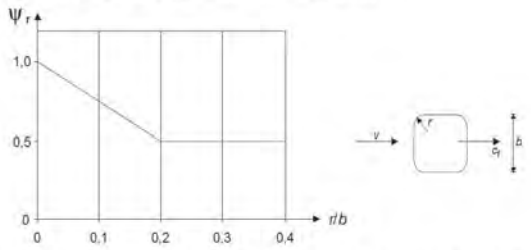
- Conform NEN-EN-1991-1-4 7.6
- Krachtcoëfficiënt Cf,0

NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011



Figuur 7.23 — Krachtcoëfficiënt $c_{f,0}$ voor rechthoekige doorsneden met scherpe hoeken en zonder eindeffecten

OPMERKING 2 Figuur 7.24 mag ook zijn gebruikt voor gebouwen met $h/d > 5,0$



Figuur 7.24 — Reductiefactor ψ_r voor een vierkante dwarsdoorsnede met afgeronde hoeken

De bepaling van de krachtcoëfficiënt Cf;0 volgens NEN-EN 1991-1-4+A1+C2:2011 7.6 is afhankelijk van verhoudingen.
Figuur 7.23 is de krachtcoëfficiënt van rechthoekige doorsneden met scherpe hoeken.
Figuur 7.24 geeft aan wat de reductie is als je scherpe hoeken gaat afronden.

---

de krachtcoëfficiënt Cf voor constructie-elementen met Cf;0
(1) De krachtcoëfficiënt Cf voor constructie-elementen met rechthoekige doorsnede met de wind loodrecht op
een zijde, behoort te zijn bepaald met uitdrukking (7.9):

$$C_f = C_{f,0} \cdot \psi_r \cdot \psi_\lambda \qquad (7.9)$$

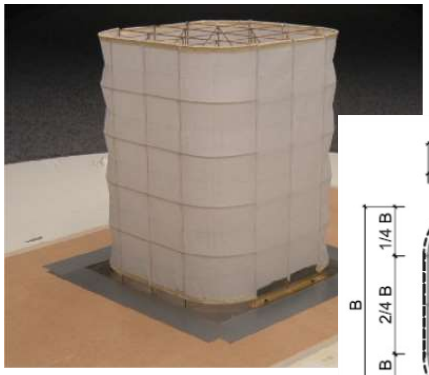
waarin:
cf,0 is de krachtcoëfficiënt van rechthoekige doorsneden met scherpe hoeken en zonder correctie voor
eindeffecten, zoals gegeven in figuur 7.23.
Ψr is de reductiefactor voor vierkante doorsneden met afgeronde

hoeken.

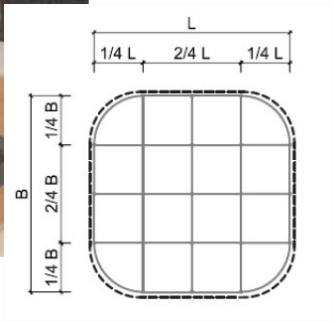
ψr is afhankelijk van het reynoldsgetal, zie opmerking 1.

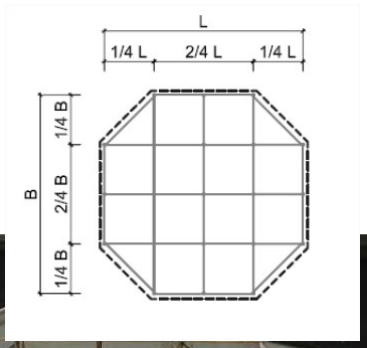
ψλ is de eindeffectfactor voor elementen waarbij eindeffecten een rol spelen, als vastgesteld in 7.13.

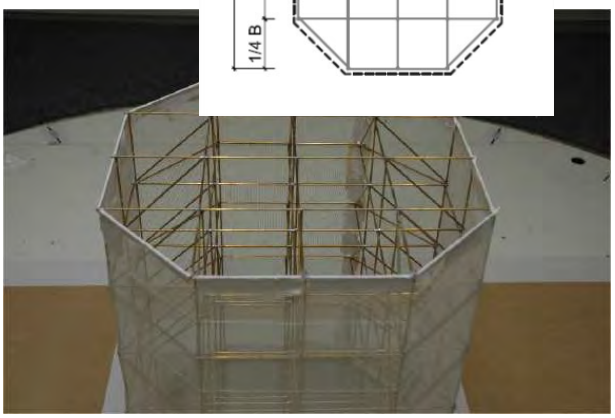
Steiger met afgeronde / afgeschuinde hoeken



- Verhouding
- 100% winddicht





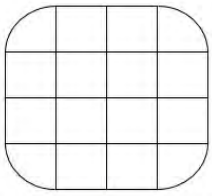


Voor een gelijkzijdige steiger, 100% winddicht bekleed met afgeronde hoeken kan (bij de juiste verhoudingen) een aanzienlijke reductie worden verkregen.

Steiger met afgeronde / afgeschuinde hoeken

- Verhouding
- Zeil en netten 90% / 50%

Run 2H2B#32 Steiger n = 5, Enkel staven (ondersteuning) Bekleding 90%, rondom **Geen dak / hoeken afgerond**

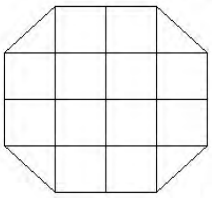


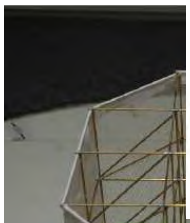
Vormfactor bij n=9 1,40

0,88 Maatgevende Cf,xy

0,88 Overhoeks 45°

Run 2H1B#30 Steiger n = 5, Enkel staven (ondersteuning) Bekleding 90%, rondom **Geen dak / hoeken afgeschuind**





Vormfactor bij n=9 1,40

0,99 Maatgevende Cf,xy

0,99 Overhoeks 45°

$$c_{f,afschuinen} = c_{f,0} \times \Psi_r \times \Psi_\lambda \times 1{,}15$$

VSB Netwerk op hoogte 57

Voor een gelijkzijdige steiger, 100% winddicht bekleed met afgeschuinde hoeken is de reductie ca. 15% minder ten opzichte van afgeronde hoeken.
Vandaar dat er voor afgeschuinde hoeken een factor 1,15 toegevoegd is aan de formule van de Eurocode.

Zelfs voor een bekleding met netten 90% of netten 50% is een reductie ten opzichte van een scherphoekige doorsnede aangetoond.
Dit geldt zowel voor afgeronde hoeken als voor afgeschuinde hoeken.
Het is echter niet eenvoudig te berekenen

Voor netten 90% mag ook de berekeningsmethodiek voor zeil (100% dicht) worden aangehouden
volgens 7.16, omdat het verschil in resultaten tussen beide berekeningsmethodieken zeer klein is.

KORTE AFSLUITING MAKEN.

KIJK NAAR VERHOUDINGEN. GEBRUIK JE EIGEN INZICHT! EN NEEM EENS AFSTAND. HET IS GEEN EXACTE WETENSCHAP