



**Buildwise**

# **VERANKERING VAN FOTOVOLTAÏSCHE PANELEN**

Handleiding



Wetenschappelijk en Technisch Centrum  
voor het Bouwbedrijf

## Wind berekening van de verankering van de draagconstructies bij zonnepanelen

Wij vestigen uw aandacht op de auteursrechten die van toepassing zijn op dit werk. In dit kader is elke reproductie, verspreiding (in welke vorm ook) of vertaling, zelfs gedeeltelijk, van de teksten en illustraties in dit document enkel toegelaten met de schriftelijke toestemming van het WTCB.

Wetenschappelijk en Technisch Centrum voor het Bouwbedrijf  
WTCB, instelling erkend door toepassing van de besluitwet van 30 januari 1947  
Hoofdkantoor: Lombardstraat 42, 1000 Brussel

Samenstelling van de werkgroep:  
Michel Wagneur, onafhankelijk expert  
Filip Van Rickstal, Paul Van den Bossche, WTCB  
Jacques Dekeyser, SECO

Verslaggever: E Dupont WTCB

## Inhoudsopgave

1. Onderwerp .....	3
2. Toepassingsgebied.....	3
3. Symbolen .....	3
4. Plaatsingstype .....	4
5. Windkracht - algemene formules en coëfficiënten.....	5
5.1. De aerodynamische druk $w$ .....	5
5.2. De dynamische piekdruk $q_p(z_e)$ .....	5
5.2.1. Windbelastingsklassen .....	7
5.3. De windbelastingszones van een hellend dak .....	8
5.3.1. Dak met dubbele helling.....	8
5.3.2. Dak met enkele helling .....	9
5.3.1. Praktische bepaling van de breedte van de zones .....	10
5.4. De totale krachtcoëfficiënt $c_{f,pv}$ .....	11
6. Studie van de grenstoestanden.....	12
7. Verankering van de constructies in de houten gebinten.....	12
7.1. Berekening van de uittrekweerstand van de verankeringen .....	12
7.2. Technologische regels.....	14
7.2.1. Effectieve diameter $d_{ef}$ .....	14
7.2.2. Houtkwaliteit in de montagezones .....	15
7.2.3. Plaatsing van de schroeven en schroefbouten in de verbindingen .....	15
7.3. Weerstandswaarde van de verbindingen.....	15
7.3.1. Verankering zonder momentwerking .....	15
7.3.2. Verankering met momentwerking .....	17
8. Oplossing van een praktisch geval .....	22
Bijlage 1 - Dynamische piekdruk $q_p(z)$ (N/m <sup>2</sup> ) bij $v_{b,0}=26$ m/s .....	22
Bijlage 2 - Bibliografie .....	28

## 1. Onderwerp

Dit document specificeert de winddrukwaarden die van toepassing zijn op zonne-installaties op hellende daken bij gebrek aan proeven uitgevoerd op prototypes die representatief zijn voor het toegepaste systeem. Indien er wel resultaten beschikbaar zijn, moeten deze correct geïnterpreteerd worden, rekening houdende met de projectwoordwaarden.

Het vult de aspecten aan die in het Wetenschappelijk Rapport nr. 11 van het WTCB werden behandeld wat de berekening van de windbelasting betreft.

Het biedt ontwerpers van dergelijke systemen dus de nodige elementen voor de dimensionering van de verankering van de zonnepanelen op een hellend dak.

Waarschuwing:

De stabiliteitsberekeningen vereisen over het algemeen specifieke competenties en kennis. De ontwerper moet deze bezitten en nagaan of de ontwerpomstandigheden toelaten zich op dit document te baseren. Bovendien is dit document bedoeld voor normaal gebruik. Voor alle ongewone handelingen of toepassingen van de werkstukken zijn aanvullende specificaties nodig die aangepast zijn aan het risico dat men wil dekken.

De verschillende opgegeven waarden in dit document zijn gebaseerd op de recentste documenten en de actuele kennis. Dit sluit niet uit dat er voor bepaalde situaties aanvullende proeven of controles nodig zijn om een nauwkeurige beoordeling mogelijk te maken.

## 2. Toepassingsgebied

Fotovoltaïsche of thermische zonne-installaties op hellende daken.

De zonnepanelen worden evenwijdig met het dak geplaatst, en mogen niet uitsteken buiten de nok, de goot of de dakrand.

## 3. Symbolen

$F_d(w)$ : rekenwaarde van de windkracht [Pa]

$w$ : netto winddruk [Pa]

$\gamma_Q$ : partiële belastingsfactor

$\gamma_{inf}$ : partiële belastingsfactor voor de evenwichtstoestand

$c_{f,PV}$ : krachtcoëfficiënt voor het zonnepaneel, afhankelijk van de plaatsingsconfiguratie

$F_d(w)$  [N]: De railkracht, resultante van de windbelasting op de haak,

$b_F$ : hefboom van de railkracht  $F_d(w)$ ,

$R_s$  [N]: kracht die door de haak op de schroef wordt uitgeoefend,

$b_r$  : hefboom van de druk tussen hout en haak,

$L_1$  : afstand tussen uiteinde haak en de eerste schroef,

$L_2$  : afstand tussen uiteinde haak en de op trek belaste schroef ( $R_s$ ).

$k_r$  : stijfheidscoëfficiënt,

$k_l$  : lengtecoëfficiënt,

$\rho_s$  : volumieke massa van standaardhout in  $[\text{kg}/\text{m}^3] = 320 \text{ kg}/\text{m}^3$

$\rho_h$  : volumieke massa van het gebruikte hout in  $[\text{kg}/\text{m}^3]$

$d_c$  : dikte van de metalen haak in  $[\text{mm}]$

#### **4. Plaatsingstype**

In dit document wordt de buitenwand als luchtopen beschouwd wanneer de oppervlakte van de openingen ten opzichte van de totale oppervlakte < 0,1% is.

Er worden vijf daktypes bestudeerd:

##### Plaatsingstype 1:

De panelen vormen een luchtopen buitenwand. De binnenwand is luchtdicht. De ruimte tussen de 2 wanden is < 100 mm met openingen beperkt tot 200 cm<sup>2</sup>/m ter hoogte van de goot en de nok.

##### Plaatsingstype 2:

De panelen vormen een dichte buitenwand. De binnenwand is eveneens luchtdicht en de luchtpouw tussen de 2 wanden < 100 mm met openingen beperkt tot 200 cm<sup>2</sup>/m.

##### Plaatsingstype 3:

Dak met enkelvoudige wand.

##### Plaatsingstype 4:

De panelen vormen de al dan niet luchtopen buitenwand. De binnenwand is luchtdicht en de luchtpouw onder is volledig open rondom.

##### Plaatsingstype 5:

De panelen vormen een luchtdichte buitenwand. De binnenwand is luchtdoorlatend, luchtpouw < 100 mm met openingen beperkt tot 200 cm<sup>2</sup>/m.

## 5. Windkracht - algemene formules en coëfficiënten

Voor gedetailleerde informatie over de berekening van de wind verwijzen wij naar het wetenschappelijke rapport nr. 11 van het WTCB of naar NBN EN 1991-1-4.

Om de berekening van de windkracht te vereenvoudigen, worden blootstellingsklassen voorgesteld. Deze zijn gebaseerd op de volgende theorie:

### 5.1. De aerodynamische druk $w$

De aerodynamische druk  $w$  die inwerkt op een oppervlak, is gelijk aan

$$w = q_p(z_e) \times c_{f,pv} \dots\dots\dots \text{vgl. 1}$$

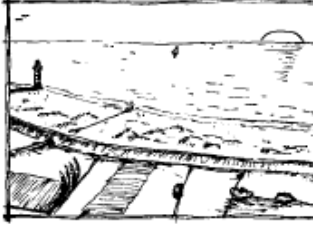



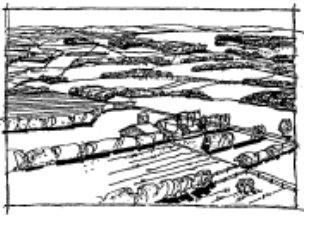
waarin

- $q_p(z_e)$  = de dynamische piekdruk
- $c_{f,pv}$  = de krachtcoëfficiënt

### 5.2. De dynamische piekdruk $q_p(z_e)$

De dynamische piekdruk  $q_p(z_e)$  is afhankelijk van

- **de referentiehoogte van de wind  $z_e$** , die over het algemeen gelijk is aan de hoogte van het gebouw. Niettemin is het soms nodig deze hoogte te verhogen of te verlagen. Voor meer informatie verwijzen wij naar het WR nr. 11 van het WTCB, § 4.1.2.1
- **de ruwheidscategorie van het terrein**: NBN EN 1991-1-4 vermeldt 5 ruwheidscategorieën, namelijk:

Terreinruwheidscategorieën		Voorbeelden	Terreinruwheidscategorieën	Voorbeelden	
<b>0</b>	Zee of kuststreek die aan zeewinden blootstaat		<b>III</b>	Zone met een regelmatige bedekking of gebouwen of alleenstaande obstakels op een onderlinge afstand van maximaal 20 keer hun hoogte (bijvoorbeeld dorpen, voorstedelijke zones, duurzame bossen)	
<b>I</b>	Meren of zone met te verwaarlozen vegetatie en zonder enig obstakel		<b>IV</b>	Stedelijke zones waar minstens 15 % van het oppervlak wordt ingepalmd door gebouwen met een gemiddelde hoogte van meer dan 15 m	
<b>II</b>	Zone met lage vegetatie zoals gras, met of zonder enkele alleenstaande obstakels (bomen, gebouwen) op een onderlinge afstand van minstens 20 keer hun hoogte				

**Tabel 1 – Ruwheidscategorie**

- de referentiesnelheid van de wind  $v_{b,o'}$ , die in België varieert van 23 m/s tot 26 m/s.
- de terugkeerperiode van de wind, aangeduid met de coëfficiënt  $c_{prob}$ , die in het geval van de hoofd- en secundaire structuren en hun verankeringen gelijk is aan 1 voor een terugkeerperiode van 50 jaar, en 25 jaar voor vulelementen en hun bevestigingen

Soort elementen	Terugkeerperiode	$c_{prob}$
verankeringen	50 jaar	1
Zonnepaneel	25 jaar	0,9597

**Tabel 2 – Terugkeerperiode**

### 5.2.1. Windbelastingsklassen

De onderstaande tabel geeft wind blootstellingsklassen op basis van de hierboven uiteengezette theorie.

		referentiehoogten $z_e$											
		Wind - blootstellingsklasse 0				Wind - blootstellingsklasse 1				Wind - blootstellingsklasse 2			
Referentiesnelheid	$v_{b,0}$ (m/s)	26	25	24	23	26	25	24	23	26	25	24	23
Ruwheidscategorieën		referentiehoogten ( $z_e$ ) tot				referentiehoogten ( $z_e$ ) tot				referentiehoogten ( $z_e$ ) tot			
kustgebied	0												
Platteland	I												
Landelijk gebied	II							2m	3m	3m	3m	4m	6m
Voorstad - Bos	III			5m	6m	5m	6m	7m	9m	9m	12m	15m	19m
Stad	IV	10m	12m	14m	16m	15m	17m	21m	25m	25m	30m	30m	30m
Dyn. piekdruk	$q_p(z_e)=$	450 Pa				544 Pa				693 Pa			
		Wind - blootstellingsklasse 3				Wind - blootstellingsklasse 4				Wind - blootstellingsklasse 5			
Referentiesnelheid	$v_{b,0}$ (m/s)	26	25	24	23	26	25	24	23	26	25	24	23
Ruwheidscategorieën		referentiehoogten ( $z_e$ ) tot				referentiehoogten ( $z_e$ ) tot				referentiehoogten ( $z_e$ ) tot			
kustgebied	0					3m				5m			
Platteland	I	2m	2m	4m	5m	4m	5m	8m	11m	7m	10m	14m	22m
Landelijk gebied	II	5m	6m	8m	11m	8m	11m	15m	16m	14m	16m	16m	22m
Voorstad - Bos	III	15m	19m	21m	21m	21m	21m	21m	21m	21m	21m	21m	22m
Stad	IV	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m	30m
Dyn. piekdruk	$q_p(z_e)=$	815 Pa				950 Pa				1086 Pa			

**Tabel 3 – Wind blootstellingsklassen - Dynamische piekdruk  $q_{p,z_e}$**

De wind blootstellingsklassen groeperen de verschillende combinaties van referentiesnelheid  $v_{b,0}$ , referentiehoogte  $z_e$  en ruwheidscategorieën waarvoor de dynamische piekdruk  $q_p(z_e)$  gelijk is.

Bijvoorbeeld in klasse 4 is de windbelasting van een ontwerp dat zich in ruwheidscategorie I (Vlakte) bevindt op een referentiehoogte  $z_e = 5m$  bij een referentiesnelheid van 25 m/s dezelfde als voor een ontwerp in ruwheidscategorie II (landelijk gebied) op een referentiehoogte  $z_e = 15m$  bij een referentiesnelheid van 24 m/s. Voor deze 2 ontwerpsituaties bedraagt de dynamische piekdruk  $q_p(z_e)$  950 Pa.

De dynamische piekdruk  $q_p(z_e)$  is niet de ontwerpdruk. Zie de vergelijkingen 1 en 2.

Merk ook op dat de referentiehoogten respectievelijk beperkt werden tot 30 m in ruwheidscategorie IV, tot 21 m in ruwheidscategorie III en tot 16 m in ruwheidscategorie II. Deze voorzorgsmaatregel wordt gerechtvaardigd door het feit dat hoe hoger het gebouw en hoe lager de ruwheidsklasse, des te groter de waarschijnlijkheid is dat men rekening dient te houden met het feit dat het gebouw de ruwheid van de onmiddellijke overschrijdt. Deze beperkingen zijn in het blauw aangegeven in de bovenstaande tabel. Voor referentiehoogten die deze begrenzings overschrijden, is een analyse van de ruwheid van het terrein noodzakelijk met betrekking tot het project (zie de koppelingen (zie de koppelingen vermeld onder Tabel 1) en wordt de procedure toegelicht in het WR 11 § 4.1.2.3.



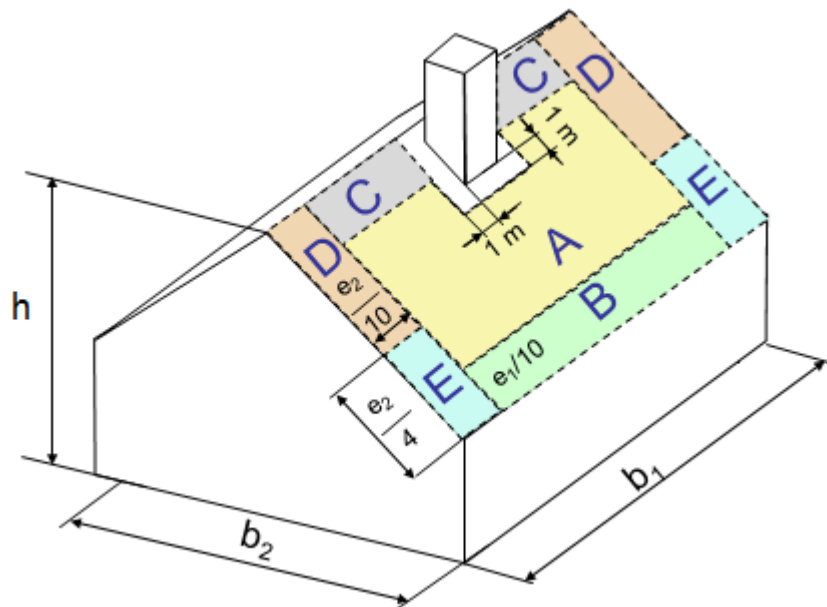
### 5.3. De windbelastingszones van een hellend dak

De norm EN 1991-1-4 definieert verschillende windzones in een hellend dak, afhankelijk van de windrichting. In dit document wordt alleen gekeken naar daken met één en twee dakhellingen.

Op basis van de redenering in het wetenschappelijk rapport nr. 11 § 4.1.2.5, kunnen er verschillende windzones, A, B, C en D, worden bepaald waarvan de in dit document opgegeven drukcoëfficiënten het meest ongunstig zijn voor alle windrichtingen samen. Aangezien dit document voornamelijk over de verankeringen van de secundaire constructies van de zonnepanelen gaat, wordt enkel rekening gehouden met de  $c_{p,1}$ -waarden.

#### 5.3.1. *Dak met dubbele helling*

Bij daken met twee hellingen is de zoneverdeling als volgt:



Afbeelding 1 – Zoneverdeling bij daken met 2 hellingen

" $e_i$ " is de minimumwaarde tussen  $b_i$  en  $2xh$ . De waarden van  $e_1/10$ ,  $e_2/10$ ,  $e_2/4$  zijn te vinden in

$b_1$ ou $b_2$ [m]	Breedte " $e_1/10$ " of " $e_2/10$ " voor lage - nok - hoge randzones						Lengte " $e_2/4$ " van de lage gevelrandzones					
	nokhoogte - $h_f$						nokhoogte - $h_f$					
	3	6	9	12	15	20	3	6	9	12	15	20
5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,5	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,5	2	2	2	2	2
9	0,6	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
10	0,6	1	1	1	1	1	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
11	0,6	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,5	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
12	0,6	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	3	3	3	3	3
13	0,6	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,5	3	3,25	3,25	3,25	3,25
14	0,6	1,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	3	3,5	3,5	3,5	3,5
15	0,6	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	3	3,75	3,75	3,75	3,75
16	0,6	1,2	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	3	4	4	4	4
17	0,6	1,2	1,7	1,7	1,7	1,7	1,5	3	4,25	4,25	4,25	4,25
18	0,6	1,2	1,8	1,8	1,8	1,8	1,5	3	4,5	4,5	4,5	4,5
19	0,6	1,2	1,8	1,9	1,9	1,9	1,5	3	4,5	4,75	4,75	4,75
20	0,6	1,2	1,8	2	2	2	1,5	3	4,5	5	5	5
22	0,6	1,2	1,8	2,2	2,2	2,2	1,5	3	4,5	5,5	5,5	5,5
24	0,6	1,2	1,8	2,4	2,4	2,4	1,5	3	4,5	6	6	6
26	0,6	1,2	1,8	2,4	2,6	2,6	1,5	3	4,5	6	6,5	6,5
28	0,6	1,2	1,8	2,4	2,8	2,8	1,5	3	4,5	6	7	7
30	0,6	1,2	1,8	2,4	3	3	1,5	3	4,5	6	7,5	7,5
32	0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,2	1,5	3	4,5	6	7,5	8
34	0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,4	1,5	3	4,5	6	7,5	8,5
36	0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,6	1,5	3	4,5	6	7,5	9
38	0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,8	1,5	3	4,5	6	7,5	9,5
40	0,6	1,2	1,8	2,4	3	4	1,5	3	4,5	6	7,5	10
42	0,6	1,2	1,8	2,4	3	4	1,5	3	4,5	6	7,5	10
44	0,6	1,2	1,8	2,4	3	4	1,5	3	4,5	6	7,5	10
46	0,6	1,2	1,8	2,4	3	4	1,5	3	4,5	6	7,5	10
48	0,6	1,2	1,8	2,4	3	4	1,5	3	4,5	6	7,5	10
50	0,6	1,2	1,8	2,4	3	4	1,5	3	4,5	6	7,5	10

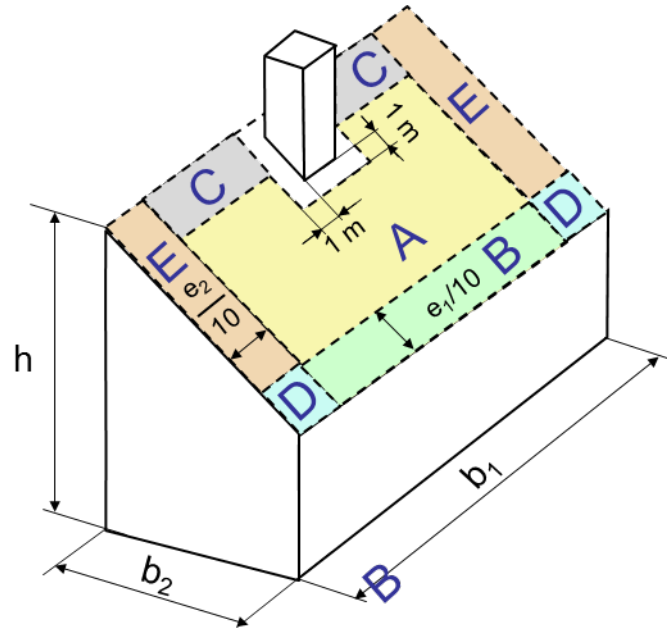
Tabel 4 afhankelijk van de hoogte van het gebouw en zijn afmetingen.

Hellingen	Zones - $C_{p,e-}$					Hellingen	Zones - $C_{p,e+}$				
	A	B	C	E	D		A	B	C	E	D
5°	-1,20	-2,00	-1,20	-2,50	-2,00	5°	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
10°	-1,20	-1,75	-1,35	-2,25	-2,00	10°	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
15°	-1,20	-1,50	-1,50	-2,00	-2,00	15°	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
20°	-1,20	-1,50	-1,40	-1,83	-2,00	20°	0,27	0,37	0,27	0,37	0,27
25°	-1,20	-1,50	-1,30	-1,67	-2,00	25°	0,33	0,53	0,33	0,53	0,33
30°	-1,20	-1,50	-1,20	-1,50	-2,00	30°	0,40	0,70	0,40	0,70	0,40
35°	-1,20	-1,40	-1,20	-1,50	-2,00	35°	0,47	0,70	0,47	0,70	0,47
40°	-1,20	-1,30	-1,20	-1,50	-2,00	40°	0,53	0,70	0,53	0,70	0,53
60°	-1,00	-1,00	-1,00	-1,50	-2,00	60°	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
75°	-1,00	-1,00	-1,00	-1,50	-2,00	75°	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

Tabel 5 – Dak met dubbele helling – Uitwendige drukcoëfficiënt

### 5.3.2. Dak met enkele helling

Bij daken met één helling is de zoneverdeling als volgt:



Afbeelding 2 – Zoneverdeling bij daken met 1 helling

De uitwendige drukcoëfficiënten vindt u in de volgende tabel

Hellingen	Zones - $C_{p,e-}$				
	A	B	C	E	D
10°	-1,20	-2,50	-2,50	-2,50	-2,60
15°	-1,20	-2,25	-2,65	-2,40	-2,75
20°	-1,20	-2,00	-2,80	-2,40	-2,90
25°	-1,23	-1,83	-2,63	-2,27	-2,90
30°	-1,27	-1,67	-2,47	-2,13	-2,90
35°	-1,30	-1,50	-2,30	-2,00	-2,90
40°	-1,30	-1,30	-1,97	-2,00	-2,73
45°	-1,30	-1,30	-1,63	-2,00	-2,57
60°	-1,30	-1,30	-1,30	-2,00	-2,00
75°	-1,30	-1,30	-1,30	-2,00	-2,00

Hellingen	Zones - $C_{p,e+}$				
	A	B	C	E	D
10°	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
15°	0,10	0,10	0,10	0,10	0,10
20°	0,20	0,20	0,20	0,20	0,20
25°	0,27	0,37	0,27	0,37	0,27
30°	0,33	0,53	0,33	0,53	0,33
35°	0,40	0,70	0,40	0,70	0,40
40°	0,47	0,70	0,47	0,70	0,47
45°	0,53	0,70	0,53	0,70	0,53
60°	0,70	0,70	0,70	0,70	0,70
75°	0,80	0,80	0,80	0,80	0,80

Tabel 6 – Dak met één helling – Uitwendige drukcoëfficiënt

### 5.3.3. Praktische bepaling van de breedte van de zones

Zowel voor daken met één als met twee hellingen, is " $e_i$ " de minimumwaarde tussen " $b_i$ " en " $2xh$ "

De volgende tabel geeft de breedte in meter van de zones ter hoogte van de onderste rand, de nok en de rand van de puntgevel, in functie van  $b_i$  en van  $h$ .

b <sub>1</sub> ou b <sub>2</sub> [m]	Breedte "e1/10" of "e2/10" voor lage - nok - hoge randzones						Lengte "e <sub>2</sub> /4 " van de lage gevelrandzones					
	nokhoogte - h <sub>r</sub>						nokhoogte - h <sub>r</sub>					
	3	6	9	12	15	20	3	6	9	12	15	20
5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25	1,25
6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	0,6	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5
7	0,6	0,7	0,7	0,7	0,7	0,7	1,5	1,75	1,75	1,75	1,75	1,75
8	0,6	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	1,5	2	2	2	2	2
9	0,6	0,9	0,9	0,9	0,9	0,9	1,5	2,25	2,25	2,25	2,25	2,25
10	0,6	1	1	1	1	1	1,5	2,5	2,5	2,5	2,5	2,5
11	0,6	1,1	1,1	1,1	1,1	1,1	1,5	2,75	2,75	2,75	2,75	2,75
12	0,6	1,2	1,2	1,2	1,2	1,2	1,5	3	3	3	3	3
13	0,6	1,2	1,3	1,3	1,3	1,3	1,5	3	3,25	3,25	3,25	3,25
14	0,6	1,2	1,4	1,4	1,4	1,4	1,5	3	3,5	3,5	3,5	3,5
15	0,6	1,2	1,5	1,5	1,5	1,5	1,5	3	3,75	3,75	3,75	3,75
16	0,6	1,2	1,6	1,6	1,6	1,6	1,5	3	4	4	4	4
17	0,6	1,2	1,7	1,7	1,7	1,7	1,5	3	4,25	4,25	4,25	4,25
18	0,6	1,2	1,8	1,8	1,8	1,8	1,5	3	4,5	4,5	4,5	4,5
19	0,6	1,2	1,8	1,9	1,9	1,9	1,5	3	4,5	4,75	4,75	4,75
20	0,6	1,2	1,8	2	2	2	1,5	3	4,5	5	5	5
22	0,6	1,2	1,8	2,2	2,2	2,2	1,5	3	4,5	5,5	5,5	5,5
24	0,6	1,2	1,8	2,4	2,4	2,4	1,5	3	4,5	6	6	6
26	0,6	1,2	1,8	2,4	2,6	2,6	1,5	3	4,5	6	6,5	6,5
28	0,6	1,2	1,8	2,4	2,8	2,8	1,5	3	4,5	6	7	7
30	0,6	1,2	1,8	2,4	3	3	1,5	3	4,5	6	7,5	7,5
32	0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,2	1,5	3	4,5	6	7,5	8
34	0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,4	1,5	3	4,5	6	7,5	8,5
36	0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,6	1,5	3	4,5	6	7,5	9
38	0,6	1,2	1,8	2,4	3	3,8	1,5	3	4,5	6	7,5	9,5
40	0,6	1,2	1,8	2,4	3	4	1,5	3	4,5	6	7,5	10
42	0,6	1,2	1,8	2,4	3	4	1,5	3	4,5	6	7,5	10
44	0,6	1,2	1,8	2,4	3	4	1,5	3	4,5	6	7,5	10
46	0,6	1,2	1,8	2,4	3	4	1,5	3	4,5	6	7,5	10
48	0,6	1,2	1,8	2,4	3	4	1,5	3	4,5	6	7,5	10
50	0,6	1,2	1,8	2,4	3	4	1,5	3	4,5	6	7,5	10

Tabel 7 – Randzones – breedte en lengte afhankelijk van *h* en *b*;

#### 5.4. De totale krachtcoëfficiënt *c<sub>f,PV</sub>*

Via de krachtcoëfficiënt  $c_{f,PV}$  kennen we het totale effect van de wind op de secundaire structuur en haar verankeringen. Hij geeft het gelijktijdige effect van de wind aan weerszijden van het zonnepaneel. De coëfficiënt verschilt dus naargelang de blootstelling aan de wind van de betreffende panelen, d.w.z. naargelang de zone van het dak waar die panelen zich bevinden.

In de onderstaande tabel worden de  $c_{f,PV}$  -waarden gegeven naargelang het plaatsingstype:

<i>c<sub>f,PV</sub></i> -waarden plaatsingstype	Buitenwand		Binnenwand	
	<i>c<sub>f,PV</sub><sup>-</sup></i>	<i>c<sub>f,PV</sub><sup>+</sup></i>	<i>c<sub>f,PV</sub><sup>-</sup></i>	<i>c<sub>f,PV</sub><sup>+</sup></i>
Type 1	$\frac{2}{3} \times c_{pe}^-$	$\frac{2}{3} \times c_{pe}^+$	$c_{pe}^- - 0,2$	$c_{pe}^+ + 0,3$
Type 2	$c_{pe}^-$	$c_{pe}^+$	$c_{pe}^- - 0,2$	$c_{pe}^+ + 0,3$
Type 3	$c_{pe}^- - 0,2$	$c_{pe}^+ + 0,3$	-	-
Type 4	$c_{pe}^-$	$2 \times c_{pe}^+$	$c_{pe}^- - 0,2$	$c_{pe}^+ + 0,3$
Type 5	$c_{pe}^-$	$c_{pe}^+$	-0,2	+0,3

Tabel 8 – Krachtcoëfficiënt naargelang het plaatsingstype

## 6. Studie van de grenstoestanden

Aangezien het onderwerp van dit document het ontwerp van de verankeringen van de generatoren is, moet enkel de uiterste grenstoestand worden onderzocht. Deze wordt gekenmerkt door een rekenwaarde van de windbelasting waarbij er geen breuk mag optreden.

Op basis van de veronderstellingen in rapport 11 van het WTCB, wordt de rekenwaarde van de windbelasting als volgt uitgedrukt:

$$F_{d,U}(w) = \gamma_G \times G_k + \gamma_Q \times q_p(z_e) \times c_{f,PV} \dots\dots\dots \text{vgl. 2}$$

waarin

- $\gamma_Q$ : de partiële factor = 1,35 voor de verbinding van de generator met de hoofdconstructie van het gebouw,
- $\gamma_G$ : de partiële factor voor de verbinding van de generator met de hoofdconstructie van het gebouw  $\gamma_G = 1,20$  wanneer het eigen gewicht een ongunstig effect heeft en  $\gamma_G = 1,0$  wanneer het eigen gewicht een gunstig effect heeft,
- $q_p(z_e)$ : de dynamische piekdruk, zie **Tabel 3**.
- $c_{f,PV}$ : de krachtcoëfficiënt met betrekking tot het profiel van de PV-installatie, zie **Tabel 5** en **Tabel 6**
- $G_k$ : het eigen gewicht van de constructie

## 7. Verankering van de constructies in de houten gebinten

Verankering van de constructies in houten gebinten komt het vaakst voor.

### 7.1. Berekening van de uittrekweerstand van de verankeringen

Aan de hand van de norm NBN EN 1995 kan de uittrekweerstand van verbindingen met schroeven en schroefbouten worden berekend. Deze wordt als volgt uitgedrukt

$$F_{ax,\alpha,Rk} = n_{ef} \times (\pi \times d \times l_{ef})^{0,8} \times f_{ax,\alpha,k} \dots\dots\dots \text{vgl. 3}$$

- $F_{ax,\alpha,Rk}$ : karakteristieke waarde van de afrukweerstand van de verbinding onder een hoek  $\alpha$  ten opzichte van de draad van het hout [N];
- $n_{ef}$ : het effectieve aantal schroefbouten,

$$n_{ef} = n^{0,9}$$

waarin

---

<sup>1</sup> Bron: NBN EN 1995 vergelijking (8.38)

$n$  het aantal schroefbouten is dat gelijktijdig inwerkt op een verbinding.

- $d$ : de buitendiameter gemeten op het gekartelde deel,
- $l_{ef}$ : de indringingslengte aan de kant van de punt van het gedeelte met schroefdraad " $l_{pf}$ " verminderd met een diameter van de schroefbout, ( $l_{ef} = l - d$ )
- $f_{ax,\alpha,k}$ : karakteristieke afrukweerstand onder een hoek  $\alpha$  ten opzichte van de draad.

$$f_{ax,\alpha,k} = \frac{f_{ax,k}}{\sin^2\alpha + 1,5 \times \cos^2\alpha} \dots\dots\dots \text{vgl. 4}$$

waarin

$$f_{ax,k} = 3,6 \times 10^{-3} \times \rho_k^{1,5} \dots\dots\dots \text{vgl. 5}$$

waarin

- o  $f_{ax,\alpha,k}$ : karakteristieke waarde van de afrukweerstand onder een hoek  $\alpha$  ten opzichte van de draad,
- o  $f_{ax,k}$ : de karakteristieke waarde van de afrukweerstand loodrecht op de draad,
- o  $\rho_k$ : de karakteristieke volumieke massa van het hout, in  $\text{kg/m}^3$ .

De volgende tabel vermeldt de karakteristieke volumieke massa van het hout in functie van de weerstandsklasse

Volumieke massa			
Houtklasse	$\rho_k$	Houtklasse	$\rho_k$
C14	290	C40	420
C16	310	C45	440
C18	329	C50	460
C20	330	D30	530
C22	340	D35	560
C24	350	D40	590
C27	370	D50	650
C30	380	D60	700
C35	400	D70	900

**Tabel 9 – Volumieke massa afhankelijk van de houtklasse**

De rekenwaarde van de nuttige uittrekweerstand van de verankeringen wordt aangegeven door de volgende vergelijking:

$$F_{ax,\alpha,d} = \frac{F_{ax,\alpha,Rk}}{\gamma_M \times \gamma_c} \dots\dots\dots \text{vgl. 6}$$

Met

- $F_{ax,\alpha,d}$  : rekenwaarde van de uittrekweerstand van de verbinding onder een hoek  $\alpha$  ten opzichte van de draad van het hout,
- $\gamma_M$  : de partiële (veiligheids)factor met betrekking tot de verankering (1,3),
- $\gamma_M$  : de partiële (veiligheids)factor met betrekking tot de uitvoering (1,5),

## **7.2. Technologische regels**

### **7.2.1. Effectieve diameter def**

Bij schroefbouten met een glad gedeelte, wanneer de diameter van het schroefdraadgedeelte gelijk is aan die van het gladde deel,

- wordt de effectieve diameter  $d_{ef}$  gelijkgesteld aan de diameter van het gladde deel,
- dringt het gladde deel minimaal  $4d$  binnen in het element dat de punt bevat.

Wanneer de bovenstaande voorwaarden niet vervuld zijn, moet de uittrekweerstand van de schroefbout worden berekend m.b.v. een effectieve diameter gelijk aan 1,1 maal de binnendiameter van het schroefdraadgedeelte.

Voor schroefbouten die in naaldhout worden gebruikt, en een diameter hebben voor het gladde deel van  $d \leq 6\text{mm}$ , hoeft er niet te worden voorgeboord. Voor alle schroefbouten in loofhout en voor schroefbouten in naaldhout waarbij de diameter  $d > 6\text{ mm}$  bedraagt, moet als volgt worden voorgeboord:

- het geleidegat voor het gladde deel moet dezelfde diameter hebben als het gladde deel van de schroefbout en dezelfde lengte als de lengte van het gladde deel,
- het geleidegat voor het schroefdraadgedeelte moet een diameter hebben die ongeveer gelijk is aan 70 % van de diameter van het gladde deel.

De minimale indringingsdiepte " $p$ " aan de kant van de punt van het schroefdraadgedeelte moet  $6d$  bedragen.

De gaten in de ankerklauwen, de haken of de metalen platen moeten een diameter hebben die niet meer dan 2 mm of  $0,1d$  (naargelang welke maat het grootst is) groter is dan die van de schroef.

## 7.2.2. **Houtkwaliteit in de montagezones**

Wankanten, spleten, knoesten en andere gebreken moeten beperkt zijn in de montagezone, zodat de weerstand van de verbinding niet in gevaar komt.

De verbonden elementen moeten correct en keurig worden gemonteerd en zonder speling worden vastgezet met een zuiver contact tussen de verbonden delen, zodat de weerstand en sterkte van de verbinding gewaarborgd zijn.

## 7.2.3. **Plaatsing van de schroeven en schroefbouten in de verbindingen**

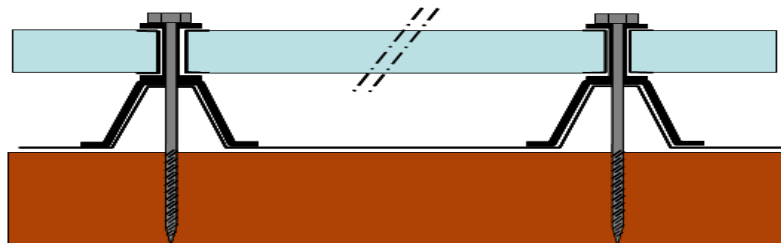
De hart-op-hartafstand tussen de schroeven en de afstand tussen de schroef en de rand of het uiteinde moet minimaal 4 keer de diameter van de schroef zijn.

## 7.3. **Weerstandswaarde van de verbindingen**

### 7.3.1. **Verankering zonder momentswerking**

Verankeringen zonder momentswerking worden gekenmerkt door een zuiver axiale belasting van de schroeven of schroefbouten.

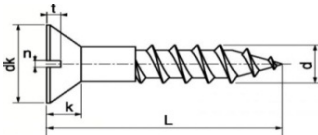
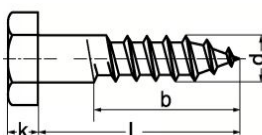
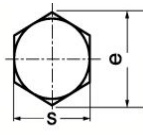
Een voorbeeld hiervan ziet u in de volgende afbeelding.



Afbeelding 3 – Voorbeeld van verankering zonder momentswerking

Voor een houtsoort van klasse C18, bij een loodrechte ( $\alpha = 90^\circ$ ) schroefhoek op de draad van het hout en een minimale indringing van de schroefdraad van  $0,6 \times L$ , vindt u in de volgende tabel de rekenwaarden van de uittrekweerstand, rekening houdend met de hypothesen die werden geformuleerd in de vorige hoofdstukken:



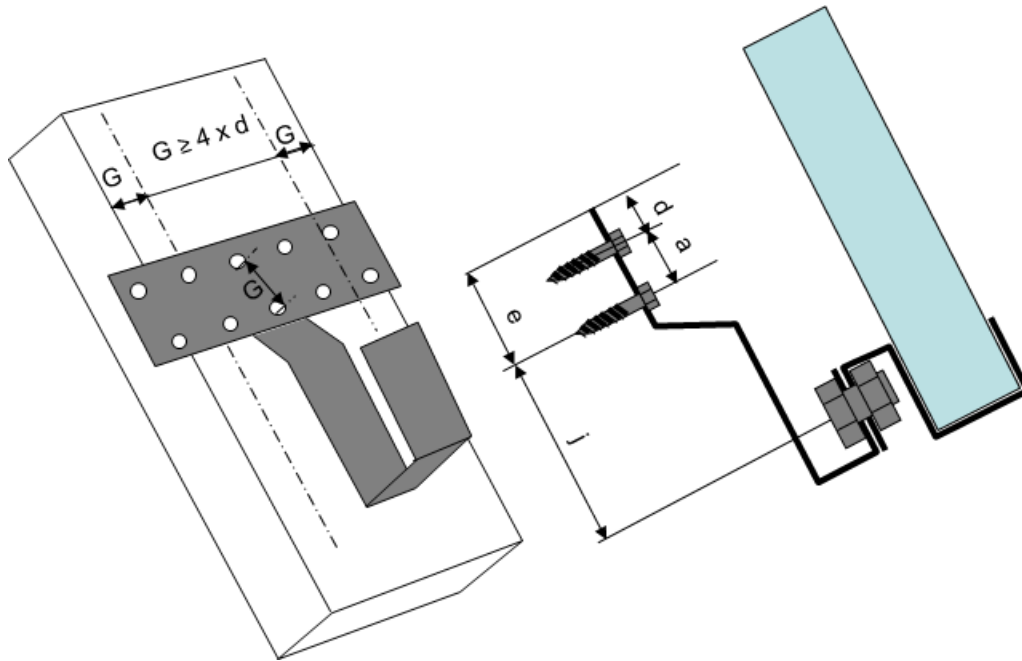
Rekenwaarde van de nuttige uittrekweerstand $F_{ax,90,d}$ [N]								
Houtklasse C18		$\gamma_M : 1,3$		$\gamma_c : 1,5$		$\alpha = 90^\circ$		
								
$d_{ef}$	d x L	L	indringing van de schroefdraad d $l_{pf} = 0,6 \times L$	verankering met n schroefbout(en)				
				n=2	n=3	n=4	n=5	n=6
3,5	3,5x30	30	18	1189 N	1712 N	2218 N	2711 N	3195 N
4	4x30	30	18	1286 N	1852 N	2400 N	2934 N	3457 N
4	4X40	40	24	1711 N	2464 N	3192 N	3902 N	4598 N
4	4X50	50	30	2110 N	3040N	3938 N	4814 N	5672 N
5	5X50	50	30	2445 N	3521 N	4562 N	5577 N	6571 N
5	5X60	60	36	2904 N	4183 N	5419 N	6624 N	7805 N
5	5X70	70	42	3345 N	4819 N	6243 N	7631 N	8992 N
6	6X60	60	36	3273 N	4714 N	6107 N	7466 N	8797 N
6	6X70	70	42	3787 N	5454 N	7066 N	8638 N	10178 N
6	6X80	80	48	4284 N	6170 N	7994 N	9772 N	11514 N
6	6X90	90	54	4767 N	6866 N	8895 N	10874 N	12812 N
6	6X100	100	60	5238 N	7544 N	9774 N	11948 N	14078 N
6	6X110	110	66	5698 N	8208 N	10634 N	12999 N	15317 N
6	6X120	120	72	6150 N	8858 N	11476 N	14029 N	16530 N
6	6X130	130	78	6593 N	9497 N	12303 N	15040 N	17722 N
8	8X70	70	42	4554 N	6559 N	8498 N	10387 N	12240 N
8	8X80	80	48	5186 N	7470 N	9677 N	11830 N	13939 N
8	8X90	90	54	5799 N	8354 N	10822 N	13229 N	15588 N
8	8X100	100	60	6397 N	9214 N	11937 N	14593 N	17195 N
8	8X110	110	66	6981 N	10056 N	13027 N	15925 N	18764 N
8	8X120	120	72	7553 N	10879 N	14095 N	17229 N	20302 N

Tabel 10 - Rekenwaarde van de uittrekweerstand van de verbinding onder een hoek  $\alpha = 90^\circ$  ten opzichte van de draad van het hout

### 7.3.2. Verankering met momentwerking

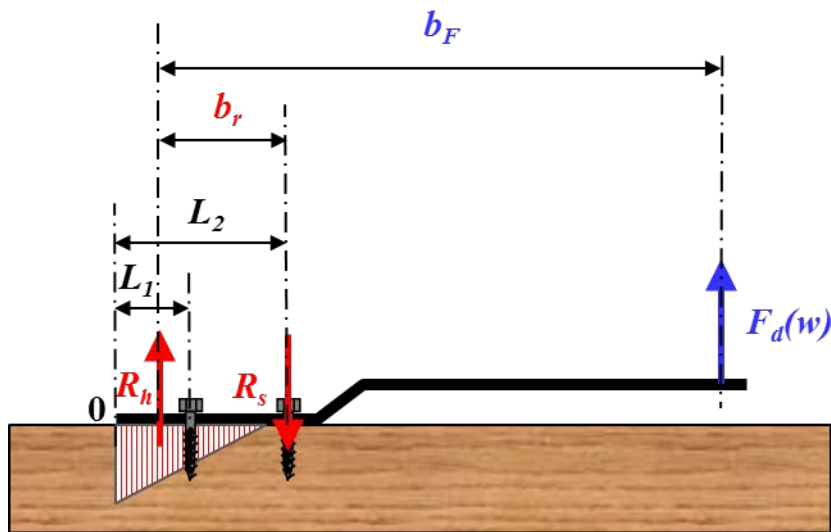
Verankeringen met momentwerking worden gekenmerkt door een verplaatste belasting van de schroeven of schroefbouten.

Een voorbeeld hiervan ziet u in de volgende afbeelding.



Afbeelding 4 – Voorbeeld van verankering met momentwerking

De modellering en dus de uiteindelijke weerstand van de verankering is afhankelijk van de sterkte van de aanwezige elementen. Hierboven werd de krachten bepaald die door de rail op de haken worden uitgeoefend. Daar komt het eigengewicht nog bij. In wat volgt, beschouwen we enkel de kracht die loodrecht op de haak inwerkt. Onderstaande figuur toont de hefboomen waarmee de schroefkracht, de railkracht en de resultante van de contactdruk tussen haak en hout werkzaam zijn. (De grootte van de pijltjes is niet in verhouding tot de grootte van de krachten getekend.)



- $F_d(w)$  [N]: De railkracht, resultante van de windbelasting op de haak,
- $b_F$ : hefboom van de railkracht  $F_d(w)$ ,
- $R_s$  [N]: kracht die door de haak op de schroef wordt uitgeoefend,
- $b_r$ : hefboom van de druk tussen hout en haak,
- $L_1$ : afstand tussen uiteinde haak "0" en de eerste schroef,
- $L_2$ : afstand tussen uiteinde haak "0" en de op trek belaste schroef ( $R_s$ ).

Afbeelding 5 – Verankering van de haak met hefboomwerking van de verschillende krachten

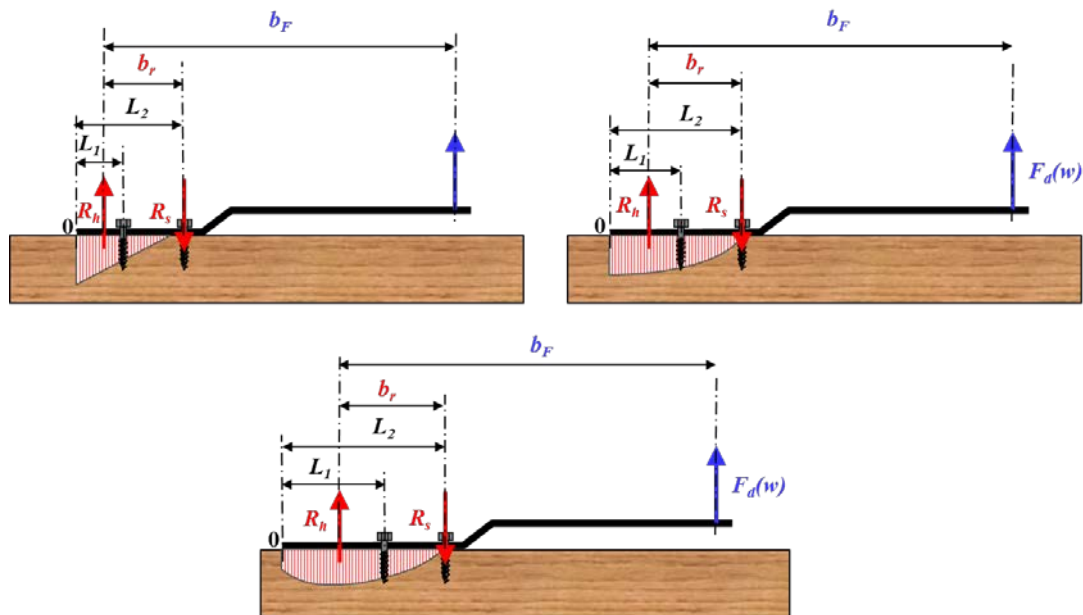
Met EE-simulaties werd nagegaan hoe de drukkracht zich verdeelt tussen haak en hout. Dit blijkt afhankelijk te zijn van de verhouding  $E \cdot I$  van de haak en  $E' \cdot b'$  van het hout.

- $E$  = Elasticiteitsmodulus van de haak,
- $I$  = Traagheidsmoment van de doorsnede van de haak,
- $E'$  = E-modulus van het hout, in de richting loodrecht op de vezelrichting,
- $b'$  = breedte van de haak

We definiëren de stijfheidsverhouding als volgt:

$$S = \frac{E \times I}{E' \times b' \times L_2}$$

Voor een grote stijfheidsverhouding " $S$ " is het verloop perfect. Wanneer " $S$ " afneemt, verandert het verloop van deze contactdruk waarbij de spanning kort bij de schroef groter wordt en verder van de schroef kleiner. Bij nog kleinere waarden van " $S$ " krijgen we een uitgesproken top waarna de contactdruk afneemt. Het verloop is telkens kwalitatief weergegeven op de onderstaande figuren. Dat verloop heeft uiteraard gevolgen voor de hefboomen van de verschillende krachten.



Afbeelding 6 – Kwalitatief verloop van de druk in functie van « S »

Men dient er rekening mee te houden dat het rotatiecentrum van de krachtswerking opschuift naar de op trek belaste schroef ( $R_s$ ) toe wanneer " $L_2$ " te lang wordt of wanneer de  $E.I$  ervan relatief kleiner is. De maximale hefboom van de schroef bedraagt dus de afstand tot het zwaartepunt van de driehoek ( $2/3$  van de afstand  $L_2$ ), bij hard hout en een zeer flexibele haak of een langer eindstuk zal de hefboom kleiner zijn.

De volgende empirische formule laat toe de hefboom te berekenen :

$$b_r = L_2 \times k_r \times k_l$$

waarin

$$k_r = \frac{2}{3} \text{ als } L_2 < 10 \times d_c \times \left( \frac{\rho_h}{\rho_s} \right) \text{ en}$$

$$k_r = \frac{5}{3} - 0,7 \left( \frac{\frac{L_2}{10 \times d_c \times \frac{\rho_h}{\rho_s}} - 1}{\dots} \right), k_r \leq 1 \text{ in de andere gevallen}$$

En

$$k_l = 1 \text{ als } L_2 < 10 \times d_c \times \left( \frac{\rho_h}{\rho_s} \right) \text{ en}$$

$$k_l = \frac{10 \times d_c \times \rho_h}{L_2 \times \rho_s} \text{ in de andere gevallen}$$

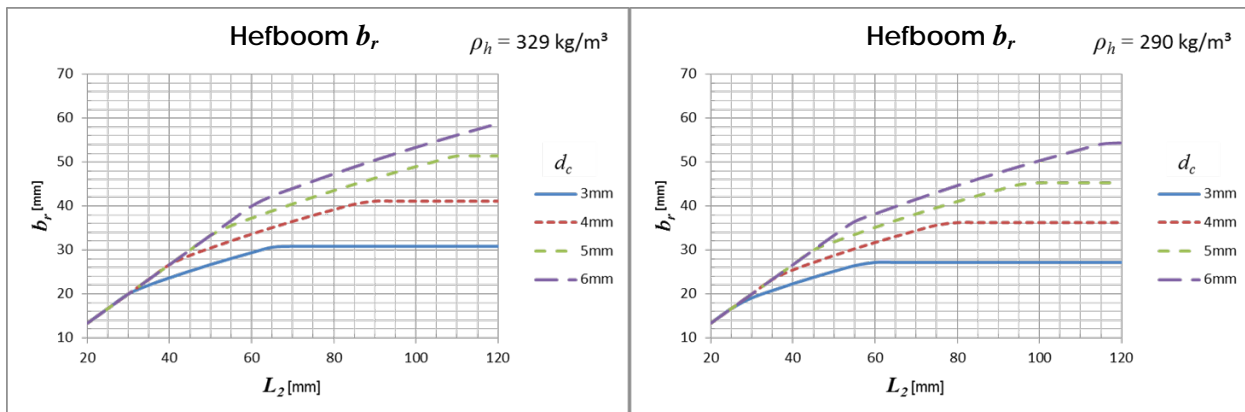
Met

- $k_r$  : stijfheidscoëfficiënt,
- $k_l$  : lengtecoëfficiënt,
- $\rho_s$  : volumieke massa van standaardhout in  $[\text{kg}/\text{m}^3]$  =  $320 \text{ kg}/\text{m}^3$
- $\rho_h$  : volumieke massa van het gebruikte hout in  $[\text{kg}/\text{m}^3]$
- $d_c$  : dikte van de metalen haak in  $[\text{mm}]$

Onderstaande tabellen geven de hefboom  $b_r$  in functie van  $L_2$  en de volumieke massa  $\rho_h$  van het hout.

$L_2$ [mm]	Hefboom $b_r$ [mm] - $\rho_h = 329 \text{ kg}/\text{m}^3$ (Klasse C18)				Hefboom $b_r$ [mm] - $\rho_h = 290 \text{ kg}/\text{m}^3$ (Klasse C14)			
	$d_c$				$d_c$			
	3mm	4mm	5mm	6mm	3mm	4mm	5mm	6mm
20	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33	13,33
25	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67	16,67
30	20,00	20,00	20,00	20,00	19,11	20,00	20,00	20,00
35	22,01	23,33	23,33	23,33	20,77	23,33	23,33	23,33
40	23,66	26,67	26,67	26,67	22,33	25,48	26,67	26,67
45	25,22	28,78	30,00	30,00	23,79	27,16	30,00	30,00
50	26,69	30,46	33,33	33,33	25,16	28,75	31,85	33,33
55	28,08	32,08	35,54	36,67	26,44	30,27	33,54	36,47
60	29,39	33,63	37,25	40,00	27,19	31,72	35,16	38,22
65	30,63	35,11	38,90	42,30	27,19	33,10	36,71	39,91
70	30,84	36,53	40,49	44,02	27,19	34,41	38,21	41,55
75	30,84	37,89	42,03	45,70	27,19	35,66	39,65	43,13
80	30,84	39,19	43,52	47,32	27,19	36,25	41,04	44,66
85	30,84	40,43	44,96	48,90	27,19	36,25	42,37	46,15
90	30,84	41,13	46,35	50,44	27,19	36,25	43,65	47,58
95	30,84	41,13	47,69	51,93	27,19	36,25	44,88	48,97
100	30,84	41,13	48,98	53,38	27,19	36,25	45,31	50,31
105	30,84	41,13	50,23	54,79	27,19	36,25	45,31	51,61
110	30,84	41,13	51,41	56,16	27,19	36,25	45,31	52,87
115	30,84	41,13	51,41	57,49	27,19	36,25	45,31	54,09
120	30,84	41,13	51,41	58,78	27,19	36,25	45,31	54,38

**Tabel 11 – Hefboom  $b_r$**



Afbeelding 7 – Hefboom  $b_r$

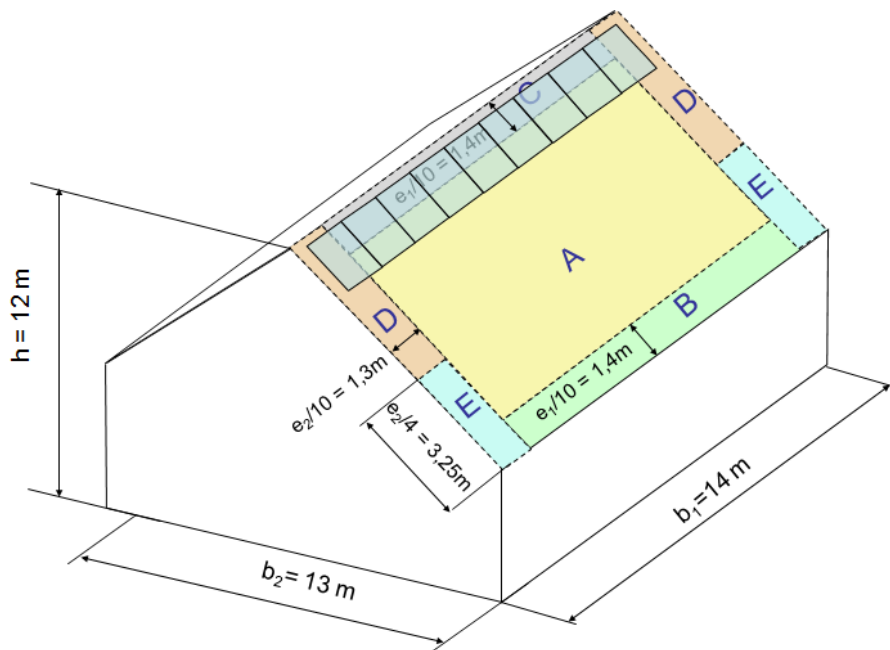
De kracht die op de op trek belaste schroef wordt uitgeoefend, wordt berekend met de volgende vergelijking :

$$b_F \times F_d(w) = R_s \times b_r$$

## 8. Oplossing van een praktisch geval

Stel een generator met 9 panelen (1,7 x 1,4)m<sup>2</sup> die op één lijn tegen elkaar worden geplaatst op het dak van een gebouw, met als afmetingen  $b_1 = 13\text{m}$ ,  $b_2 = 14\text{m}$ ,  $h = 12\text{m}$ . Het dak telt 2 dakvlakken, de helling bedraagt 40°. De ruwheidscategorie van de wind is III (zie Tabel 1).

Het eigen gewicht van de installatie bedraagt 18 kg/m<sup>2</sup>. De generator is op het dak geplaatst zoals in de volgende afbeelding. De basis dynamische snelheid is  $v_{b,0} = 26\text{ m/s}$



De geometrie van de dakzones wordt bepaald aan de hand van **Tabel 6**:

- Breedte van de zones B en C:  $b_1 = 14\text{ m} - h = 12\text{ m}$ ,  $e_1/10 = 1,4\text{ m}$ ,
- Breedte van de zones D en E:  $b_2 = 13\text{ m} - h = 12\text{ m}$ ,  $e_2/10 = 1,3\text{ m}$ ,
- Lengte van de zones E:  $b_2 = 13\text{ m} - h = 12\text{ m}$ ,  $e_2/4 = 3,25\text{ m}$ .

### Berekening van de wind

$$w = q_p(z_e) \times c_{f,PV}$$

De referentiehoogte  $z_e$  voor de wind:  $z_e = h = 12\text{m}$ , **Tabel 3** geeft aan dat het hier om windbelastingsklasse 3 gaat,  $q_p(z_e) = 815\text{ Pa}$

De panelen boven de dakbedekking geplaatst: dit is plaatsingstype 4 volgens § **Error! Reference source not found.** **Tabel 7** geeft aan dat

$$c_{f,PV} = c_{pe}^-$$

De buitenste panelen van de rij bevinden zich in zone D, **Tabel 4** geeft

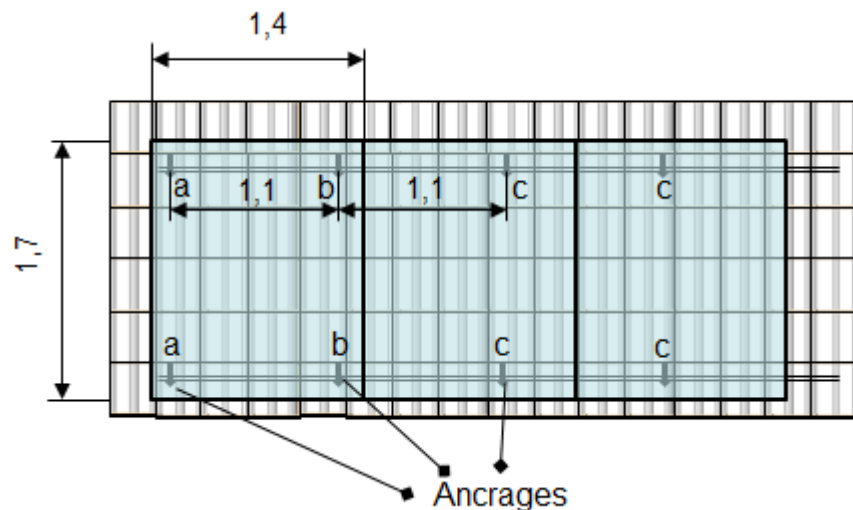
$$c_{pe}^- = -2 \text{ en dus } w = -2 \times 815 = -1630\text{ Pa}$$

De middelste panelen van de rij bevinden zich in zone D, **Tabel 4** geeft

$$c_{pe}^- = -1,2 \text{ en dus } w = -1,2 \times 815 = -978 \text{ Pa}$$

### Resultante van de krachten die inwerken op de verankering

In het voorbeeld in de afbeelding zijn de zonnepanelen op 2 rails geplaatst. Elk paneel draagt de kracht over op de rail via de Omega-profielen waarmee het tegen de rail geklemd zit. Het aangrijpingspunt van de kracht ligt daarmee vast. In theorie vormt de rail een hyperstatisch opgelegde ligger waarop puntlasten aangrijpen. Rekening houdende met beperkte stijfheid van het railprofiel en om de zaken niet nodeloos complex te maken, wordt elke kracht die op de rail aangrijpt verdeeld over de meest nabij gelegen haak links en rechts. Deze verdeling gebeurt in verhouding tot de relatieve nabijheid van de haak. Elke haak op een zelfde verticale kolom wordt doorgerekend voor dezelfde kracht, namelijk het maximum voor die kolom.



Afbeelding 8 – Plaatsing van de zonnepanelen op 2 rails en plaats van hun verankeringen

Gezien het gunstige effect van het eigen gewicht van de installatie, geeft de vergelijking 2 in §6 ( $F_{d,U}(w) = \gamma_G \times G_k + \gamma_Q \times q_p(z_e) \times c_{f,PV}$ )

- voor zone D:  $F_{d,U}(w) = 1 \times 120 \times \cos(40^\circ) - 1,35 \times 1630 = -2062,1 \text{ Pa}$ ;
- voor zone C:  $F_{d,U}(w) = 1 \times 180 \times \cos(40^\circ) - 1,35 \times 978 = -1182,4 \text{ Pa}$ ;

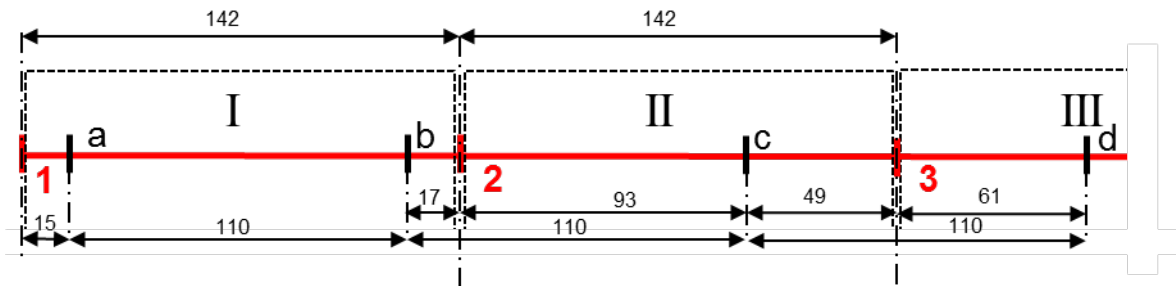
### Krachtverdeling per paneel

De eenvoudigste manier om de krachten op de haken verder te berekenen, bestaat erin om per paneel de krachten op rails over de twee meest nabij gelegen haken te verdelen. We doen dit voor de eerste twee panelen.



## De railkrachten transfereren naar haakkrachten

Het belastingschema ziet eruit als volgt:



waarin

- de haken die de rails met het dakgebinte verbinden zijn weergegeven door de letters **a, b, c, d**,
- de bevestiging van de panelen op de rails zijn weergegeven met de rode cijfers **1, 2, 3**,
- de panelen aangeduid worden met de Romeinse cijfers **I, II, III**

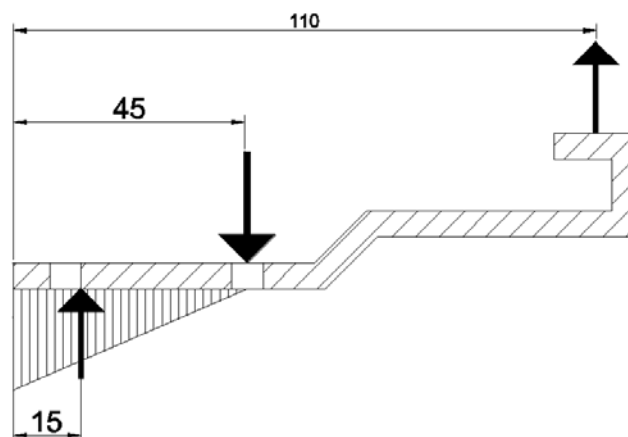
### Uitwerking voor haak a

De krachtoverdracht van het paneel I op de rail in punt **1** bedraagt  $\frac{1}{4}$  van (de totale druk op – het eigengewicht van het paneel). Het paneel bevindt zich in zone D, hetgeen geeft:

$$F_{d1}(w, G_k) = \frac{1,7 \times 1,4 \times 2062,1}{4} = 1227 \text{ N}$$

Omdat dit aangrijpingspunt zich links bevindt van de meest links gelegen haak, zal deze kracht volledig op haak **a** worden overgedragen. Haak **a** neemt bijgevolg de volledige 1227N op.

De gebruikte haak heeft een dikte van 5 mm. De doorsnede is weergegeven op de onderstaande figuur.



Bijgevolg is  $L_2 = 45$  mm en  $b_F = 110 - 15 = 95$  mm waardoor (**Tabel 10**)  $b_r = 30$  mm.

De kracht  $R_{s,a}$  die op de schroef van haak **a** wordt uitgeoefend, bedraagt dus:

$$R_{s,a} = \frac{F_{d,1}(w) \times b_F}{b_r} = \frac{1227 \times 95}{30} = 3885 \text{ N}$$

**Tabel 9** laat toe om te berekenen dat de kracht  $R_{s,a}$  kan worden opgenomen door een rij van 2 schroeven met  $\Phi 6 \times 80$  mm of 3 schroeven met  $\Phi 5 \times 60$  mm of 4 schroeven met  $\Phi 4 \times 50$  mm, of zelfs 5 schroeven met  $\Phi 4 \times 40$  mm.

#### Uitwerking voor haak **b**

Omdat paneel **I** zich in zone D bevindt en paneel **II** in zone C, wordt de kracht die door de beide panelen in punt 2 op de rail wordt uitgeoefend, gegeven door:

$$F_{d2}(w, G_k) = \frac{1,7 \times 1,4 \times 2062,1}{4} + \frac{1,7 \times 1,4 \times 1182,4}{4} = 1930 \text{ N}$$

Deze kracht wordt verdeeld over de haken **b** en **c**. Haak **b** neemt hiervan  $93/110$  op, nl :  $1930 \times 93/110 = 1632$  N

De schroefkracht  $R_{s,b}$  op haak **b** is dus gelijk aan:

$$R_{s,b} = \frac{F_{d,2}(w) \times b_F}{b_r} = \frac{1632 \times 95}{30} = 5198 \text{ N}$$

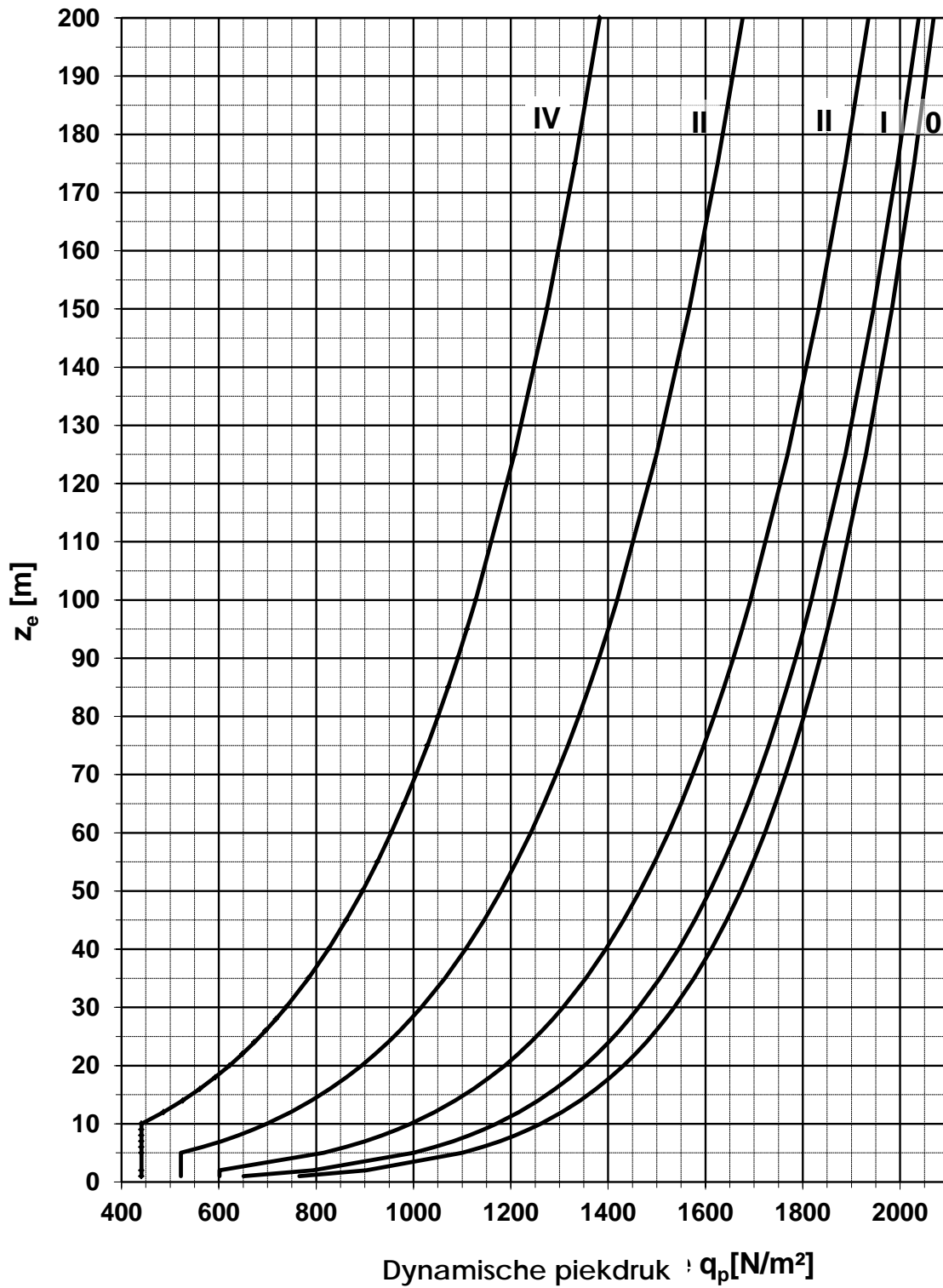
**Tabel 9** laat toe om te berekenen dat de kracht  $R_{s,a}$  kan worden opgenomen door een rij van 2 schroeven met  $\Phi 6 \times 100$  mm of 3 schroeven met  $\Phi 6 \times 70$  mm of 4 schroeven met  $\Phi 5 \times 60$  mm of 5 schroeven met  $\Phi 5 \times 50$  mm of zelfs 6 schroeven met  $\Phi 4 \times 50$  mm.

## Bijlage 1 - Dynamische piekdruk $q_p(z)$ (N/m<sup>2</sup>) bij $v_{b,0}=26$ m/s

In de volgende tabel is " $z_e$ " over het algemeen gelijk aan de hoogte van het gebouw, maar dit klopt niet altijd. Voor nauwkeuriger gegevens kunt u het wetenschappelijke rapport 11 van het WTCB, § 4.1.2.1. raadplegen. Om de ruwheidscategorieën te bepalen, volstaat het niet de ruwheidscategorie te nemen van de plaats waar het gebouw zich bevindt, maar die van het terrein dat de wind over een zekere afstand op zijn weg vindt voor hij de te berekenen installatie bereikt. Deze afstand noemen we de "straal van de hoeksector" en deze is afhankelijk van  $z_e$ . Vanwege het belang van de keuze van de ruwheidscategorie, wordt ten zeerste aanbevolen § 4.1.2.3 van het WR 11 te lezen om een oordeelkundige keuze te maken.

Dynamische piekdruk $q_p(z)$ (N/m <sup>2</sup> ) – $c_{prob}^2=1$					
Hoogte $z_e$ (m)	Ruwheidsterreincategorieën				
	0	I	II	III	IV
50	1672	1609	1465	1180	895
45	1644	1578	1432	1145	862
40	1612	1544	1395	1107	825
35	1576	1506	1354	1064	784
30	1536	1463	1307	1016	738
28	1518	1444	1286	995	718
26	1499	1423	1264	972	696
24	1478	1401	1240	948	673
22	1456	1377	1215	921	648
20	1431	1351	1187	893	622
18	1405	1323	1157	862	593
16	1376	1291	1123	828	561
14	1343	1256	1086	790	526
12	1305	1216	1043	748	486
10	1261	1170	994	698	441
9	1236	1143	966	670	441
8	1208	1114	935	639	441
7	1177	1081	900	605	441
6	1142	1043	861	566	441
5	1100	1000	815	522	441
2	903	793	601	522	441
1	765	651	601	522	441

Druk  $q$  met  $v_{b,0} = 26 \text{ m/s}$  en  $c_{prob^2} = 1$  (5 jaar)



## Bijlage 2 - Bibliografie

NBN EN 1991-1-4 - Belastingen op constructies – Deel 1-4: Algemene belastingen – Windbelasting

WTCB-Rapport nr. 11 – Toepassing van de Eurocodes op het ontwerp van buitenschrijnwerk

prNF P 78 116 (F) Fotovoltaïsche panelen – Ontwerp dimensionering