

Windbelasting op daken in een veranderend klimaat

ir. Marcus Peeters

marcus.peeters@odisee.be

Odisee Hogeschool – campus Aalst

pBa Bouw – pBa Vastgoed – onderzoekskern DuBiT

Doelstellingen

1. Wind en windbelasting begrijpen
2. Blik op de toekomst: invloed van de klimaatverandering op te verwachten stormen

Windbelasting op daken

1. **Algemeen – wind op een gebouw**
2. Windbelasting op het dak bepalen
3. Windbelasting platte daken (TV 239 bijlage 5)
4. Windbelasting hellende daken (TV 240)
5. De toekomst

Algemeen – wind op een gebouw

1. Verandering in de tijd
2. Verandering in de ruimte
3. Luchtstromen rond een vast lichaam
4. Windlasten op constructies

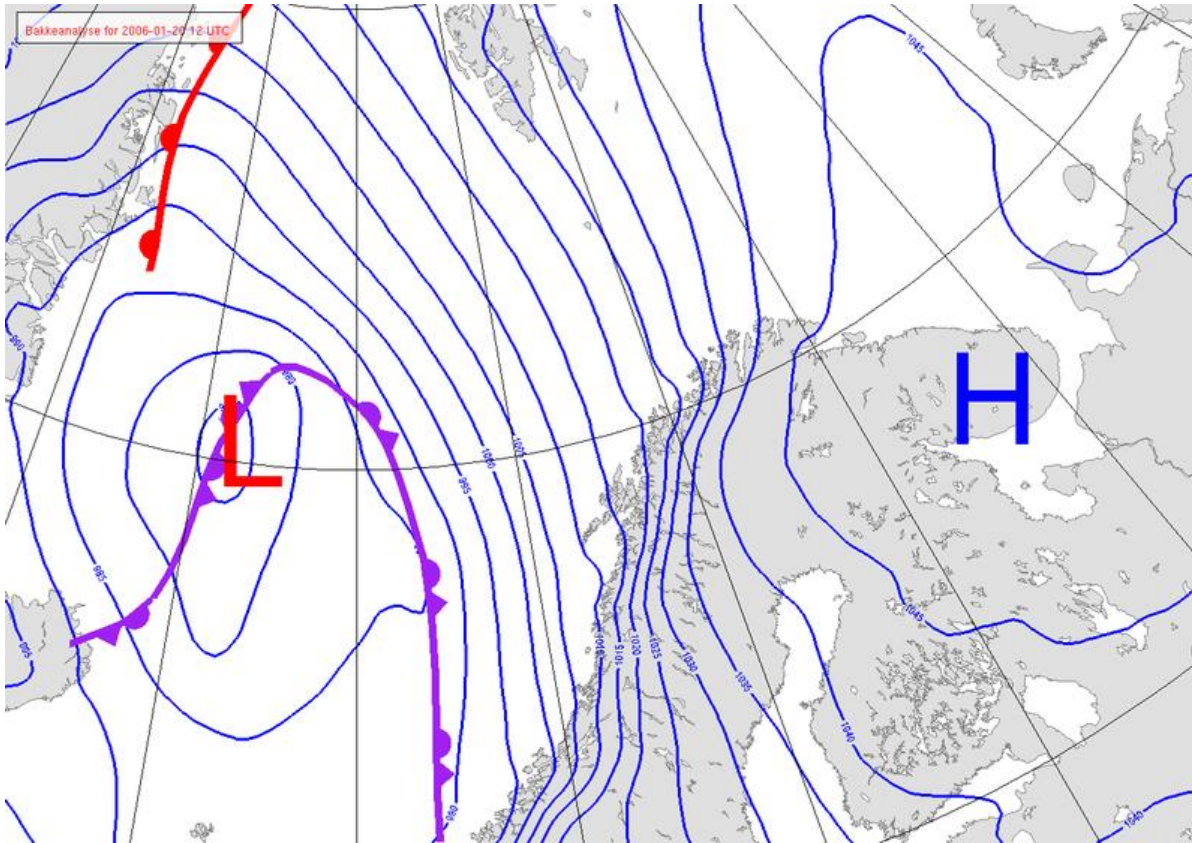






Afb. 51 Door de wind losgerukte dakbedekking.

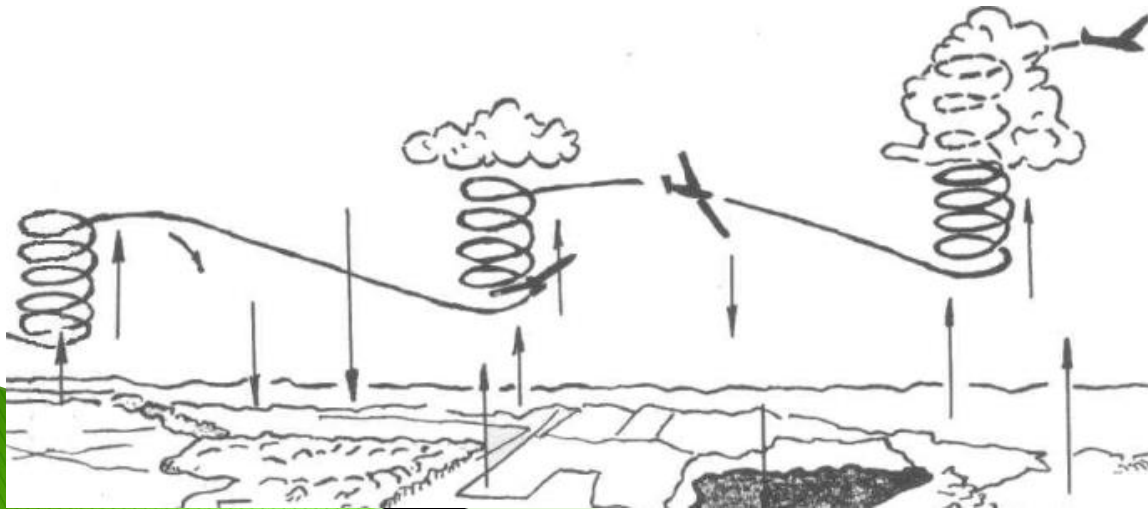
Wind



Lucht verplaatst
van **H** naar **L**

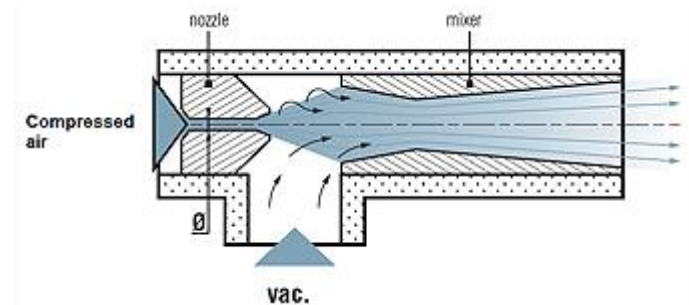
Wind

- ▶ Thermiek
 - Warme lucht stijgt

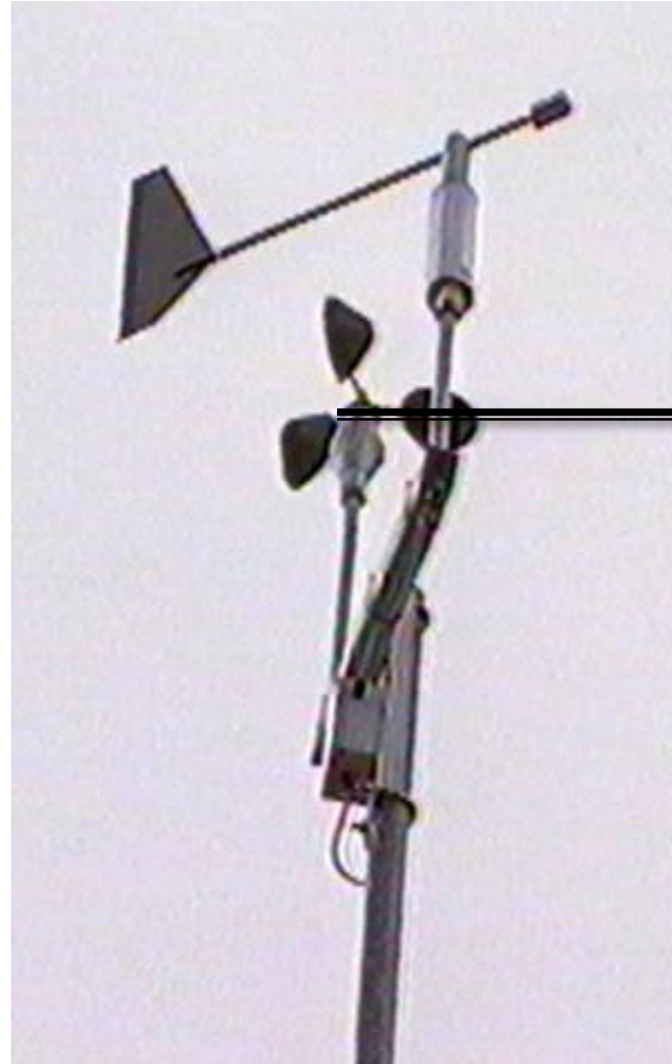
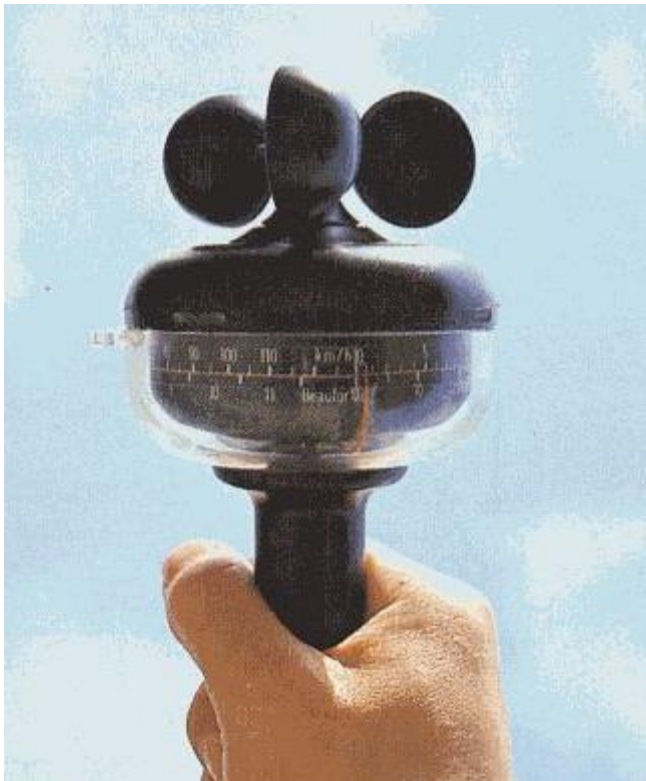


Wind – drijvende kracht

- ▶ Verschil in soortelijke massa lucht = drukverschil:
 - 0°C: ca. 1,30 kg/m³
 - 10°C: ca. 1,25 kg/m³
 - 20°C: ca. 1,20 kg/m³
- ▶ Condenserende waterdamp = energie die vrijkomt
- ▶ Venturi-effect straalstroom



Verandering in de tijd



$h = 10 \text{ m}$

Windsnelheid & Windstoot Europlatform 1

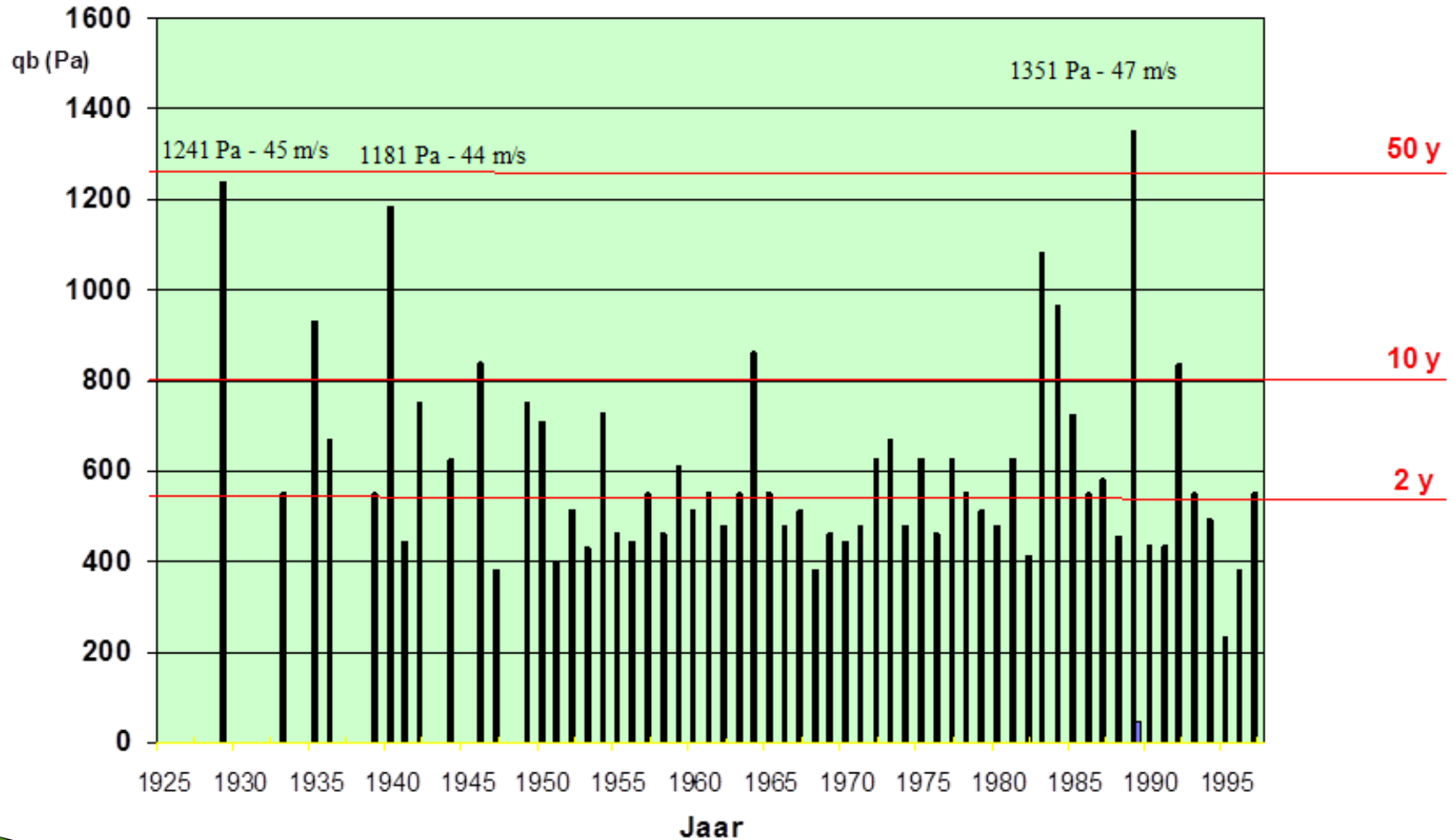
Bron: www.actuelewaterdata.nl



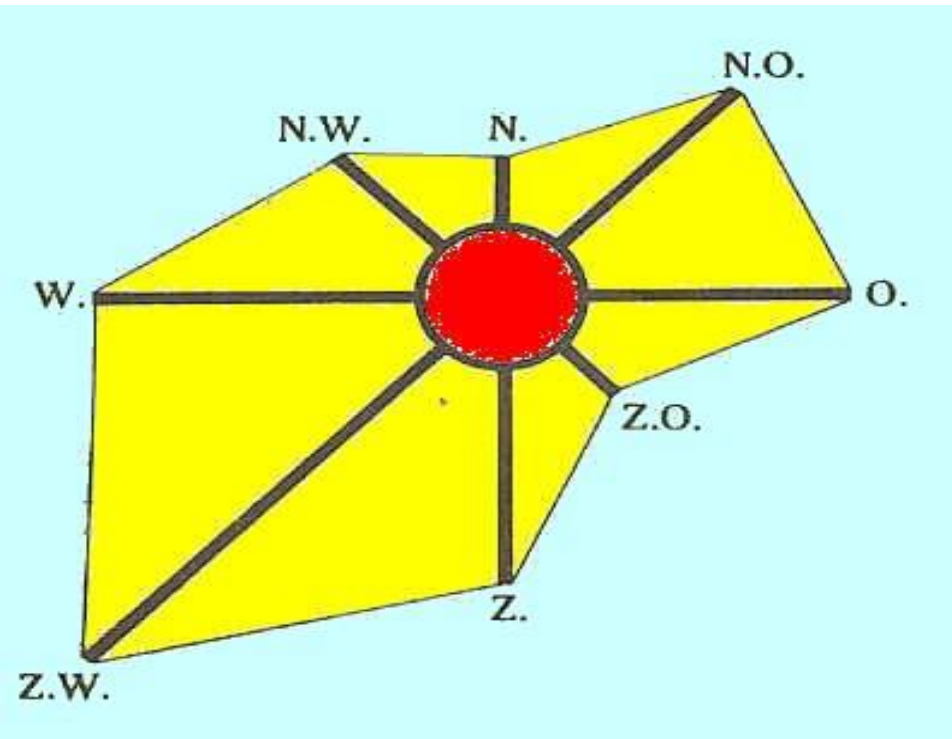
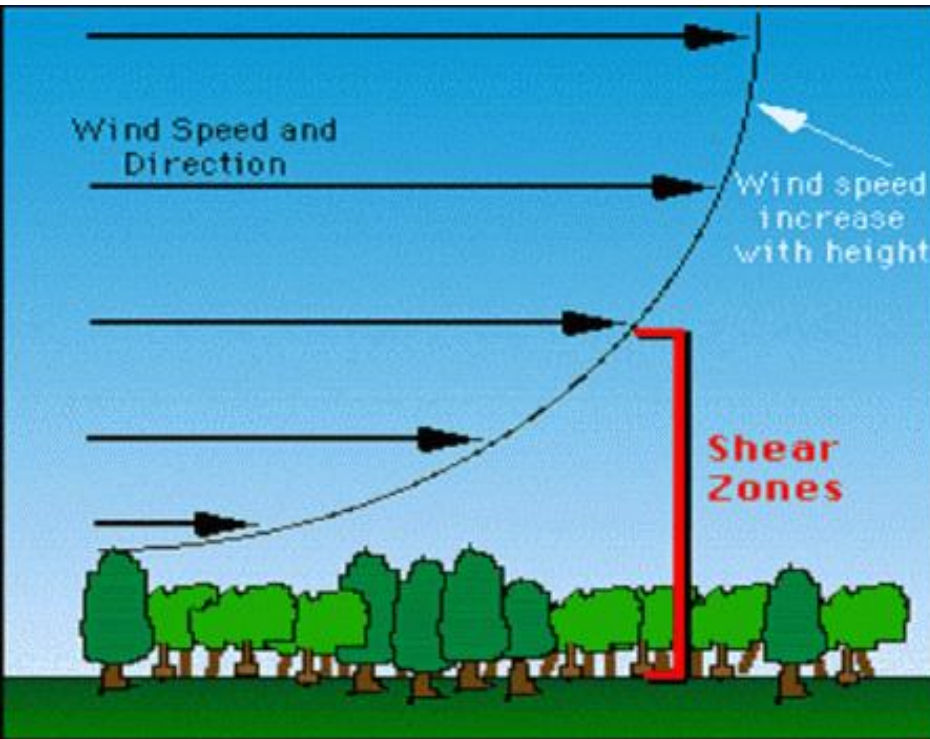
De windsnelheid 10m. op 12 maart 2008, 21:30 uur is 17.1 m/s

De windstoot op 12 maart 2008, 21:30 uur is 24.1 m/s

Verandering in de tijd



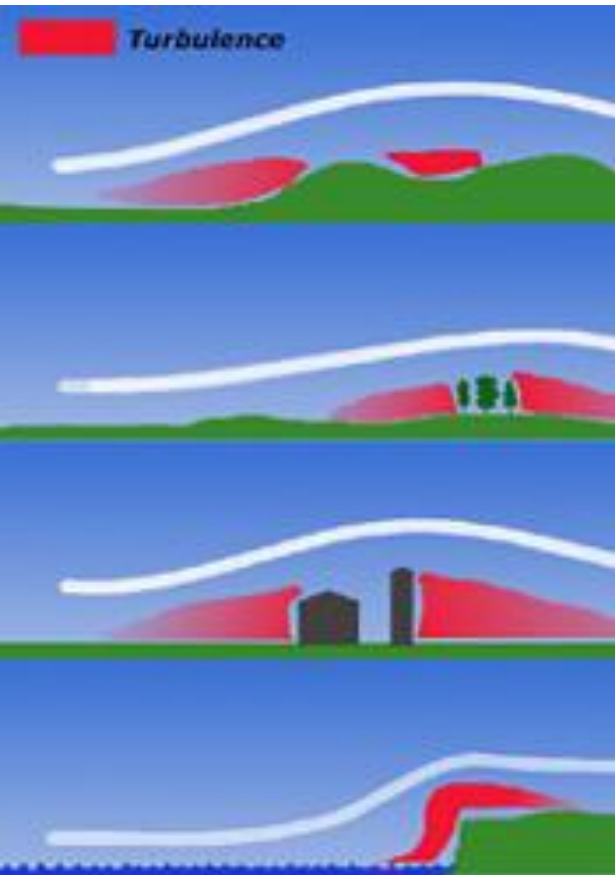
Verandering in de ruimte



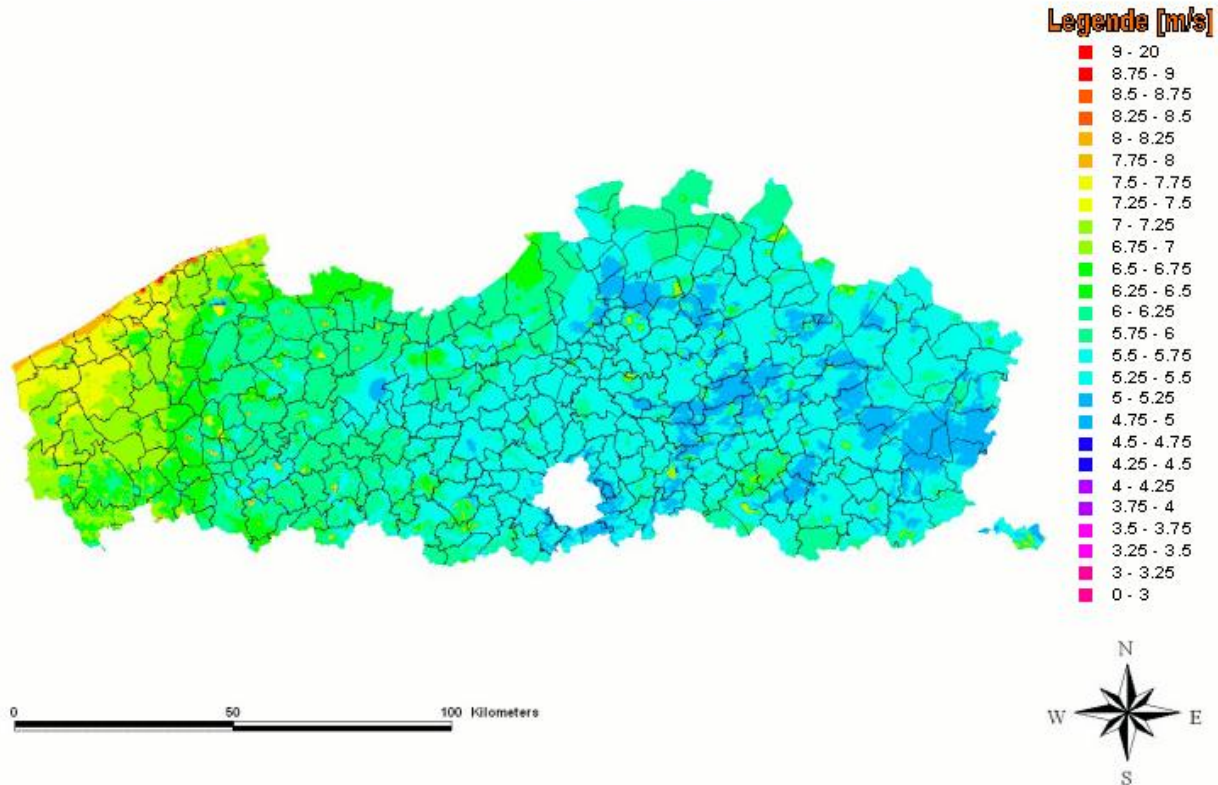
Kees Floor: cursus weerkunde

Windroos Ukkel

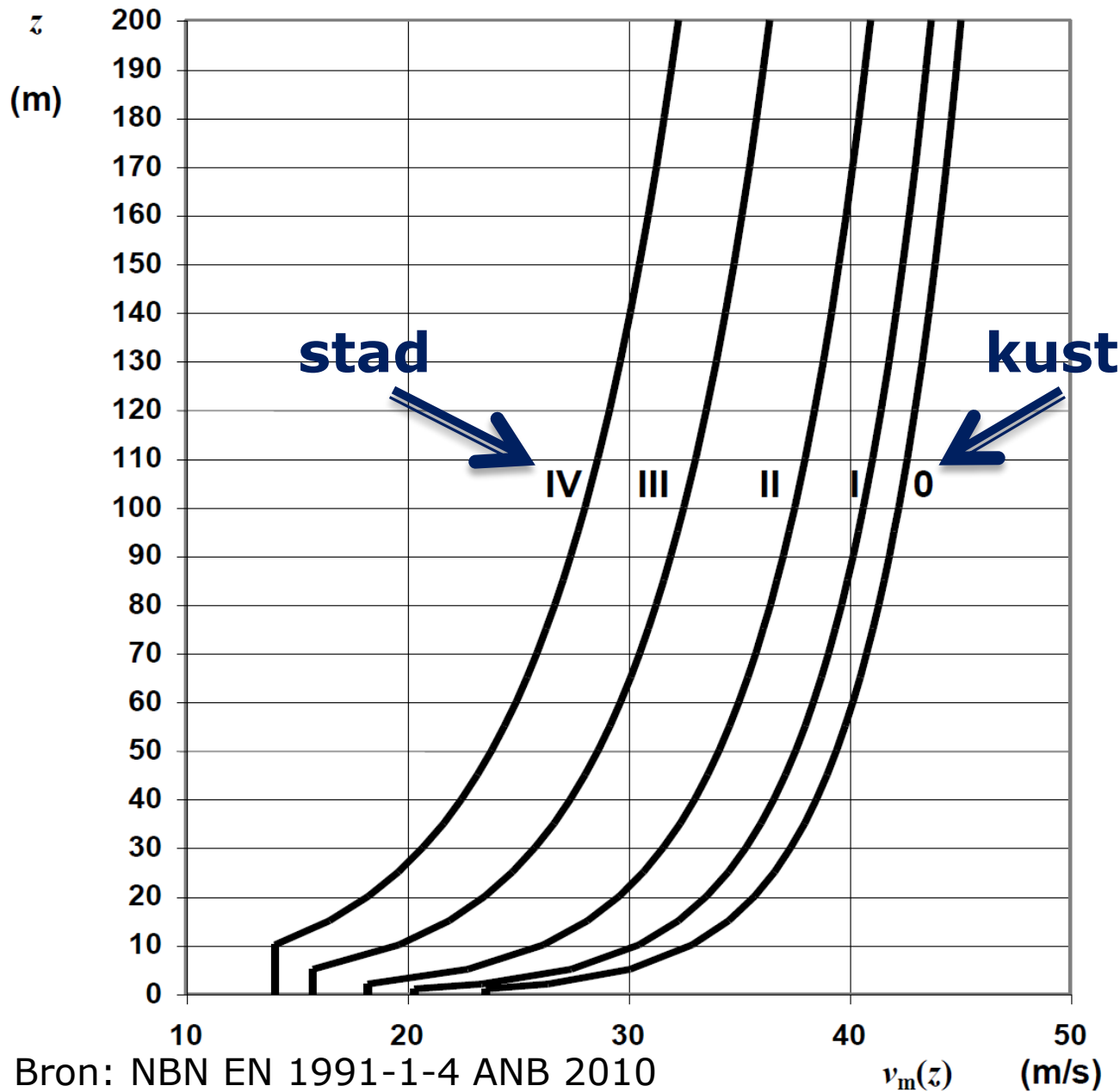
Verandering in de ruimte



Windsnelheid [m/s] op 75 m ashoogte



Kees Floor: cursus weerkunde



$$V_{m,\text{jaar}} = 4 \text{ m/s}$$

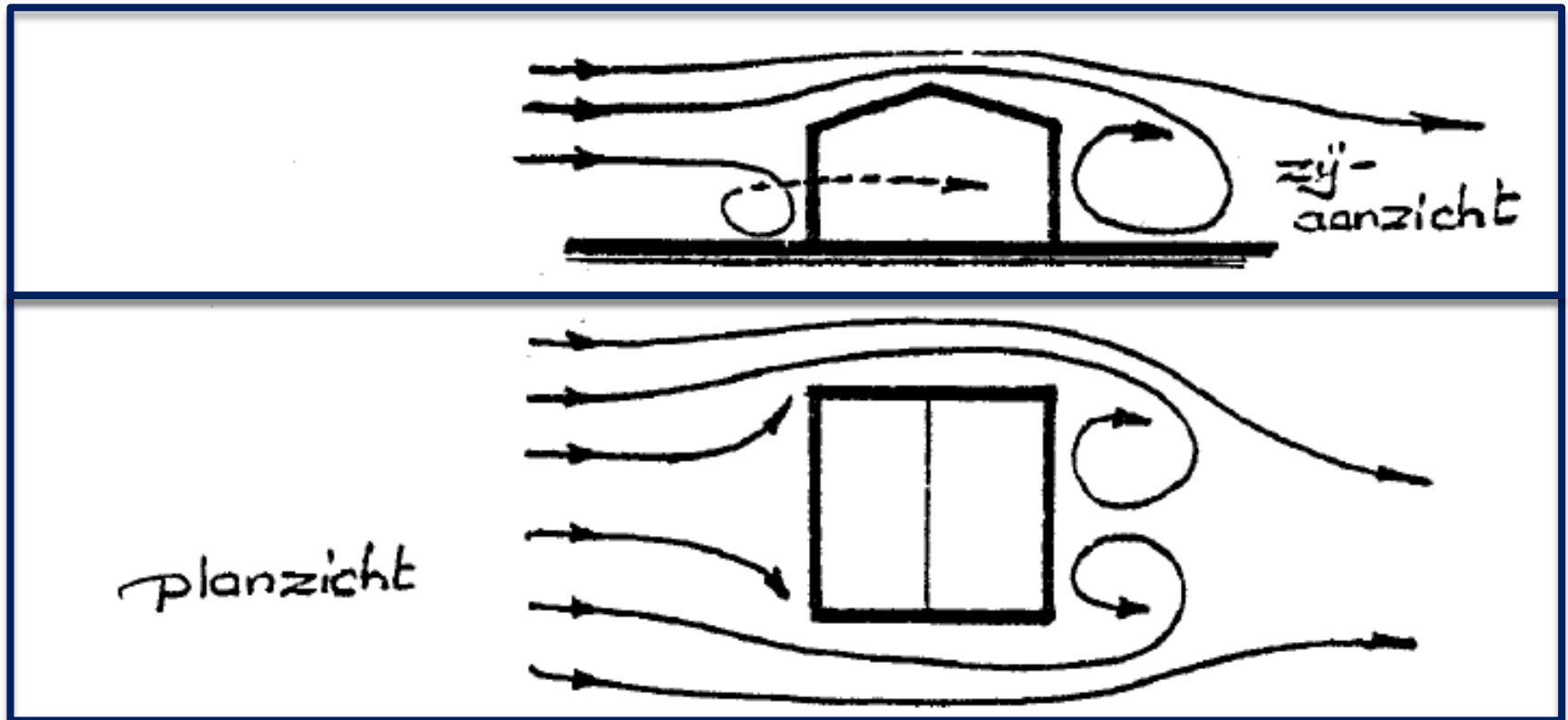
$$V_{b,0} = 26 \text{ m/s}$$

(10 min, 10 m, 50 jaar)

$V_m(z)$:
 gemiddelde
 windsnelheid op
 hoogte z
 (10 min, 50 jr, z ,
 terrein 0, ..., IV)

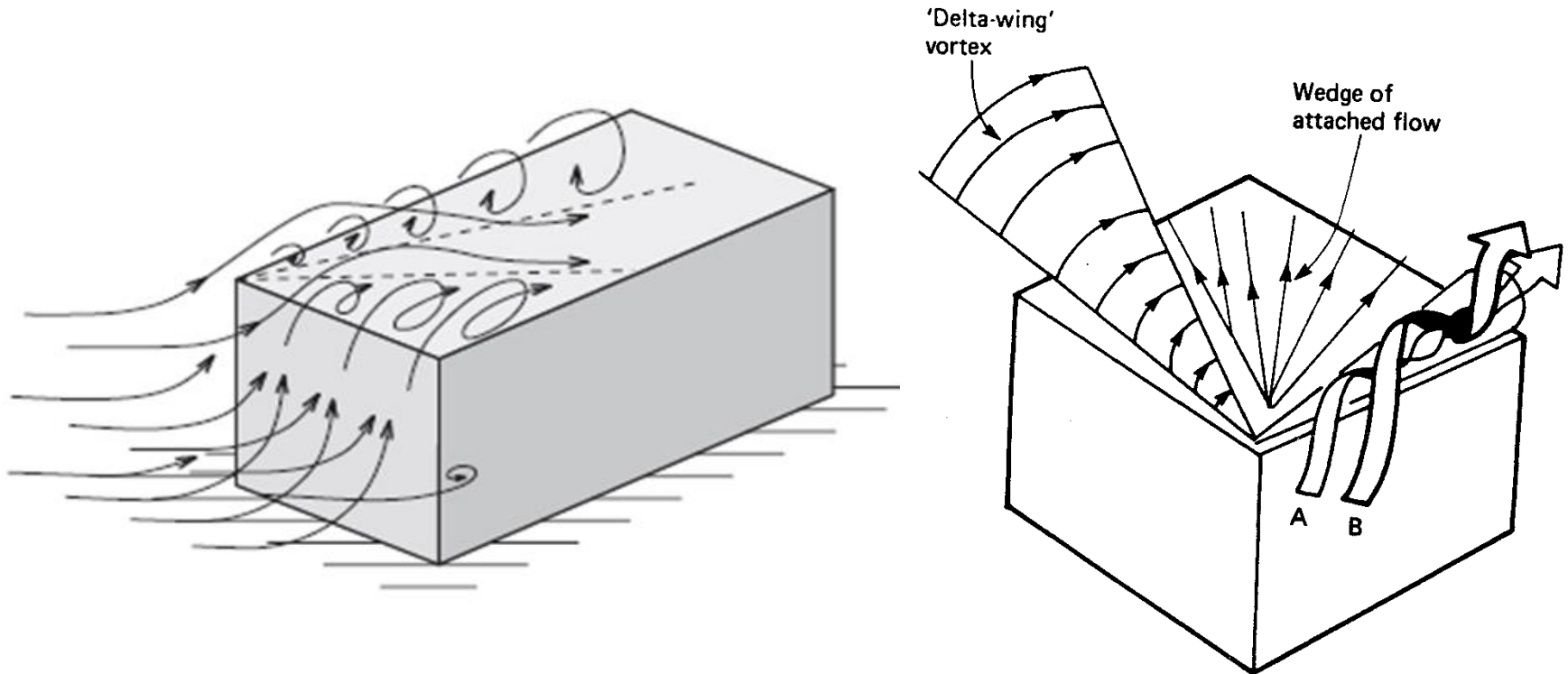
Bron: NBN EN 1991-1-4 ANB 2010

Luchtstroming rond een vast lichaam



Cilindrische wervels

Luchtstroming rond een vast lichaam



Conische wervels

Luchtstroming rond een vast lichaam

Turbulenties = wervels

- ▶ Cilindrische wervels
- ▶ Conische wervels





Windlasten op constructies

- ▶ Dynamische werking van de wind



Tacoma Narrows Bridge

<http://www.youtube.com/watch?v=3mclp9QmCGs>



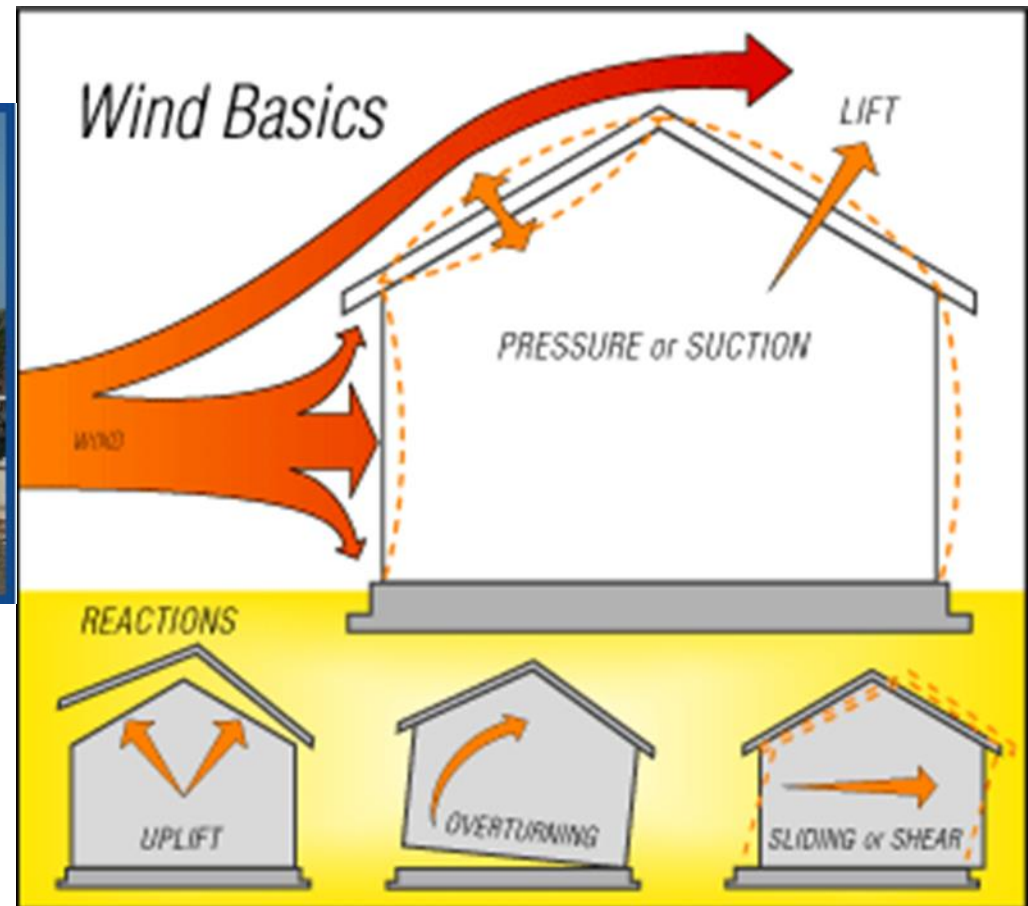
ie-netk@fee - 25/09/2018



R.I.P. TUBBY

Windlasten op constructies

- ▶ Statische werking van de wind



Windbelasting

Windsnelheid – winddruk

- ▶ Formule voor kinetische energie / luchtvolume

$$q_b = \frac{1}{2} \cdot \rho \cdot v_b^2$$

q_b : basiswinddruk (N/m² = Pa)

ρ : soortelijke massa lucht (bij ca. 10°C)
= 1,25 kg/m³

v_b : basiswindsnelheid (m/s)

q_b : **is ook energie-inhoud (J=Nm) van 1 m³ lucht**

Windbelasting

Basiswinddruk – piekwinddruk

$$q_p = c_e(z) \cdot q_b$$

q_p : piekwinddruk (N/m² = Pa)

q_b : basiswinddruk (N/m² = Pa)

$c_e(z)$: blootstellingsfactor (zie figuur)

For flat terrain where $c_0(z) = 1,0$ (see 4.3.3), the exposure factor $c_e(z)$ is illustrated in Figure 4.2 as a function of height above terrain and a function of terrain category as defined in Table 4.1.

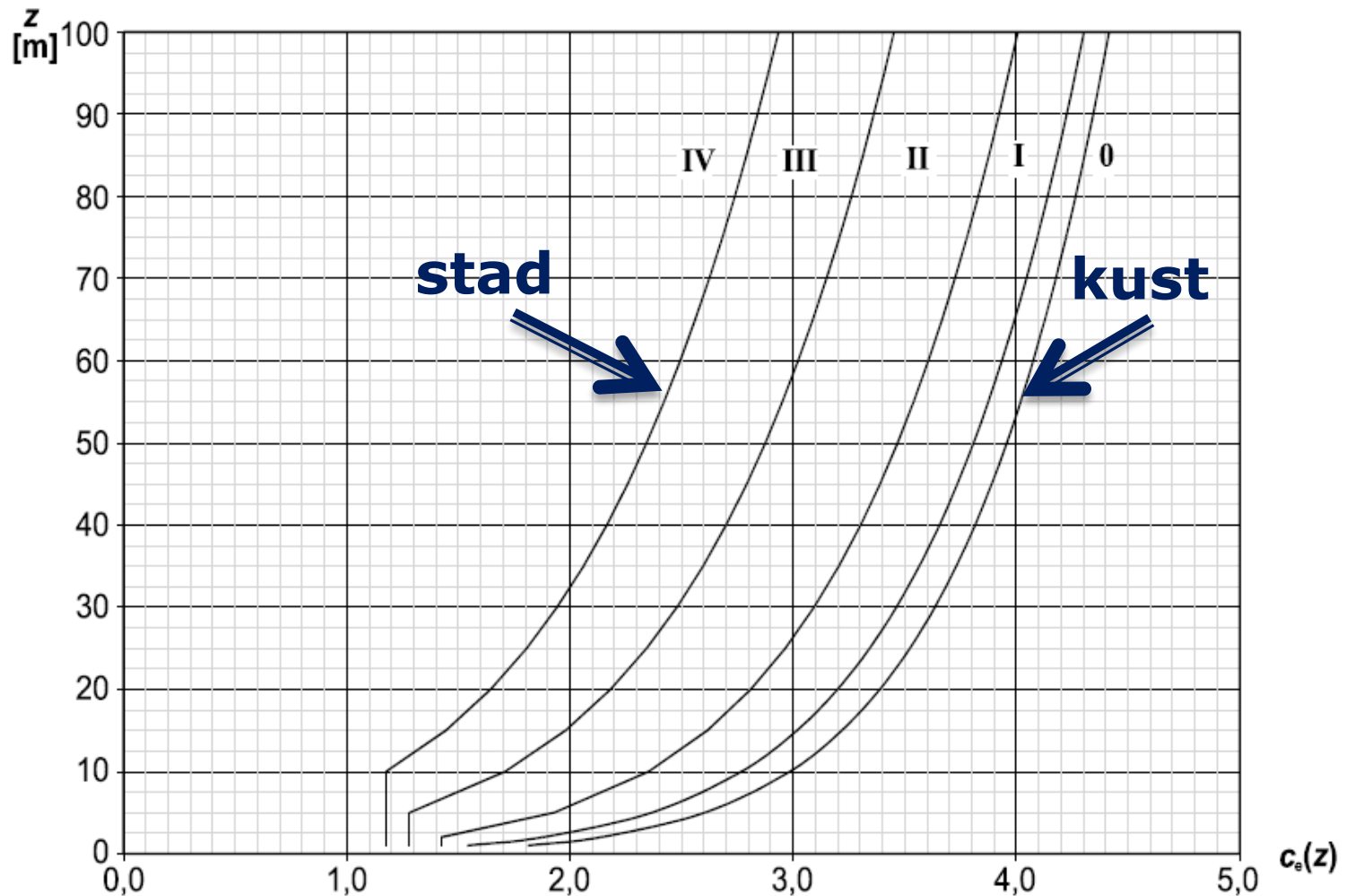


Figure 4.2 — Illustrations of the exposure factor $c_e(z)$ for $c_0=1,0$, $k_T=1,0$

Windbelasting

– lokale drukcoëfficiënten

Windbelasting (Pa): piekwinddruk op een oppervlak

$$w = c_p \cdot q_p$$

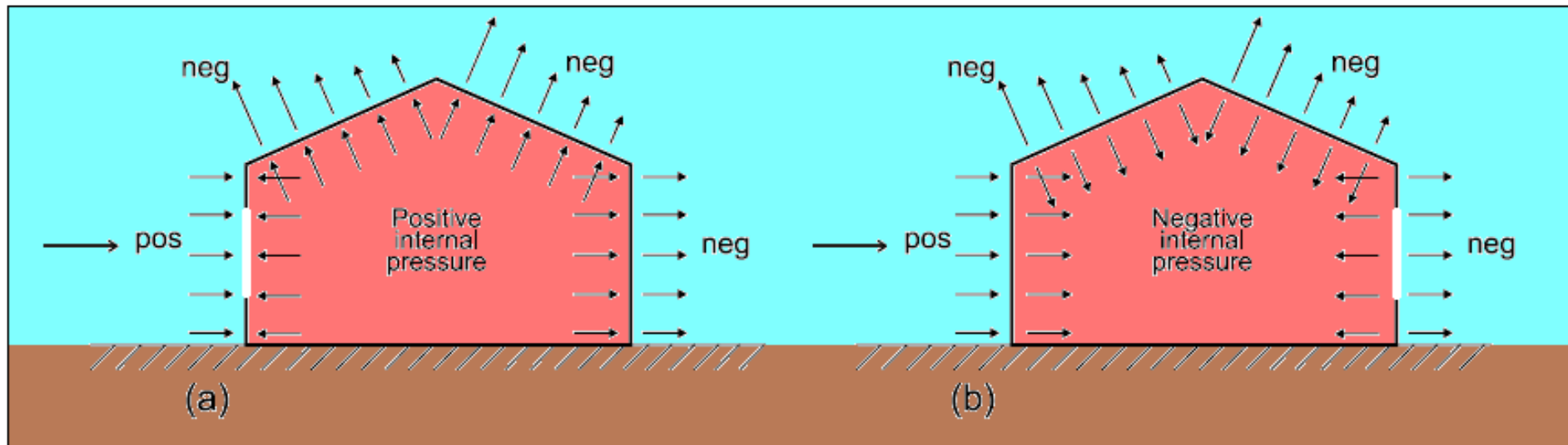
$$w = (c_{pe} - c_{pi}) \cdot q_p$$

w: windbelasting (N/m² of Pa)
c_p: netto drukcoëfficiënt
q_p: piekwinddruk (N/m² of Pa)
c_{pe}: uitwendige drukcoëfficiënt
c_{pi}: inwendige drukcoëfficiënt

Windbelasting

– lokale drukcoëfficiënten

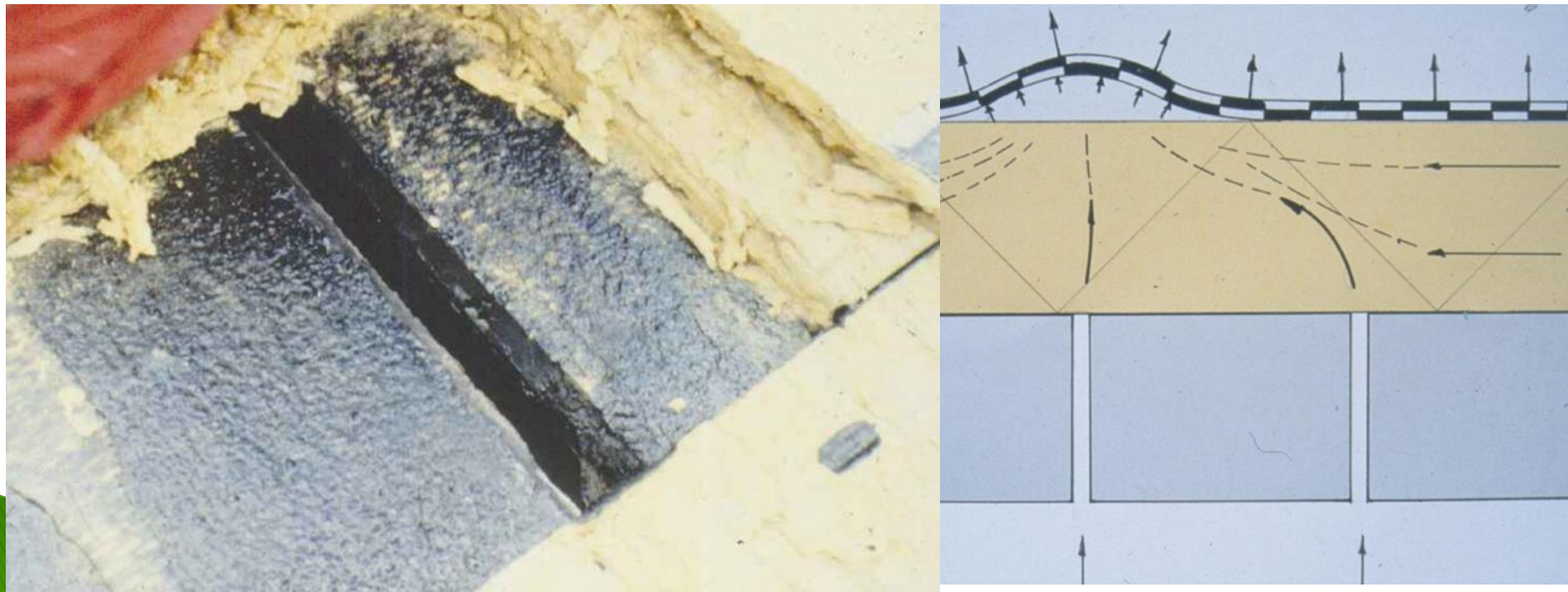
Binnen in gebouw heerst er ook een onderdruk / overdruk ten gevolge windbelasting (afhankelijk van openingen)



Windbelasting

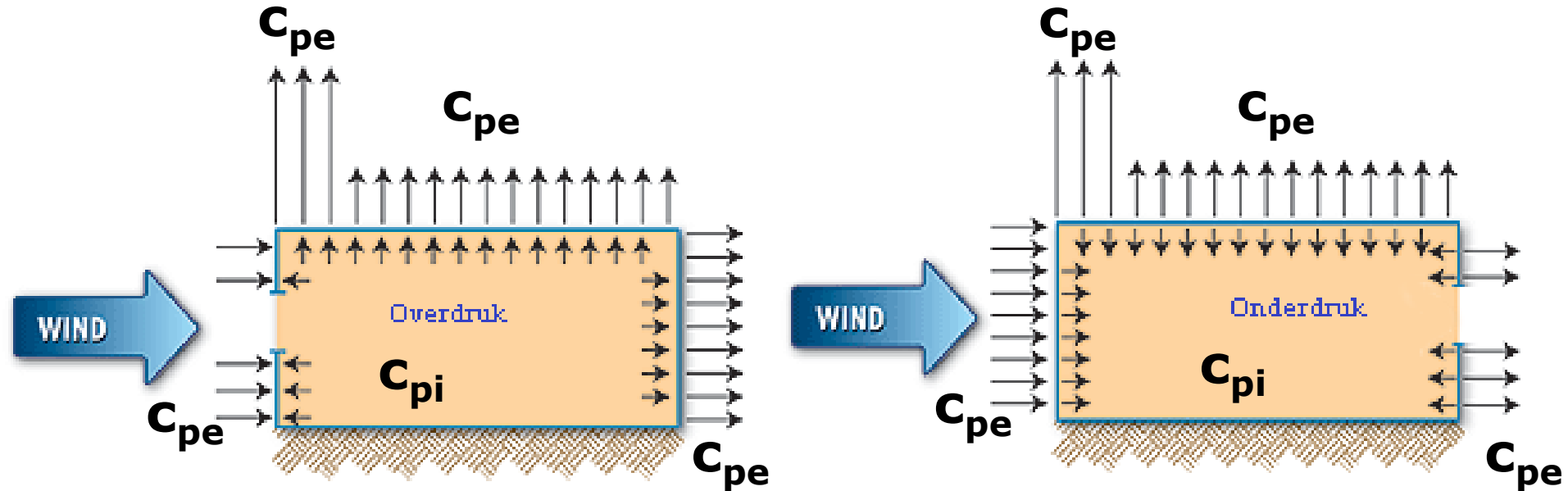
– lokale drukcoëfficiënten

- ▶ Druk binnen heeft slechts invloed op dak indien dakvloer min of meer luchtoppen is.



Windbelasting

– lokale drukcoëfficiënten



C_{pe} : drukcoëfficiënt hoort bij bepaalde plaats van het buitenoppervlak varieert tengevolge wervels

Windbelasting?

- ▶ <http://vimeo.com/55384081>
- ▶ <http://www.youtube.com/watch?v=nXfm65mzJAk>

Windbelasting op daken

1. Algemeen – wind op een gebouw
2. **Windbelasting op het dak bepalen**
3. Windbelasting platte daken(TV 239 bijlage 5)
4. Windbelasting hellende daken (TV 240)
5. De toekomst

Rekenen!

- ▶ Eurocode 1
- ▶ NBN-EN-1991-1-4 (2005)
- ▶ NBN-EN-1991-1-4 ANB (2010)

EUROPEAN STANDARD
NORME EUROPÉENNE
EUROPÄISCHE NORM

EN 1991-1-4

April 2005

ICS 91.010.30

Supersedes ENV 1991-2-4:1995

English version

Eurocode 1: Actions on structures - Part 1-4: General actions -
Wind actions

Eurocode 1: - Actions sur les structures - Partie 1-4:
Actions générales - Actions du vent

Eurocode 1: Einwirkungen auf Tragwerke - Teil 1-4:
Allgemeine Einwirkungen - Windlasten

NBN EN 1991-1-4 ANB:2010(F)

Eurocode 1 : Actions sur les structures

Partie 1-4 : Actions générales – Actions du vent

ANNEXE NATIONALE

Version du 6 mai 2010

Etabli par la Commission NBN E250 – E25001

Algemene formule

$$F_d(\mathbf{w}) = \gamma_Q \cdot c_e(\mathbf{z}) q_{\text{ref},50\text{jaar}} \cdot C_{\text{prob}}^2 \cdot C_p$$

- ❖ $F_d(\mathbf{w})$: rekenwaarde van de winddruk [Pa]
- ❖ γ_Q : partiële coëfficiënt voor de windbelasting (voorheen veiligheidscoëfficiënt genoemd)
- ❖ $c_e(\mathbf{z}) q_{\text{ref},50\text{jaar}}$: piekdruk
- ❖ C_{prob} : coëfficiënt terugkeerperiode van de wind
- ❖ C_p : plaatselijke drukcoëfficiënt
met $C_p = C_{pe} - C_{pi}$
 - C_{pe} : buitendrukcoëfficiënt van de beschouwde zones
 - C_{pi} : binnendrukcoëfficiënt afhankelijk van de luchtdichtheid van het dakgeheel en gevels

Algemene formule

$$F_d(w) = \gamma_Q \cdot c_e(z) q_{\text{ref},50\text{jaar}} \cdot C_{\text{prob}}^2 \cdot C_p$$

❖ γ_Q :

- 1,5 voor hoofdconstructies
- 1,25 voor secundaire constructies
- 1,1 voor vulelementen
- **Plat dak: 1,25**

❖ C_{prob} :

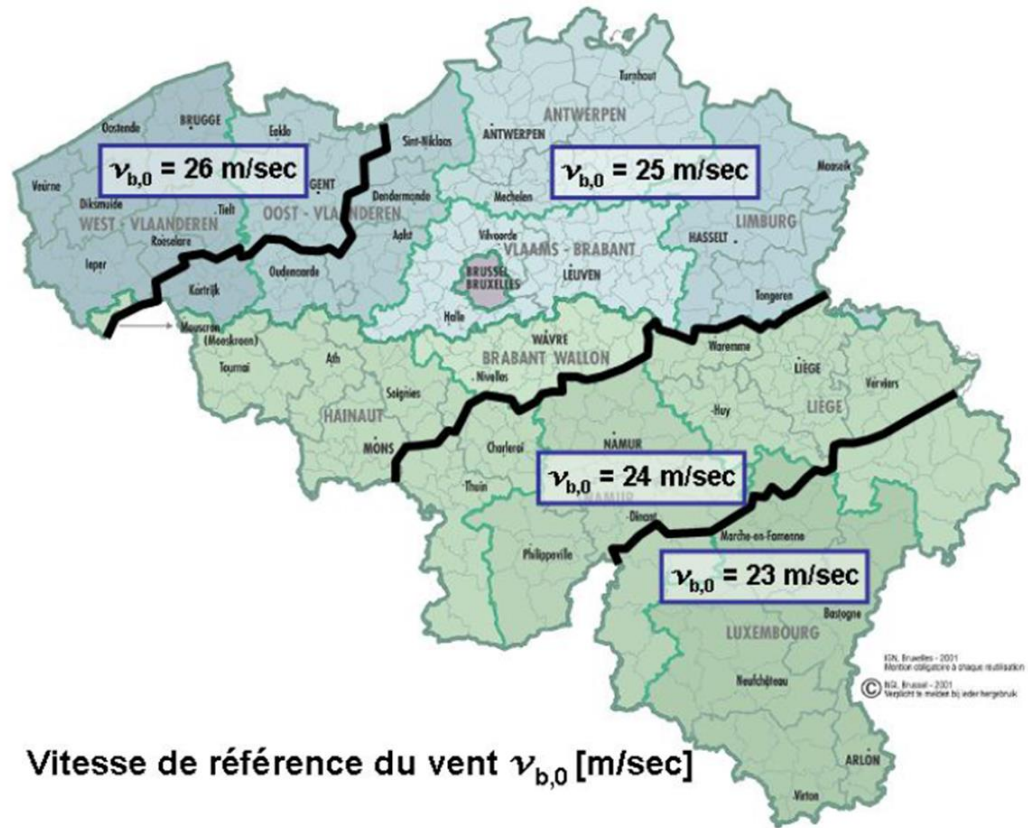
- Relatief ten opzichte van een terugkeerperiode van 50 jaar
- **Plat dak: $c_{\text{prob}}^2 = 0,92$** voor een terugkeerperiode van 25 jaar

Algemene formule

$$F_d(w) = \gamma_Q \cdot c_e(z) q_{\text{ref},50\text{jaar}} \cdot C_{\text{prob}}^2 \cdot C_p$$

❖ $c_e(z) q_{\text{ref},50\text{jaar}}$:

- $c_e(z)$: berekenen
- $q_{\text{ref},50\text{jaar}}$: berekenen



Bron: NBN EN 1991-1-4 ANB 2010

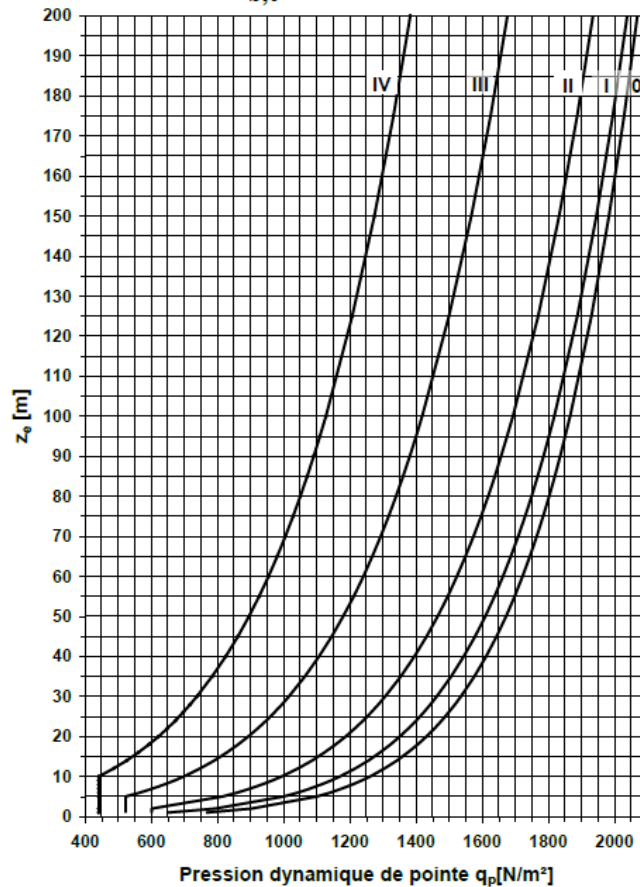
Tableau 4.9–ANB : Pression dynamique de pointe $q_p(z)$ (N/m²)
pour $v_{b,0} = 26$ m/sec et $c_o = 1$

Algemene formule

❖ $c_e(z)q_{ref,50jaar}$:

- Grafieken, tabellen (NBN EN + ANB)

$v_{b,0} = 26$ m/s



hauteur z_e (m)	Catégories de rugosité de terrain				
	0	I	II	III	IV
200	2069	2038	1935	1676	1383
175	2029	1995	1887	1625	1332
150	1983	1945	1833	1567	1274
125	1930	1887	1769	1500	1207
100	1866	1818	1693	1419	1128
95	1851	1802	1675	1400	1110
90	1836	1785	1657	1381	1091
85	1819	1768	1638	1361	1071
80	1802	1749	1618	1340	1050
75	1784	1730	1597	1317	1028
70	1765	1709	1574	1293	1005
65	1744	1687	1550	1268	980
60	1722	1663	1524	1241	954
55	1698	1637	1496	1212	926
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

Praktisch

WTCB-publicaties: vereenvoudigde methoden



WTCB

WTCB

EEN UITGAVE VAN HET WETENSCHAPPELIJK EN TECHNISCH CENTRUM VOOR HET BOUWBEDRIJF



RAPPORT

TOEPASSING VAN DE EUROCODES OP HET ONTWERP VAN BUITENSCHRIJNWERK

EEN UITGAVE VAN HET WETENSCHAPPELIJK EN TECHNISCH CENTRUM VOOR HET BOUWBEDRIJF



TECHNISCHE VOORLICHTING 240

**PANNEN-
DAKEN**

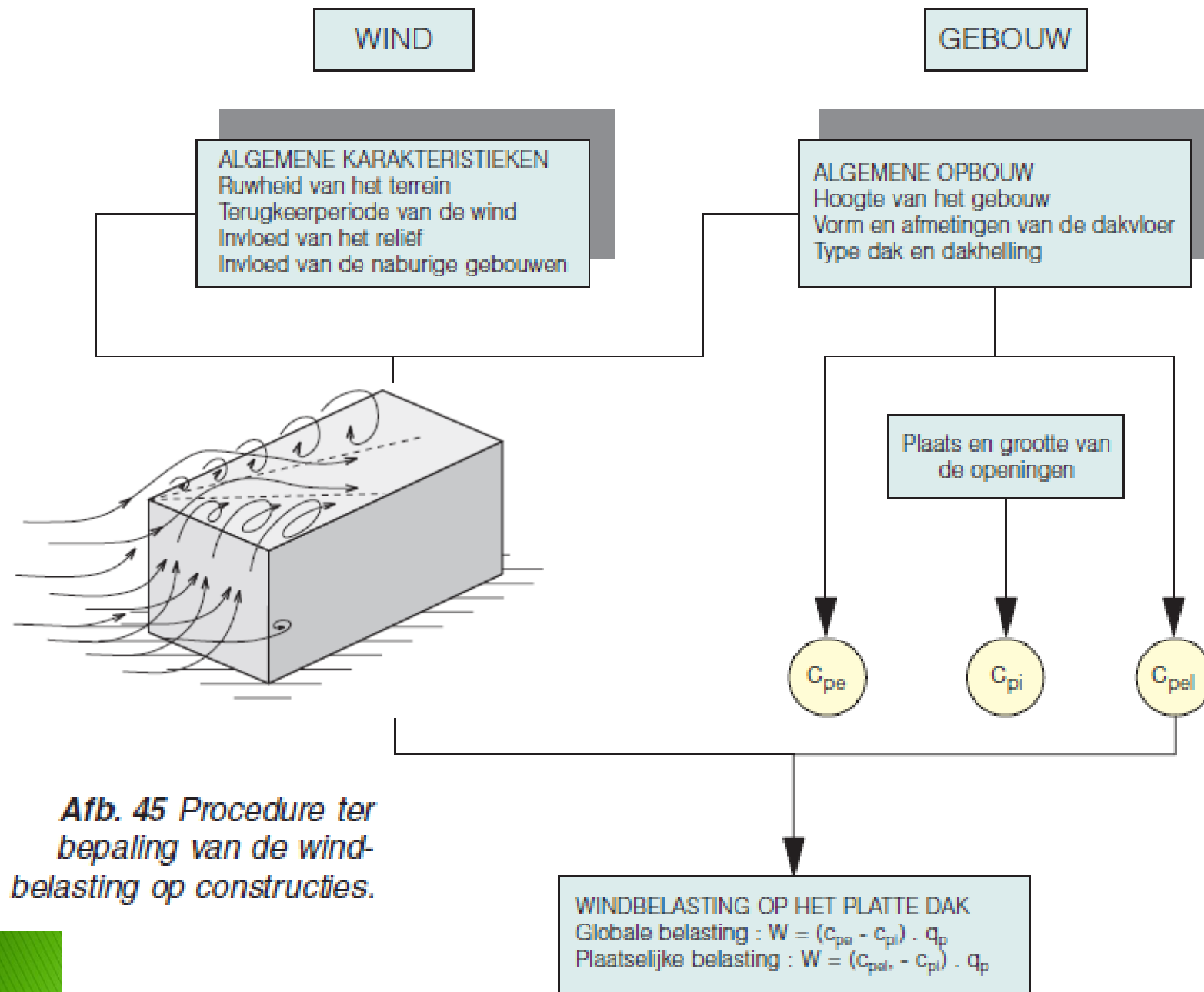
EEN UITGAVE VAN HET WETENSCHAPPELIJK EN TECHNISCH CENTRUM VOOR HET BOUWBEDRIJF



TECHNISCHE VOORLICHTING 239

MECHANISCHE BEVESTIGING VAN DE ISOLATIE EN DE AFDICHTING OP GEPROFILEERDE STAALPLATEN

Wtcb: rapport nr.11, TV 239, TV 240



Afb. 45 Procedure ter bepaling van de windbelasting op constructies.

Stappenplan bepaling windbelasting

Wind:

1. Referentiewindsnelheid $v_{b,0}$ (26,25,24,23 m/s)
2. Gebouwhoogte z_e
3. Ruwheidscategorie van het terrein (0,I,II,III,IV)

Gebouw (specifiek voor plat en hellend dak)

4. Drukcoëfficiënten: $c_p = C_{pe} - C_{pi}$
5. Rand-, hoek en middenzones
6. Windbelasting uit tabellen of berekenen

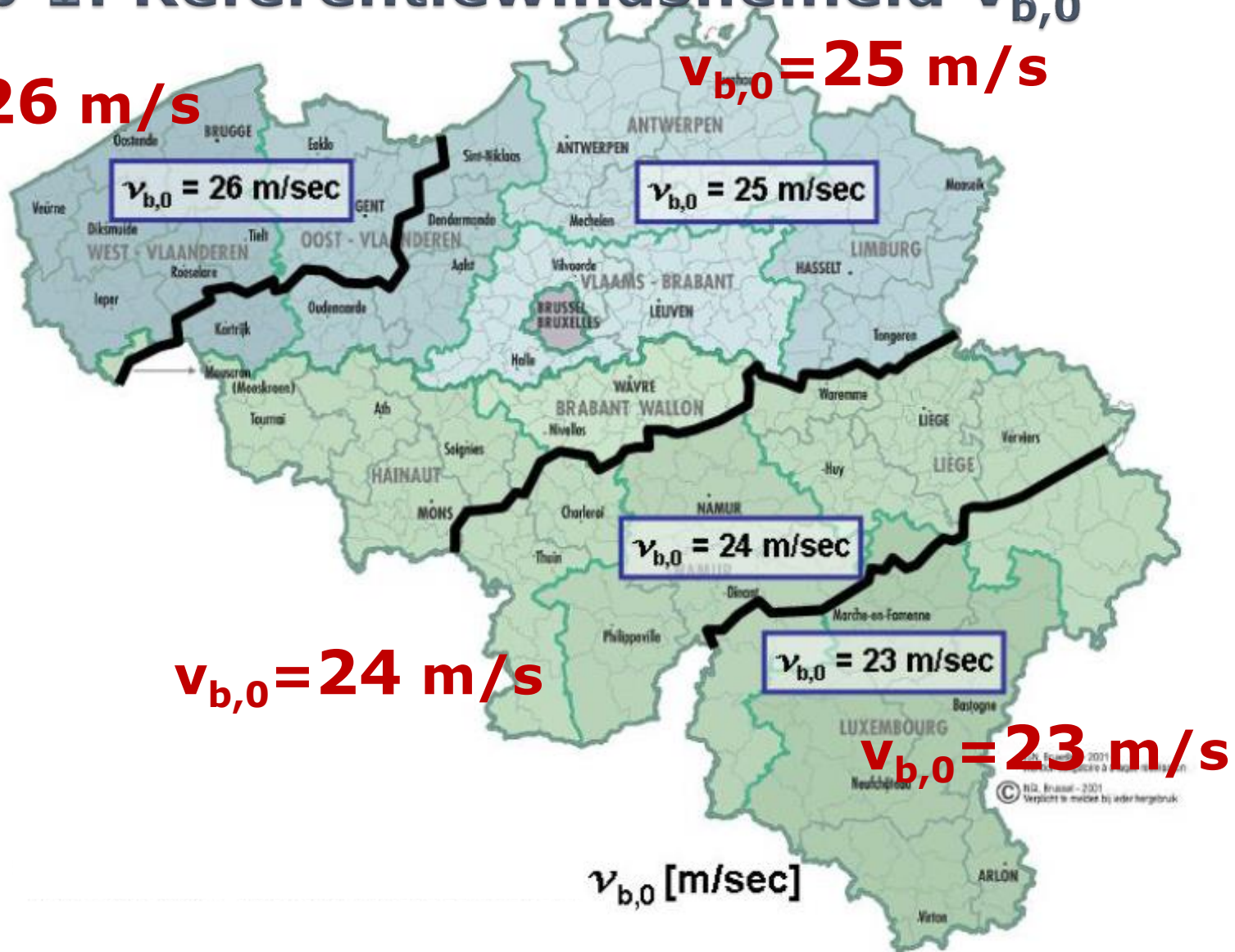
Stappenplan bepaling windbelasting vereenvoudigde methode

1. Referentiewindsnelheid $v_{b,0}$ (26,25,24,23 m/s)
2. Gebouwhoogte z_e
3. Ruwheidscategorie van het terrein
(0,I,II,III,IV)

Stap 1: Referentiewindsnelheid $v_{b,0}$

$v_{b,0} = 26 \text{ m/s}$

$v_{b,0} = 25 \text{ m/s}$



$v_{b,0} = 24 \text{ m/s}$

$v_{b,0} = 23 \text{ m/s}$

$v_{b,0} \text{ [m/sec]}$

Stap 1: Referentiewindsnelheid $v_{b,0}$

Arlon

Brugge

$$v_{b,0} = 23 \text{ m/s}$$

+13%

$$v_{b,0} = 26 \text{ m/s}$$

$$q_b = 331 \text{ N/m}^2$$

+28%

$$q_b = 423 \text{ N/m}^2$$

Stap 1: Referentiewindsnelheid $v_{b,0}$

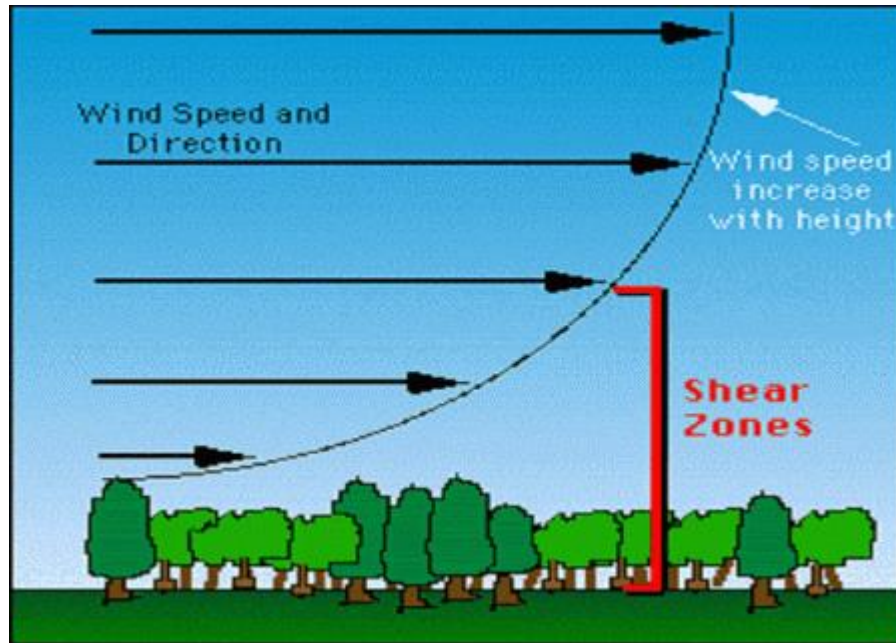
- ▶ In België: volgens postcode (digitale bijlage)
- ▶ Geen geleidelijke overgang tussen 2 verschillende zones

Referentiewindsnelheid $v(b,0)$ volgens postnummer overeenkomstig NBN EN1991-1-4 ANB		
postnr	omschrijving	$v(b,0)$ in m/s
2235	Westmeerbeek	25
2240	Massenhoven	25
2240	Viersel	25
2240	Zandhoven	25
2242	Pulderbos	25
2243	Pulle	25
2250	Olen	25

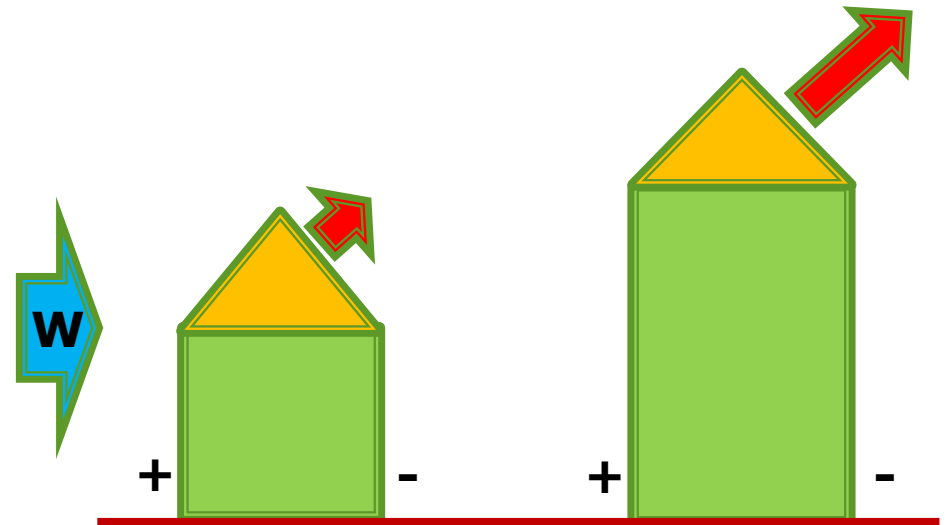
Stappenplan bepaling windbelasting vereenvoudigde methode

1. Referentiewindsnelheid $v_{b,0}$ (26,25,24,23 m/s)
2. Gebouwhoogte z_e
3. Ruwheidscategorie van het terrein
(0,I,II,III,IV)

Stap 2: Gebouwhoogte Z_e



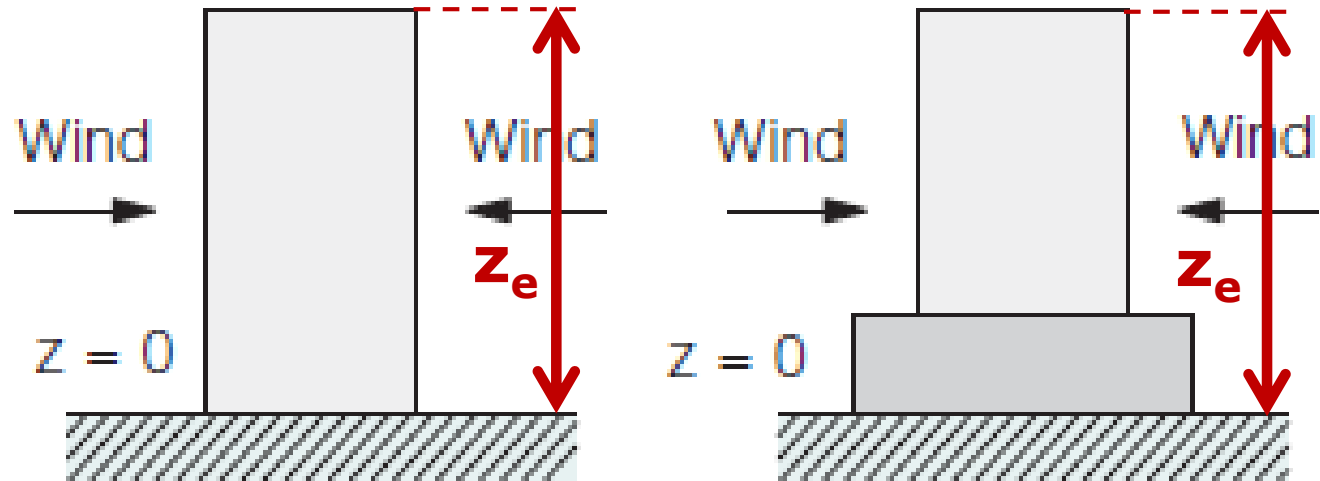
Kees Floor: cursus weerkunde



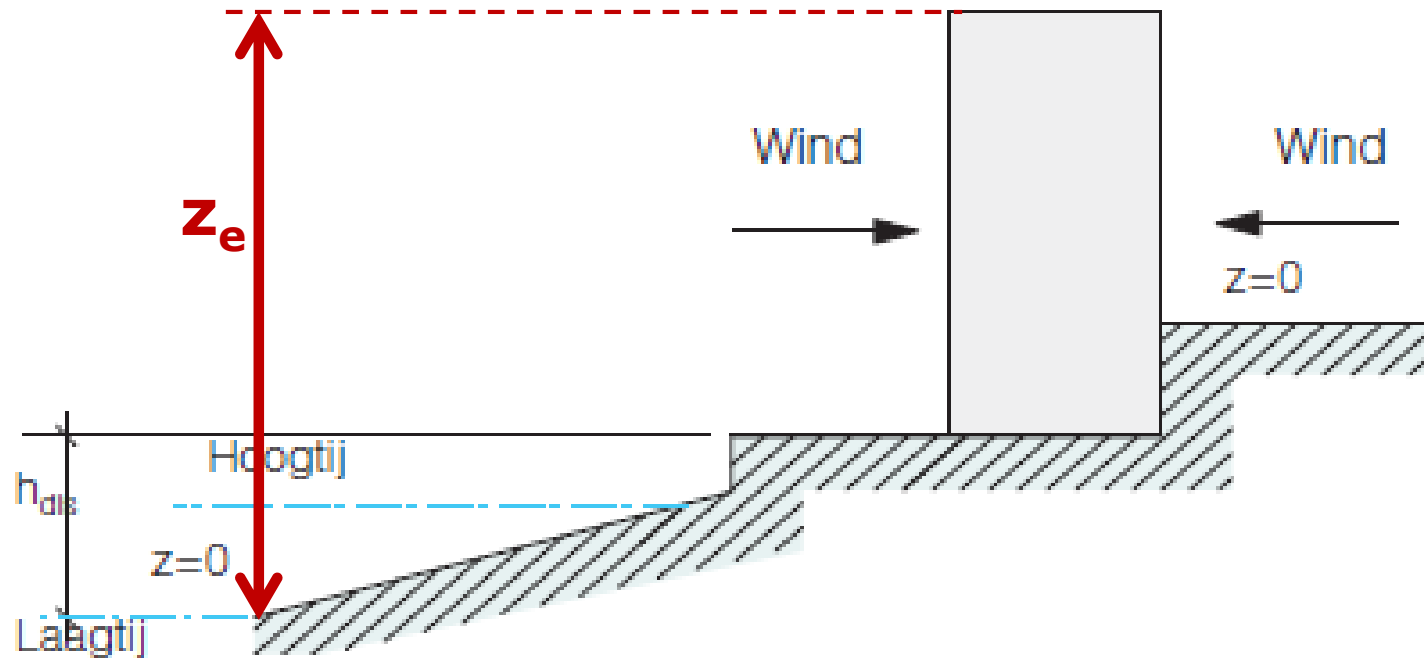
PEEMA 10/03/2011

Stap 2: Gebouwhoogte Z_e

Afb. A5-2
Referentie-
niveau $z = 0$
op een vlak
terrein.



Stap 2: Gebouwhoogte Z_e



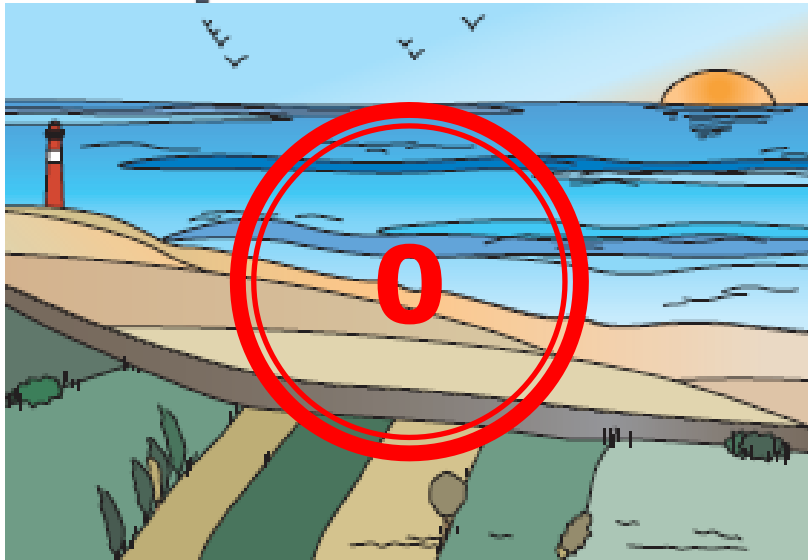
Afb. A5-4 Referentieniveau $z = 0$ in de kuststreek.

Persoonlijk voorstel: Veilige waarde voor z_e : TAW-peil voet gebouw + hoogte gebouw + 1m

Stappenplan bepaling windbelasting vereenvoudigde methode

1. Referentiewindsnelheid $v_{b,0}$ (26,25,24,23 m/s)
2. Gebouwhoogte z_e
3. Ruwheidscategorie van het terrein
(0,I,II,III,IV)

Stap 3: Ruwheidscategorie terrein



0: zee



I: vlakte



**II: landelijk
met bosjes**

Stap 3: Ruwheidscategorie terrein



III: voorstad of bos

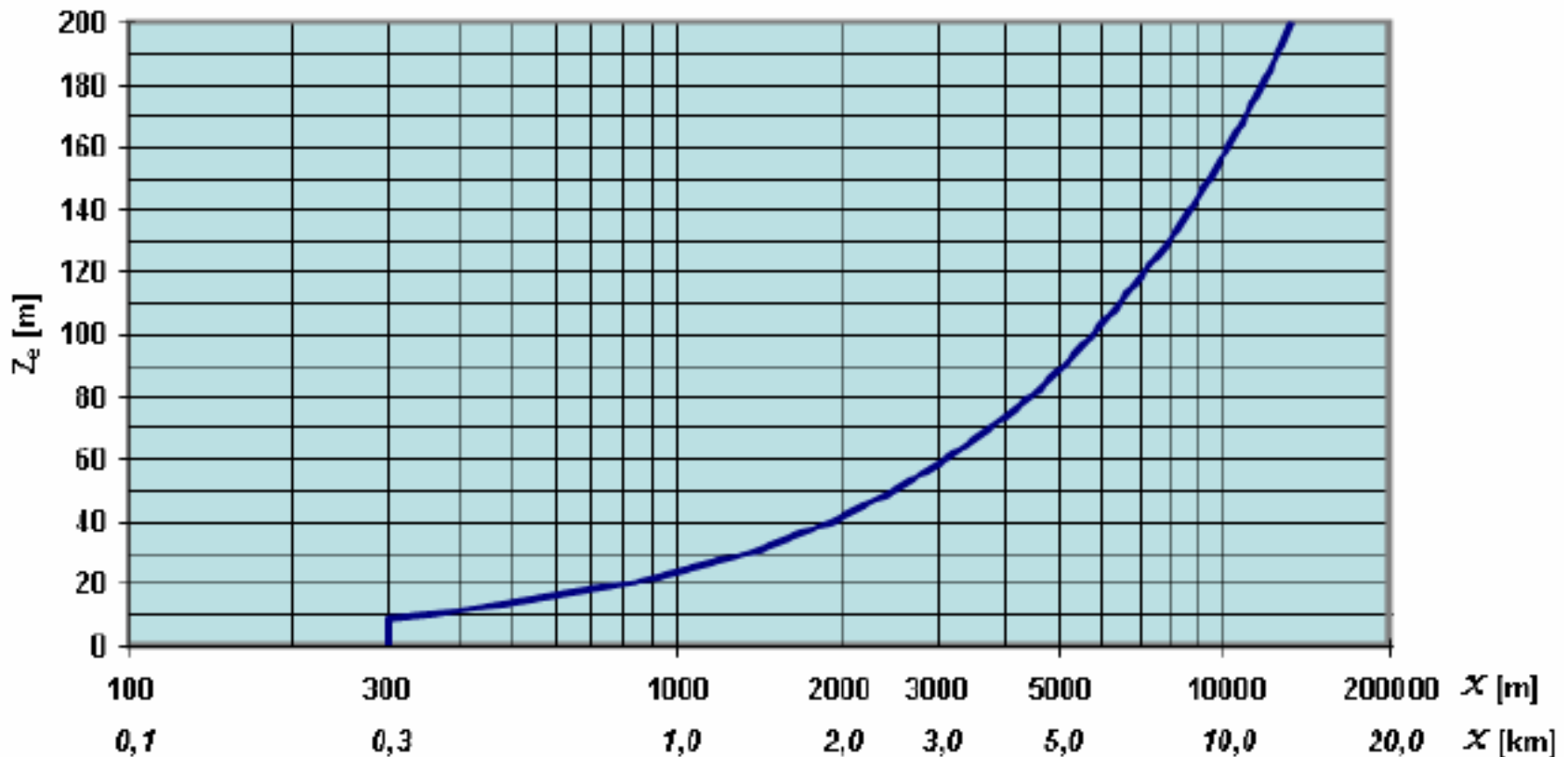


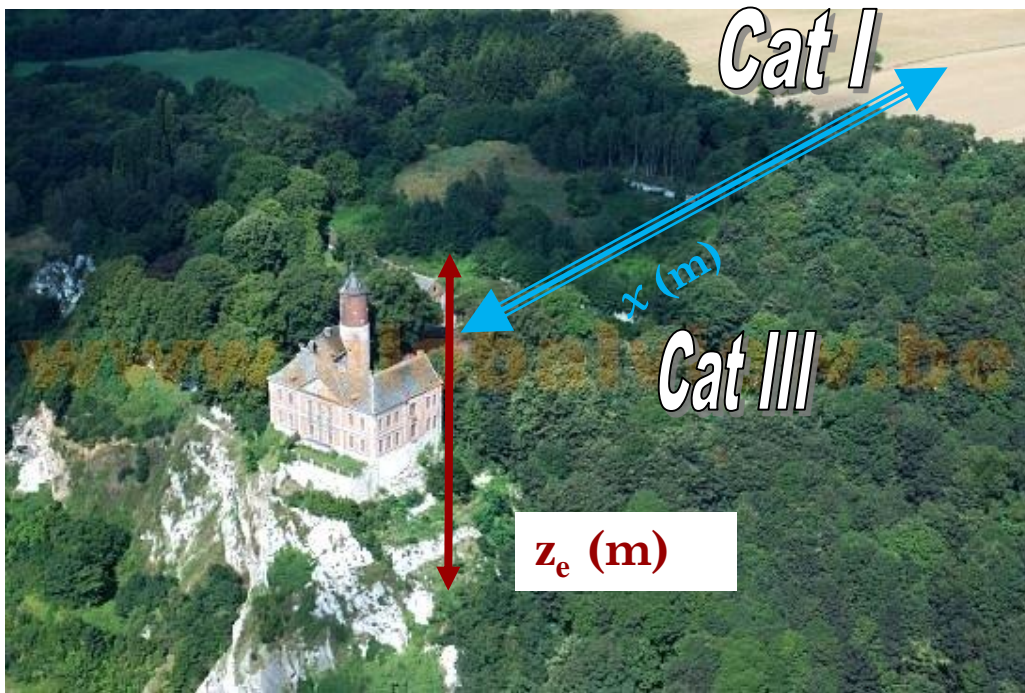
IV: stad

Stap 3: Ruwheidscategorie terrein

Afstand x waarover categorie moet nagegaan worden: $x = 23 \cdot z_e^{1,2}$, waarbij $x \geq 300$ m.

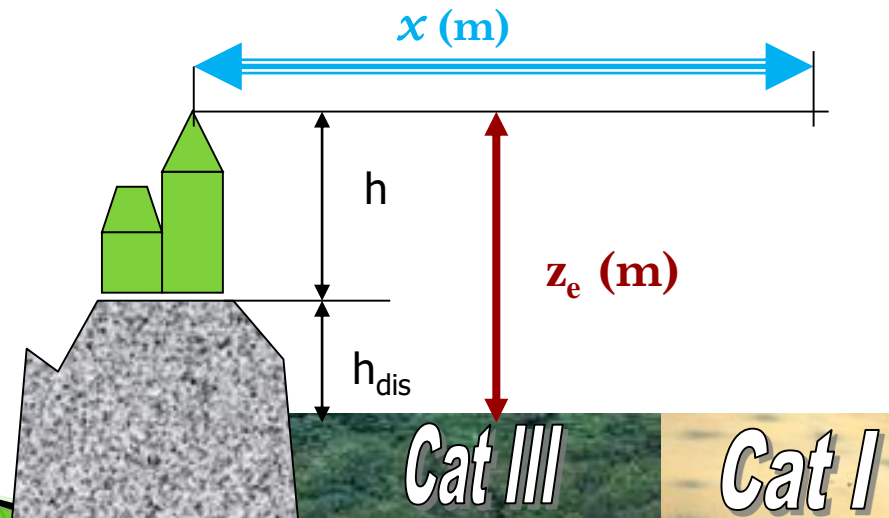
Straal van de hoeksector x





Rekening houden met de meest ongunstige ruwheidscategorie die zich op een afstand « x » bevindt van het gebouw

$$x = 23 \cdot z_e^{1,2} \text{ waarbij } x \geq 300 \text{ m}$$



z_e [meter]	x [meter]
5	300
7,5	300
10	365
12,5	476
15	593
17,5	713
20	837
22,5	965
25	1095
27,5	1227
30	1362



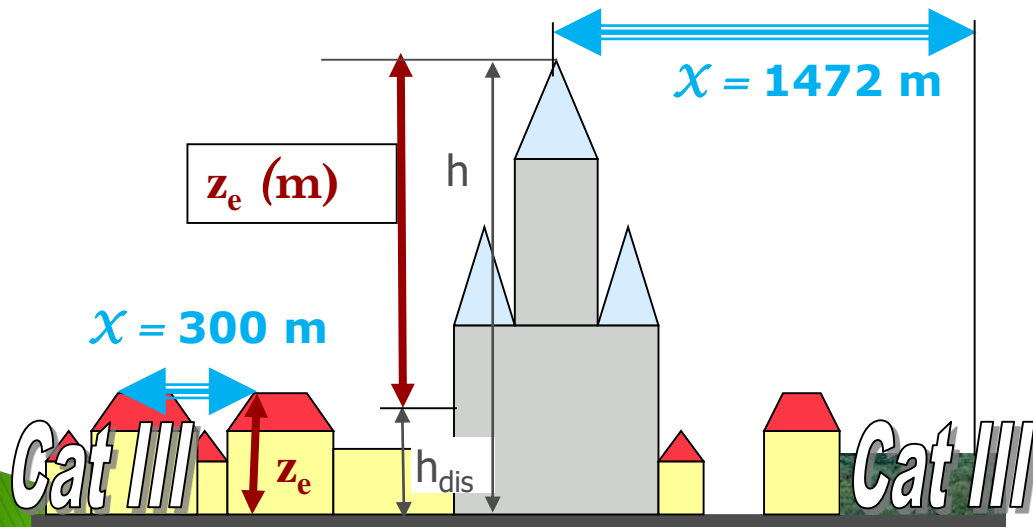
Stad met bos errond

Kleine gebouwen rond de kathedraal

$$z_e < 8\text{ m}$$

$$x = 300\text{ m}$$

Cat III type voorstad



Kathedraal

$$z_e = 40\text{ m} - 8\text{ m} = 32\text{ m}$$

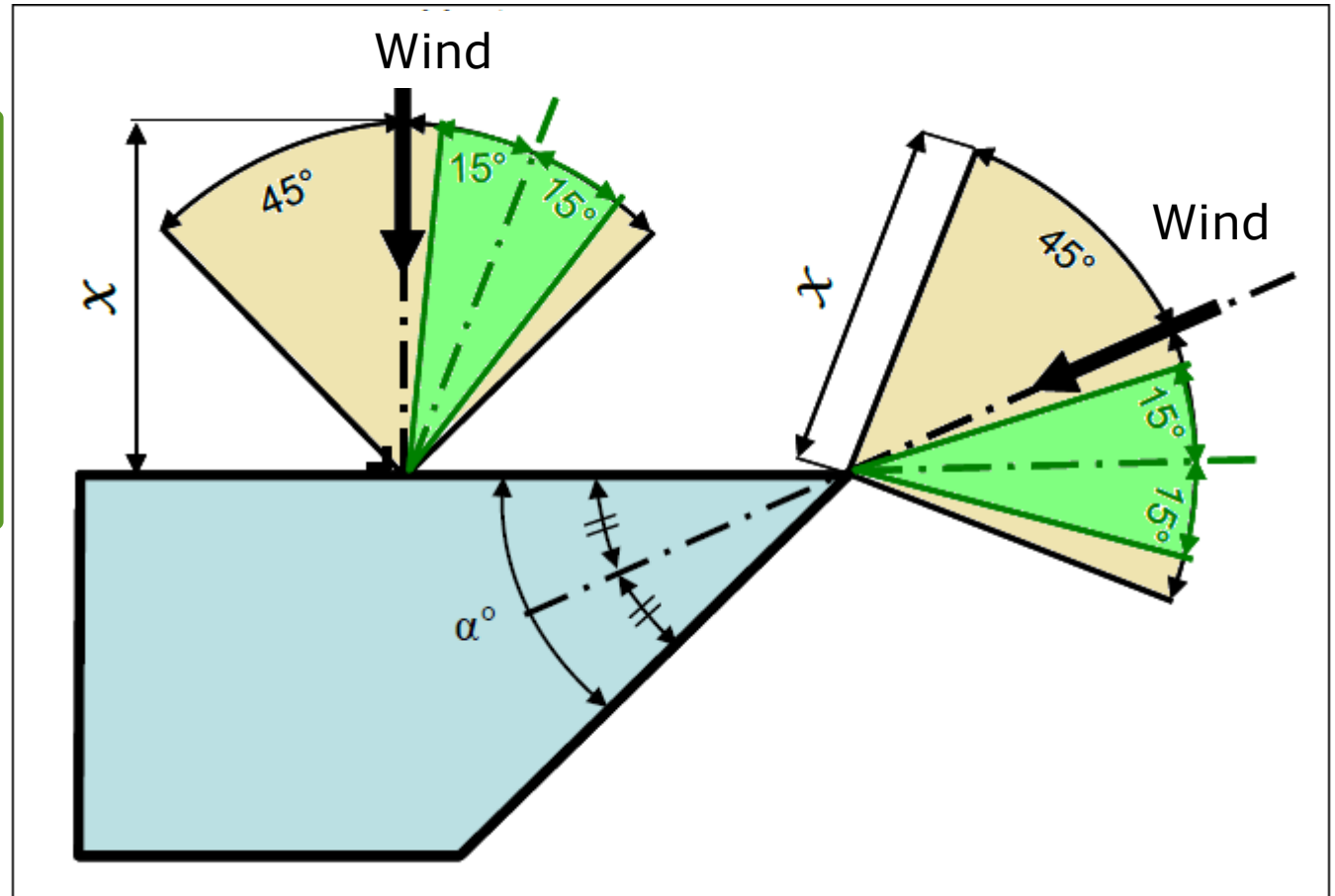
$$x = 1472\text{ m}$$

Cat III bos, woud

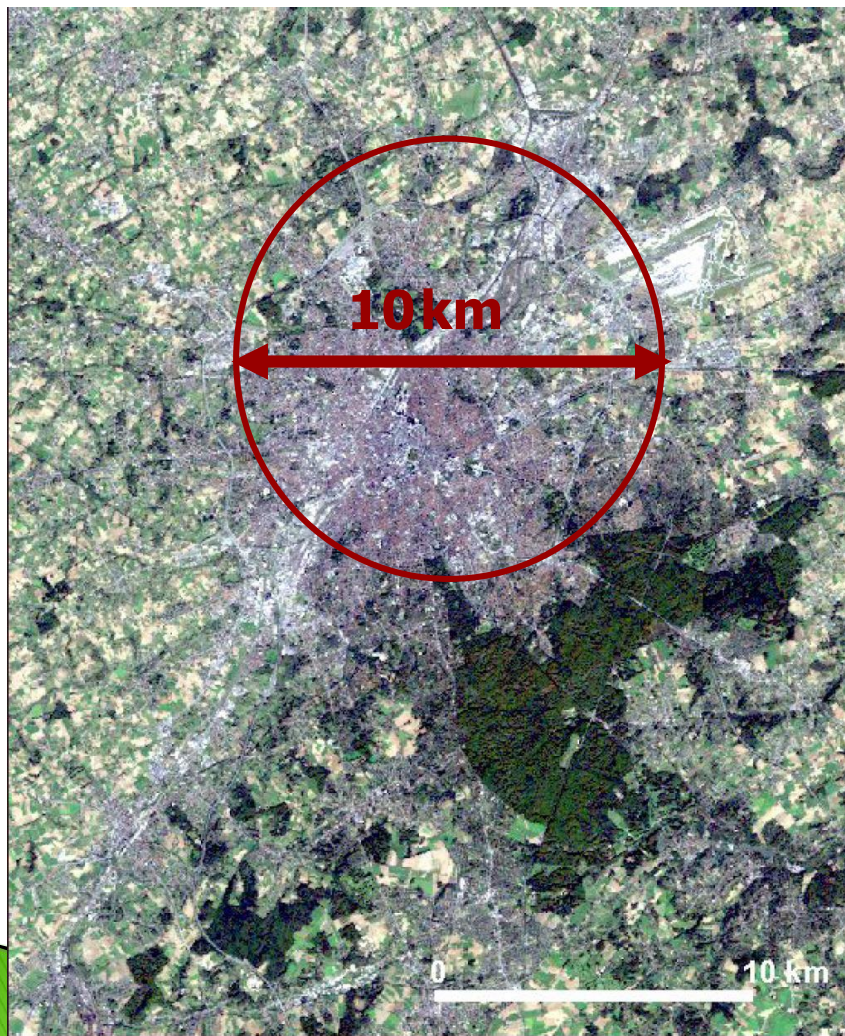
Stap 3: Ruwheidscategorie terrein

Hoeksector waarin categorie moet nagegaan worden

ongunstigste gebied met minstens 10% oppervlakte van hoeksector 30°



Opmerking 1: Ruwheidscategorie IV!



Categorie IV : de hoeksector van 30° omvat een stadszone waarvan minstens 15% van de oppervlakte bestaat uit gebouwen met een gemiddelde hoogte hoger dan 15 m.

Opgelet!

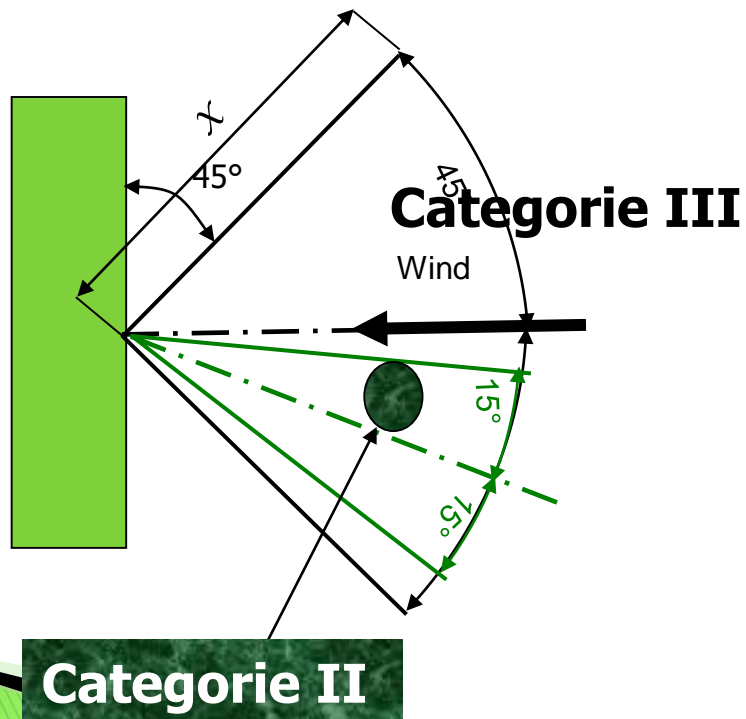
In België zijn dus bijna geen steden of gebieden met ruwheidscategorie IV (behalve Brussel)

Meeste Belgische « steden » zijn ruwheidscategorie III

Brussel

Opmerking 2: 10% regel

Meest ongunstige categorie moet minstens 10% van de oppervlakte van de hoeksector van 30° met straal x beslaan. Dan heeft wind voldoende oppervlakte om te versnellen.

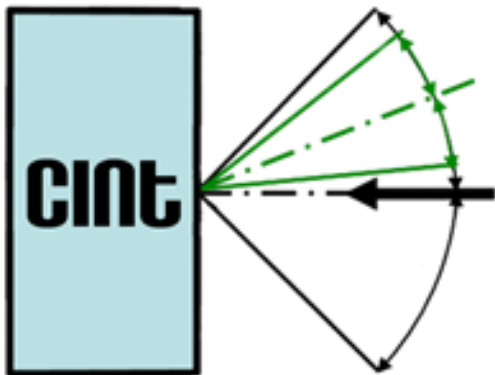


Maar: is dit nazicht wel mogelijk in de praktijk?

Cint-TOOL WTCB

Hulptool WTCB

<https://www.wtcb.be/homepage/index.cfm?cat=tools&sub=calculator&pag=cint>



Parameters FR

Adres :

Hoogte (z_e) : [m]

Afstand (x) : [m]

v1.1 [Terug naar NA Eurocodes](#)

Rekentool WTCB

Rekentool WTCB voor eenvoudige gevallen



http://www.bbri.be/antenne_norm/eurocodes/nl/modules.html

Wind Interactive : WInt

Wind Interactive : WInt

?-NL ?-FR

Fundamental basic wind velocity : $v_{b,0}$ Peak velocity pressure : $q_p(h)$
 25 [m/s] 919 [N/m²]

Terrain Category
 II

Wind Direction
 90°

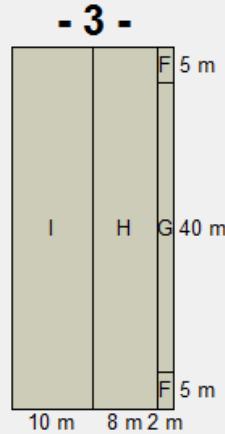
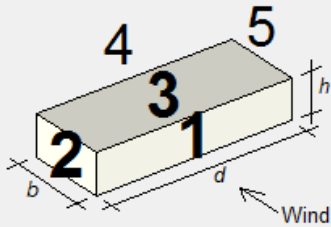
Building dimensions

b : 20 [m]
 d : 50 [m]
 h : 10 [m]
 h_{dis} : 0 [m]

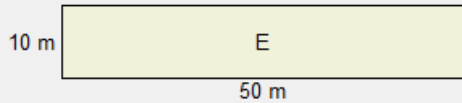
Roof : Number of slopes
 0

Roof : Angle of slopes
 - [deg.]

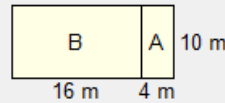
Version : 1.2.7



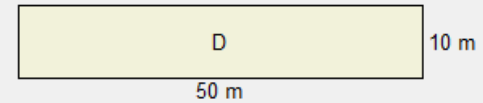
- 4 -



- 2 - (5)



- 1 -



Results

Mean on Faces		Local Pressure		
		Loaded area		
		10 m ²		
<input type="checkbox"/>	Suction [N/m ²]	Pressure [N/m ²]	Suction [N/m ²]	Pressure [N/m ²]
-1-		949	A : -1286	
-2-	-992		B : -919	
-4-	-521		D : 949	
-3-	-654	230	E : -521	
			F : -1838	
			G : -1286	
			H : -827	
			I : -368	459

Show pressure coefficients instead of pressures

Hypotheses : $c_{dir} = 1$; $c_{season} = 1$; $c_o(z) = 1$; $c_s c_d = 1$.

Opmerkingen bij rekentool

- ▶ Stemt niet overeen met benadering plat dak zoals vastgelegd in TV239.
- ▶ Terugkeerperiode 50 jaar.
- ▶ $c_{pi} = -0,3$ of $+0,2$
- ▶ Houdt geen rekening met eventuele opstandhoogte.
- ▶ Afmetingen zones zijn OK voor opstandhoogte "0" of onbekend.
- ▶ **Weinig nut voor berekening plat dak**

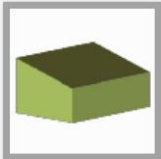
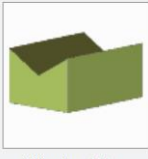
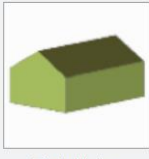
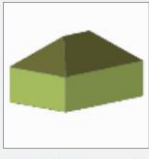

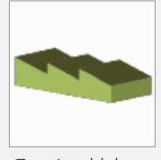
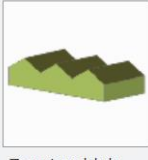
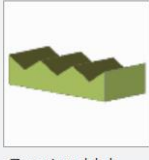



Wat bestaat er nog op www?

- ▶ Rekentool Wienerberger: hellende daken

<http://verankering.koramic.com/nl/keuze-daktype.aspx/>

Keuze daktype Keuze dakpan Ingave afmetingen Keuze ruwheidscategorie van het terrein Resultaat

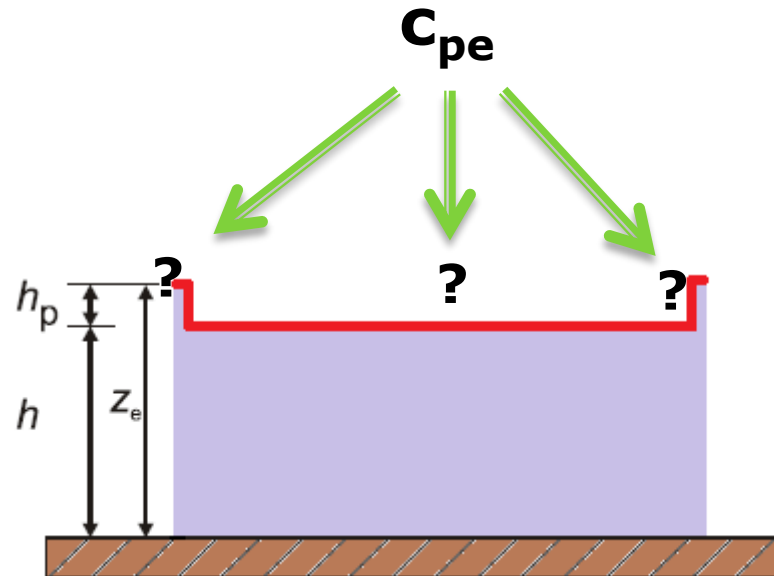
1. Kies het daktype dat u wenst te gebruiken.

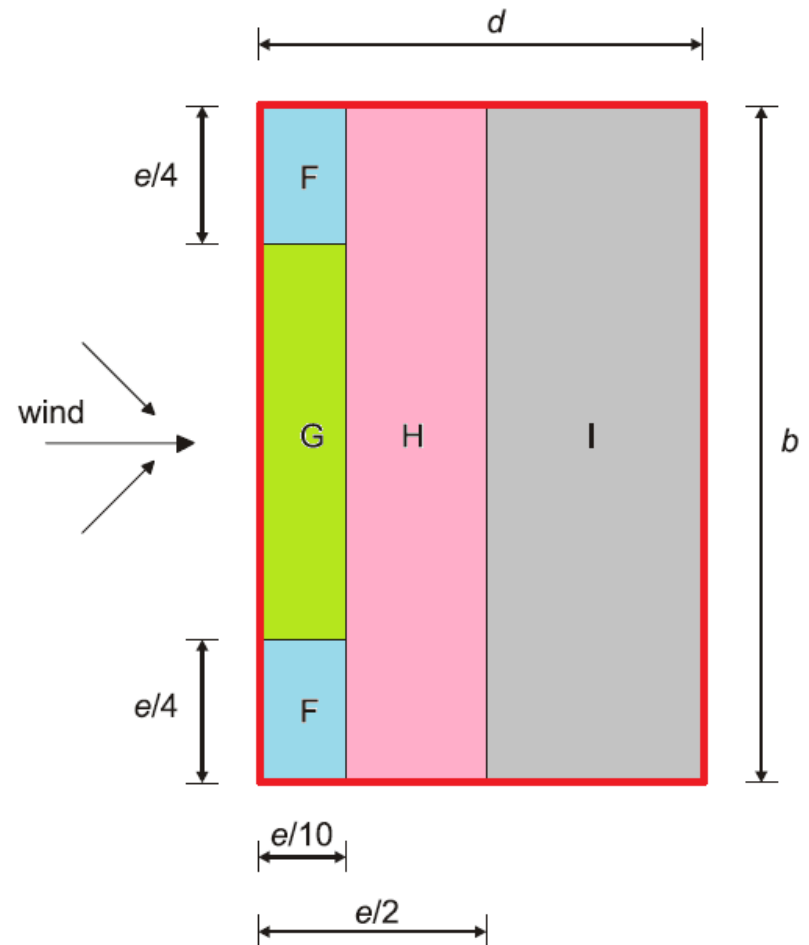
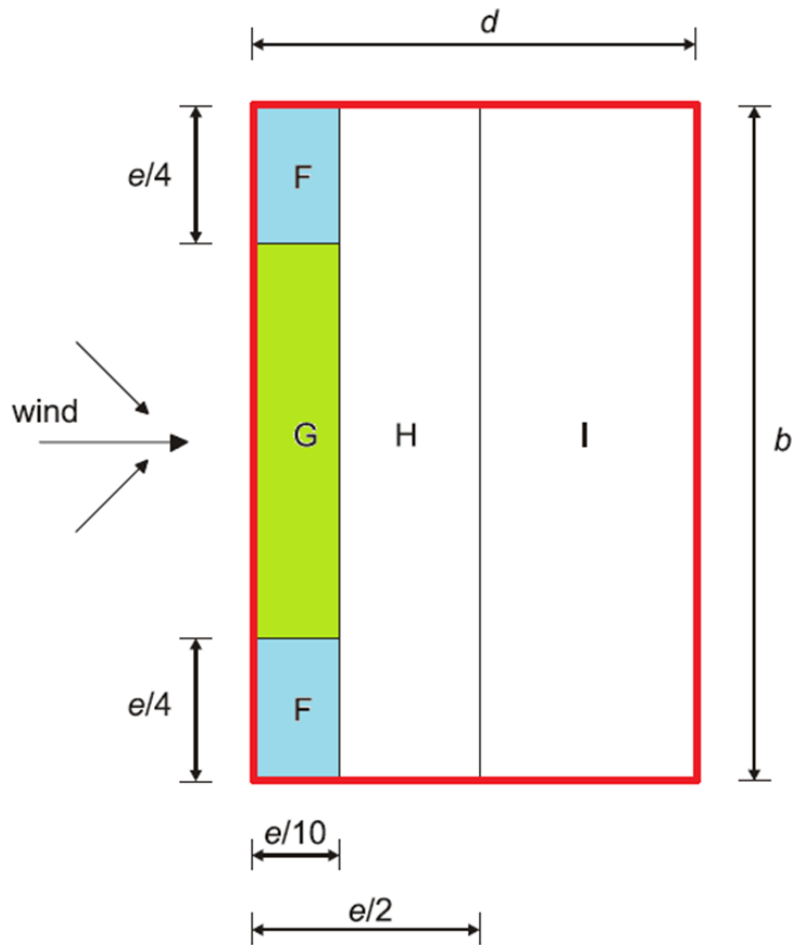
				
Lessenaarsdak	Vlinderdak	Zadeldak	Noordbomen- of piramidedak	Boogdak
				
Zaagtanddak - type a	Zaagtanddak - type b	Zaagtanddak - type c		
				
Open luifel met lessenaarsdak	Open luifel met zadeldak	Open luifel met vlinderdak		

Windbelasting op daken

1. Algemeen – wind op een gebouw
2. Windbelasting op het dak bepalen
3. **Windbelasting platte daken(TV 239 bijlage 5)**
4. Windbelasting hellende daken (TV 240)
5. De toekomst

Voobeeld: c_{pe} voor plat dak





$$e = \min(2h ; b)$$

b: afmeting loodrecht op windrichting

h: hoogte dakvlak

Bron: NBN EN 1991-1-4 2005

Table 7.2 — External pressure coefficients for flat roofs

Roof type		Zone							
		F		G		H		I	
		$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$	$C_{pe,10}$	$C_{pe,1}$
Sharp eaves		-1,8	-2,5	-1,2	-2,0	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
With Parapets	$h_p/h=0,025$	-1,6	-2,2	-1,1	-1,8	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
	$h_p/h=0,05$	-1,4	-2,0	-0,9	-1,6	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2
	$h_p/h=0,10$	-1,2	-1,8	-0,8	-1,4	-0,7	-1,2	+0,2	-0,2
								+0,2	-0,2

$C_{pe,10}$: het element waarop winddruk inwerkt $\geq 10\text{m}^2$

(vb: TT-welfsel 2,4 m x 12 m)

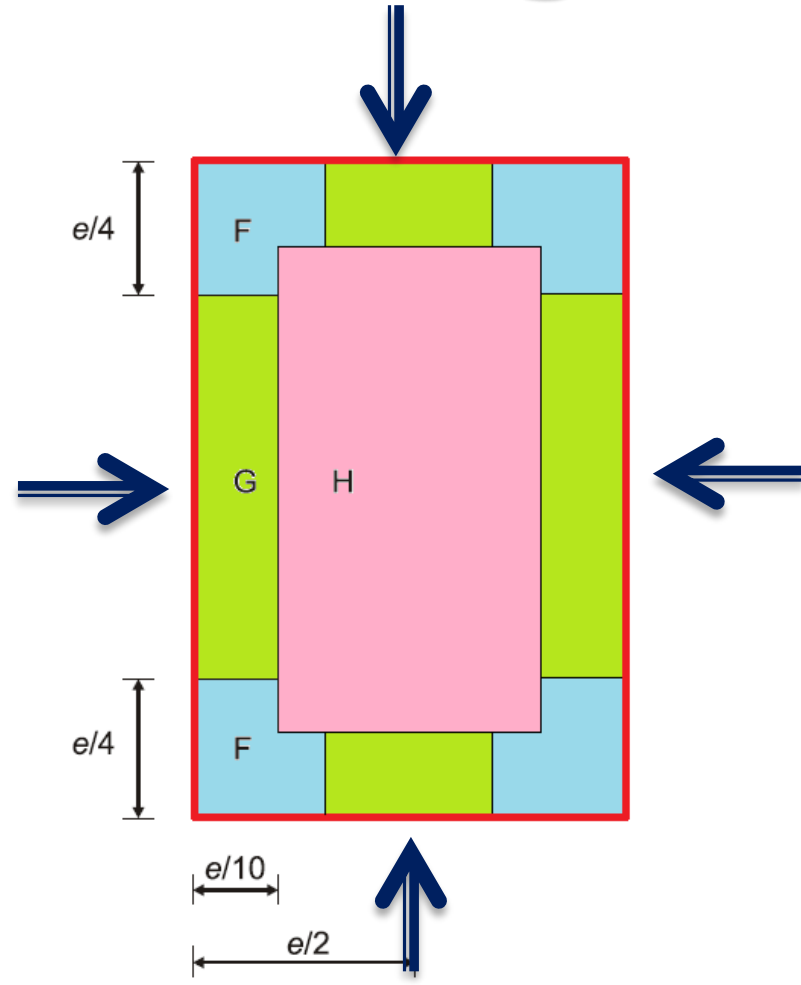
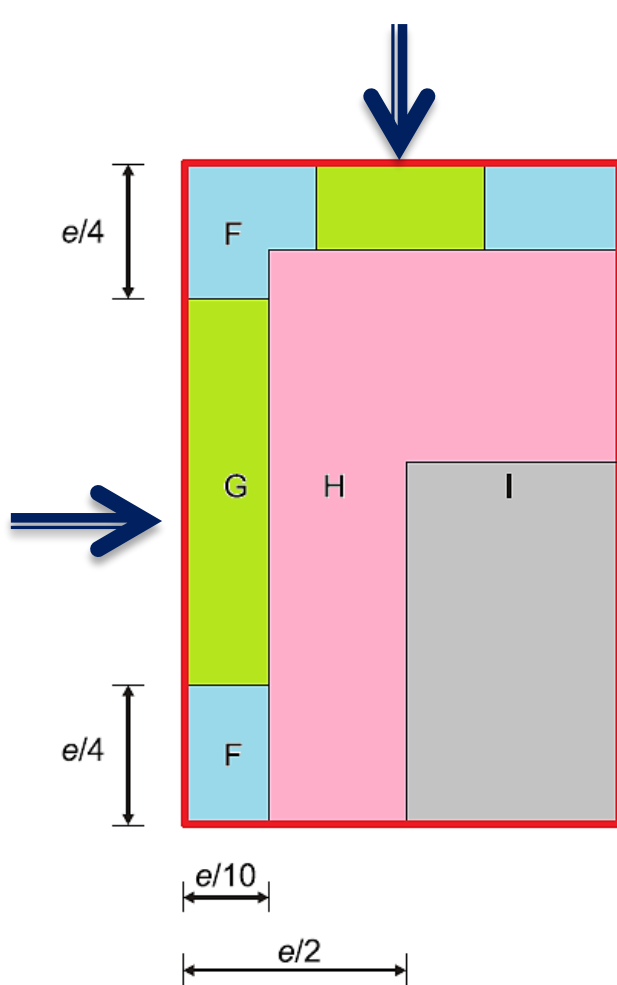
$C_{pe,1}$: het element waarop winddruk inwerkt $\leq 1\text{m}^2$

(vb: tegel 30 cm x 30 cm, dakafdichting)

Tussenin ($10\text{ m}^2 < A < 1\text{ m}^2$) logaritmische interpolatie

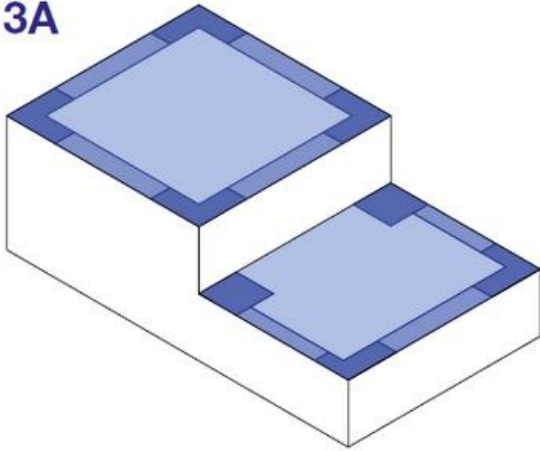
Bron: NBN EN 1991-1-4 2005

Voor de 4 windrichtingen

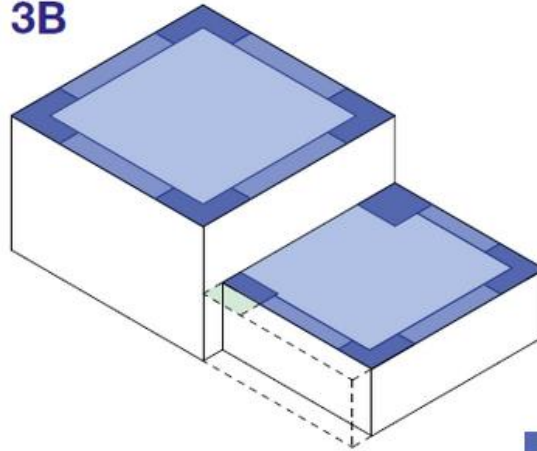


WTCB-dossier 2016/2.5

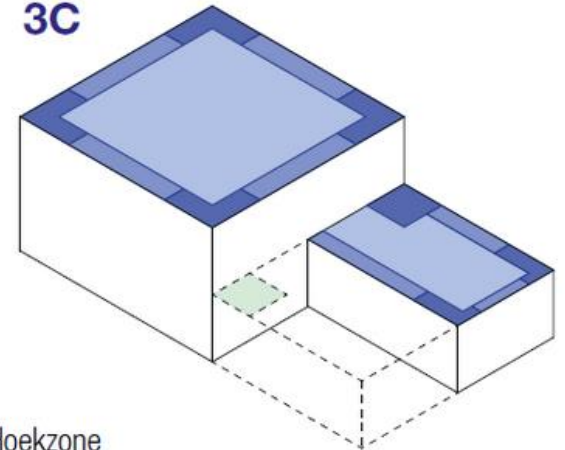
3A



3B



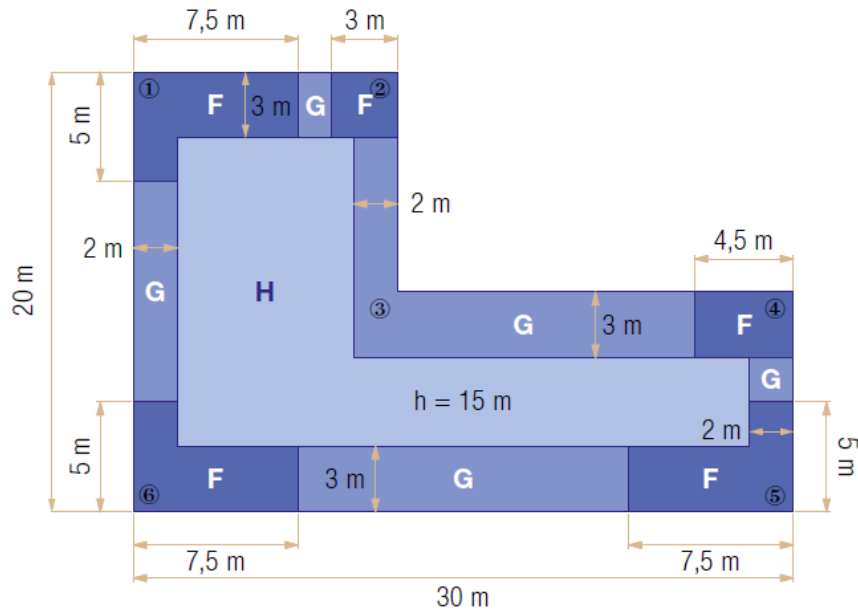
3C



- Hoekzone
- Randzone
- Middenzone

3 | L-vormige gebouwen met verschillende niveaus

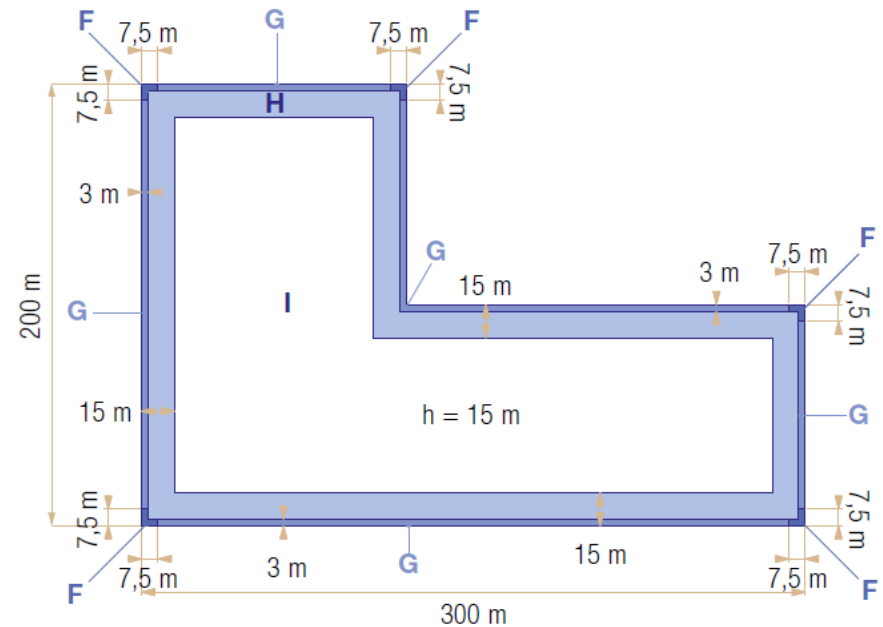
L-vormig gebouw



13 | Afmetingen van de hoekzones en de randzones op een L-vormig dak van 20 m x 30 m.

Dak: 20 m x 30 m

Bron: WTCB Dossier 2016/2.5



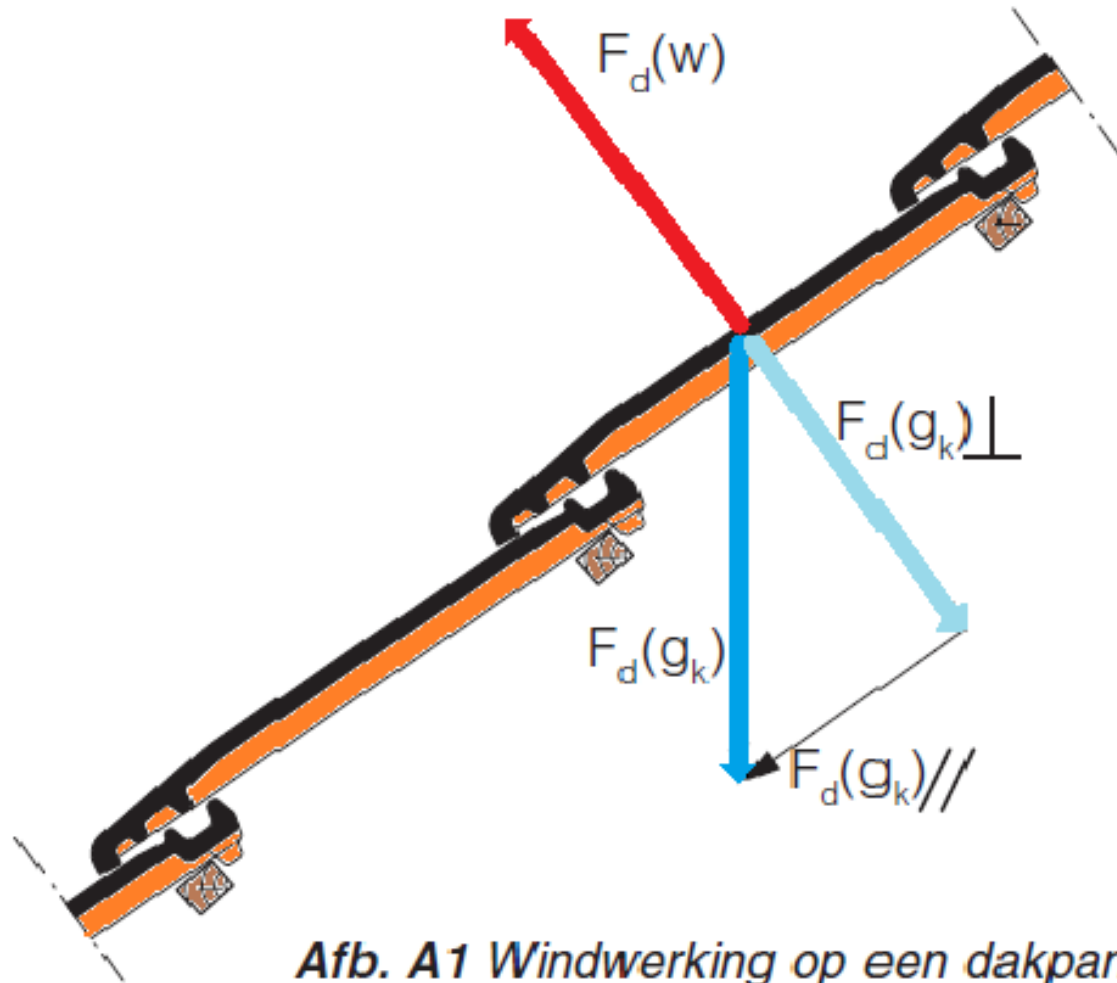
14 | Afmetingen van de zones op een L-vormig dak van 200 m x 300 m (niet op schaal).

Dak: 200 m x 300 m

Windbelasting op daken

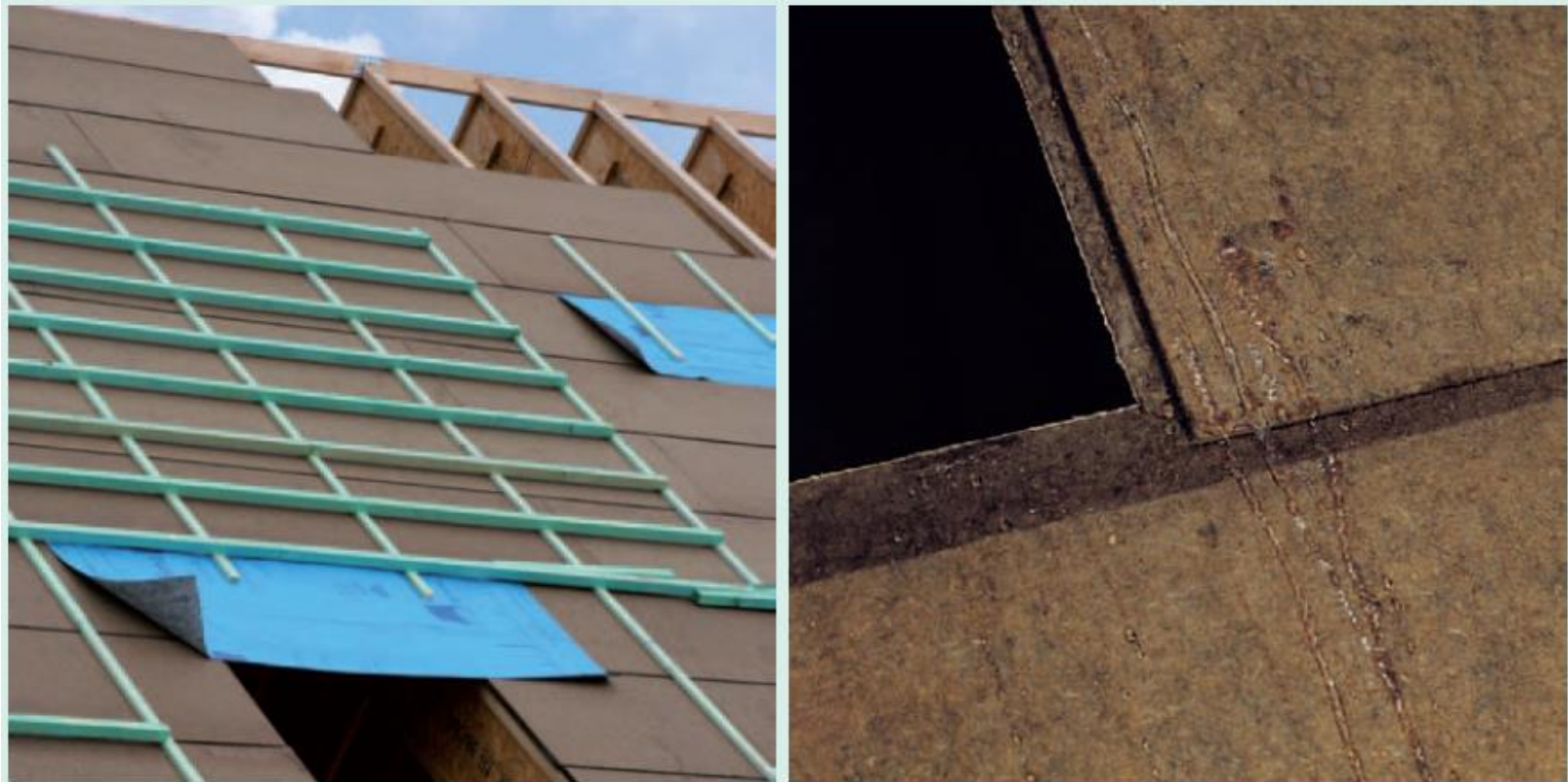
1. Algemeen – wind op een gebouw
2. Windbelasting op het dak bepalen
3. Windbelasting platte daken(TV 239 bijlage 5)
4. **Windbelasting hellende daken (TV 240)**
5. De toekomst

Helling van het dak: massa van de pan



Afb. A1 Windwerking op een dakpan.

Winddicht = onderdak



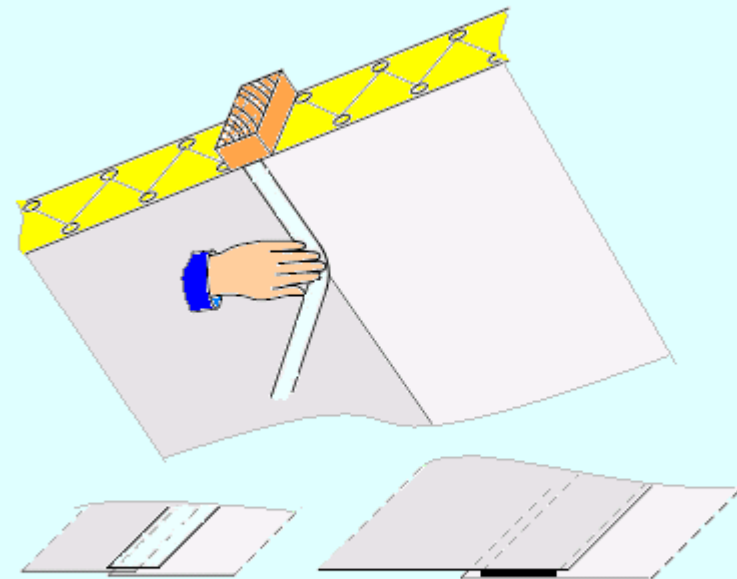
Afb. 9 Voorbeeld van een onderdak met houtvezelpanelen. Links, zicht op het dakschild tijdens de plaatsing. Rechts, detail van een horizontale voeg.

Luchtdicht = lucht / dampscherm

Aanbrengen van het lucht-/dampscherm.



VASTNIETEN








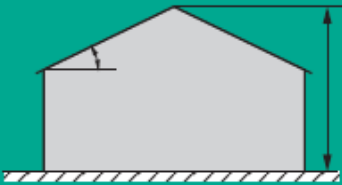
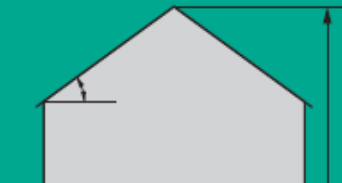
tape

dubbelzijdige kleefstrip






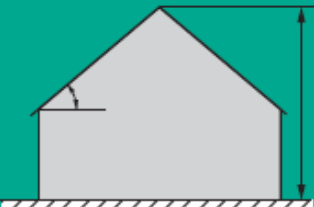
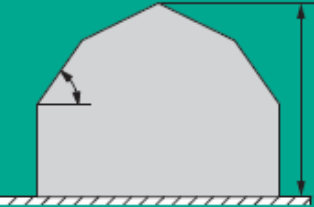
AFKLEVEN

Wtcb: TV 202





Tabel 7 Vereenvoudigde bepaling van de bevestigingen per pan op daken met twee dakschilden. Beginhypothesen : winddichte dakopbouw, oppervlaktemassa dakbedekking $\geq 37,5 \text{ kg/m}^2$, de nokpannen en de pannen rondom obstakels worden steeds bevestigd.

HELLING VAN DE DAKPAN	Ruwheidscategorie van het terrein (1)							
	CATEGORIE IV		CATEGORIE III		CATEGORIE II		CATEGORIEËN I EN 0	
								
Nokhoogte $\leq 15 \text{ m}$	Middenzone	Randzone (1)	Middenzone	Randzone (1)	Middenzone	Randzone (1)	Middenzone	Randzone (1)
 $10^\circ < \alpha \leq 30^\circ$	Geen bevestiging	1 pan op 4 bevestigingen (2)	1 pan op 4 bevestigingen (2)	1 pan op 2 bevestigingen (2)	1 pan op 2 bevestigingen (2)	Alle pannen bevestigen		
 $30^\circ < \alpha \leq 45^\circ$	Geen bevestiging	1 pan op 2 bevestigingen (2)	1 pan op 4 bevestigingen (2)	Alle pannen bevestigen (2)	1 pan op 2 bevestigingen (2)	Alle pannen bevestigen	Alle pannen bevestigen (1 bevestiging per pan)	

Tabel 7 Vereenvoudigde bepaling van de bevestigingen per pan op daken met twee dakschilden. Beginhypothesen : winddichte dakopbouw, oppervlaktemassa dakbedekking $\geq 37,5 \text{ kg/m}^2$, de nokpannen en de pannen rondom obstakels worden steeds bevestigd.

HELLING VAN DE DAKPAN	Ruwheids categorie van het terrein (¹)								
	CATEGORIE IV		CATEGORIE III		CATEGORIE II		CATEGORIEËN I EN 0		
									
Nokhoogte $\leq 15 \text{ m}$	Middenzone	Randzone (¹)	Middenzone	Randzone (¹)	Middenzone	Randzone (¹)	Middenzone	Randzone (¹)	
 $45^\circ < \alpha \leq 60^\circ$	1 pan op 4 bevestigingen (²)	Alle pannen bevestigen	1 pan op 2 bevestigingen (²)	Alle pannen bevestigen	Alle pannen bevestigen		Alle pannen bevestigen (1 bevestiging per pan)		
 $60^\circ < \alpha \leq 75^\circ$	Alle pannen bevestigen (1 bevestiging per pan)								

Tabel 7 Vereenvoudigde bepaling van de bevestigingen per pan op daken met twee dakschilden. Beginhypothesen : winddichte dakopbouw, oppervlaktemassa dakbedekking $\geq 37,5 \text{ kg/m}^2$, de nokpannen en de pannen rondom obstakels worden steeds bevestigd.

HELLING VAN DE DAKPAN	Ruwheidscategorie van het terrein ⁽¹⁾							
	CATEGORIE IV		CATEGORIE III		CATEGORIE II		CATEGORIEËN I EN 0	
								
	Midden-zone	Rand-zone ⁽¹⁾	Midden-zone	Rand-zone ⁽¹⁾	Midden-zone	Rand-zone ⁽¹⁾	Midden-zone	Rand-zone ⁽¹⁾

Nokhoogte > 15 m	Alle pannen bevestigen (1 bevestiging per pan) of teruggrijpen naar de gedetailleerde methode uit de bijlage (p. 60)
Hellingen > 75° en gevelbekledingen	Alle pannen bevestigen. Het is aanbevolen om 2 bevestigingen per pan te voorzien : 1 nagel en 1 bevestigingshaak, 2 nagels, of 1 nagel en 1 schroef (geval van tegelpannen)
Omgeving van luchthavens (risico op laag over het dak overvliegende vliegtuigen)	

Opmerking : bijzondere gevallen zoals lage gebouwen in de buurt van hoge gebouwen of die opgetrokken werden op een heuvelachtig terrein vereisen een speciale studie van de windbelasting (volgens Eurocode 1 – NBN EN 1991-1-4) [B33].

⁽¹⁾ Voor de definitie van de ruwheidscategorieën en de afbakening van de randzones verwijzen we naar het kader op p. 25.

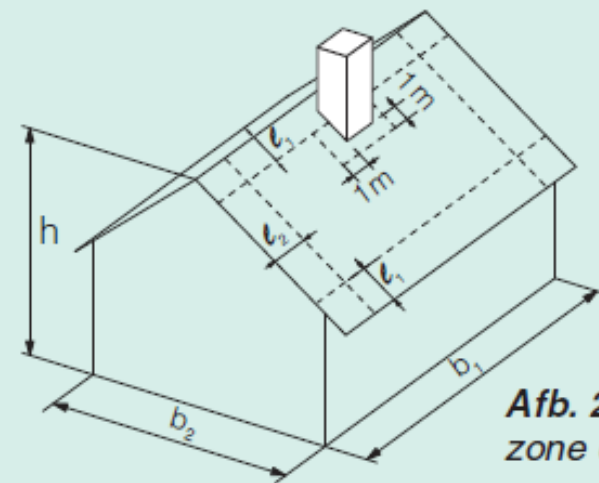
⁽²⁾ Het is aan de ontwerper om de verdeling van de bevestigingen te bepalen. Indien voorgesteld wordt om slechts een deel van de pannen te bevestigen, heeft de aannemer er baat bij om de bevestigingen zo gelijkmatig mogelijk te verdelen. Indien 1 pan op 4 moet bevestigd worden, kan hij de bevestigingen van de rij erboven met 2 pannen verschuiven. Indien 1 pan op 2 moet bevestigd worden, kan hij de bevestigingen van de rij erboven met 1 pan verschuiven.

Overzichtstabel eenvoudige methode

PEEMC 10/03/2011

Bevestiging dakpannen		categorie terreinruwheid						
h (nok)	dakhelling \hat{A}	IV		III		II		I en 0
(m)	($^{\circ}$)	midden	rand	midden	rand	midden	rand	overall
$\leq 15\text{m}$	$10^{\circ} < \hat{A} \leq 30^{\circ}$	0	1/4	1/4	1/2	1/2	1/1	1/1
	$30^{\circ} < \hat{A} \leq 45^{\circ}$	0	1/2	1/4	1/1	1/2	1/1	
	$45^{\circ} < \hat{A} \leq 60^{\circ}$	1/4	1/1	1/2	1/1	1/1		
	$60^{\circ} < \hat{A} \leq 75^{\circ}$	1/1						
	$75^{\circ} < \hat{A} \leq 90^{\circ}$							
$> 15\text{m}$	$60^{\circ} < \hat{A} \leq 75^{\circ}$	1/1						
	$75^{\circ} < \hat{A} \leq 90^{\circ}$	2/1						
luchthaven		2/1						

Randzones



Afb. 22A Middenzone en randzones.

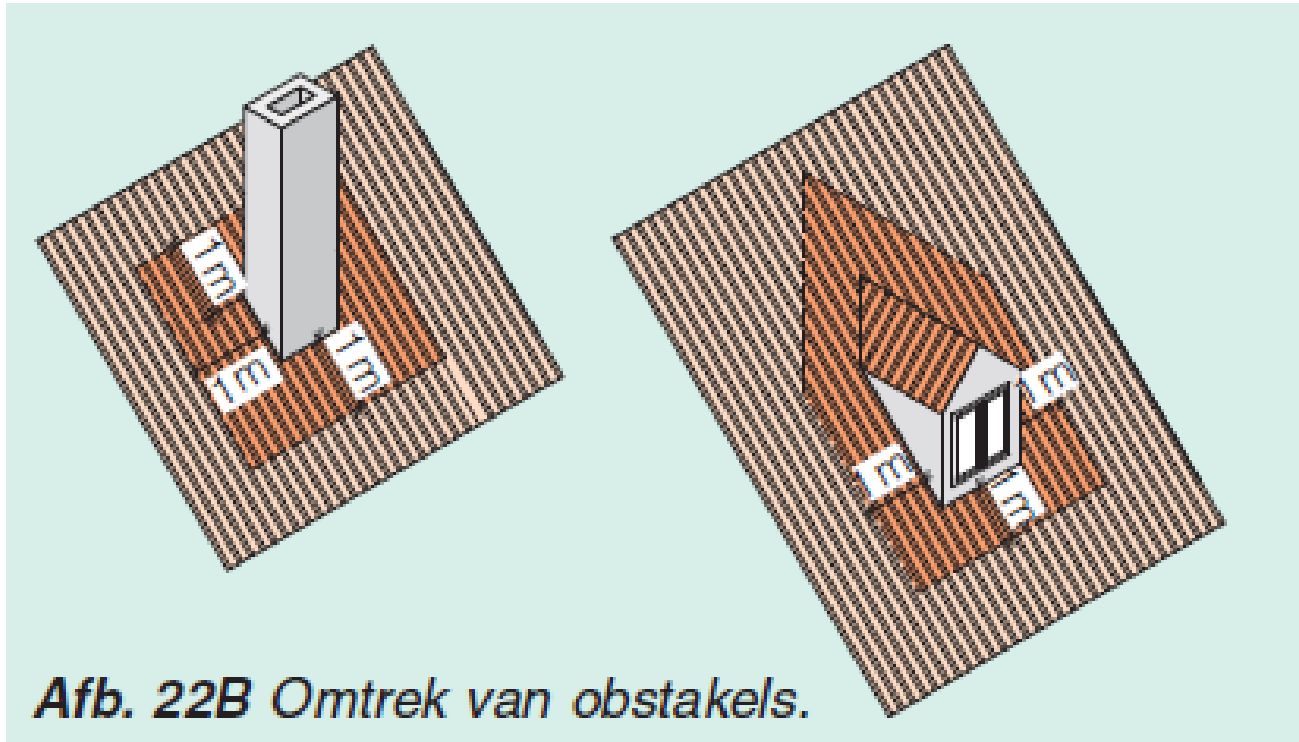
Indien $b_i < 2H$
dan is $l_i = b_i / 10$

Indien $b_i \geq 2H$
dan is $l_i = 2H / 10$

Breedte l_1 of l_2 van de randzones (onderrand, nokrand, zijrand) in meter.

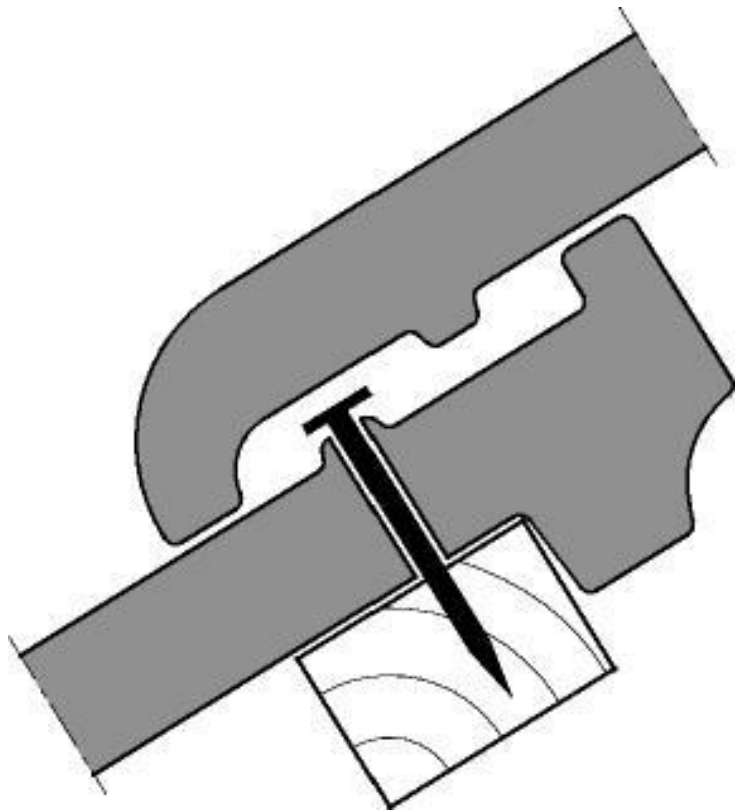
Breedte b_1 of lengte b_2 van het gebouw [m]	Nokhoogte h_f			
	3	6	9	12
5	0,5	0,5	0,5	0,5
6	0,6	0,6	0,6	0,6
7	0,6	0,7	0,7	0,7
8	0,6	0,8	0,8	0,8
9	0,6	0,9	0,9	0,9
10	0,6	1,0	1,0	1,0
11	0,6	1,1	1,1	1,1
12	0,6	1,2	1,2	1,2
13	0,6	1,2	1,3	1,3
14	0,6	1,2	1,4	1,4
15	0,6	1,2	1,5	1,5
16	0,6	1,2	1,6	1,6
17	0,6	1,2	1,7	1,7
18	0,6	1,2	1,8	1,8
19	0,6	1,2	1,8	1,9
20	0,6	1,2	1,8	2,0

Zone rond dakdoorbrekingen



Zone van 1m rondom **alle pannen** mechanisch bevestigd
(1x)

Hoe dakpan mechanisch bevestigen?



Afb. 23 Vernagelen of vastschroeven van de pannen.

Schroef of nagel

- koper
- RVS

Het verankeringsgat moet een toereikende speling tussen de nagel of schroef en de dakpan toelaten.

Hoe dakpan mechanisch bevestigen?



Afb. 24 Haak in de kopsluiting.

Voorbeeld kleidakpan



Afb. 25 Haak in de zijsluiting.

Voorbeeld betondakpan

Haken

- koper
- RVS
- galva

Hoe dakpan mechanisch bevestigen?

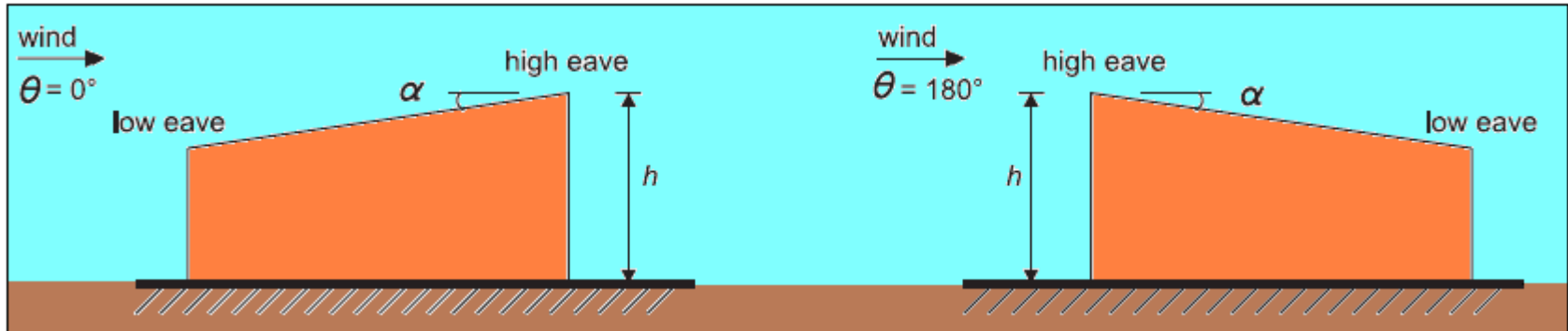
- ▶ **Vlakke sluitingspannen**
 - haken
 - schroeven met dichtingsring
- ▶ **Tegelpannen**
 - Meestal met nagels
- ▶ **Holle pannen**
 - Meestal met haken



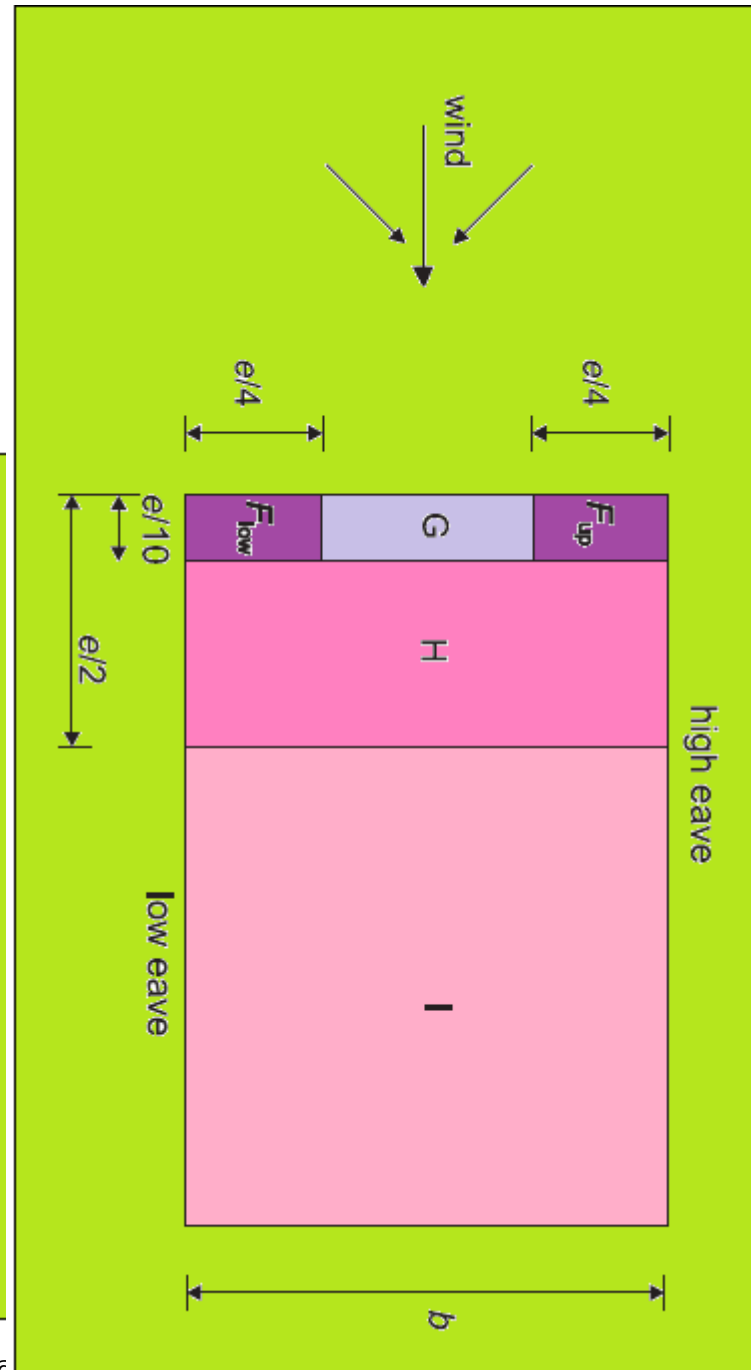
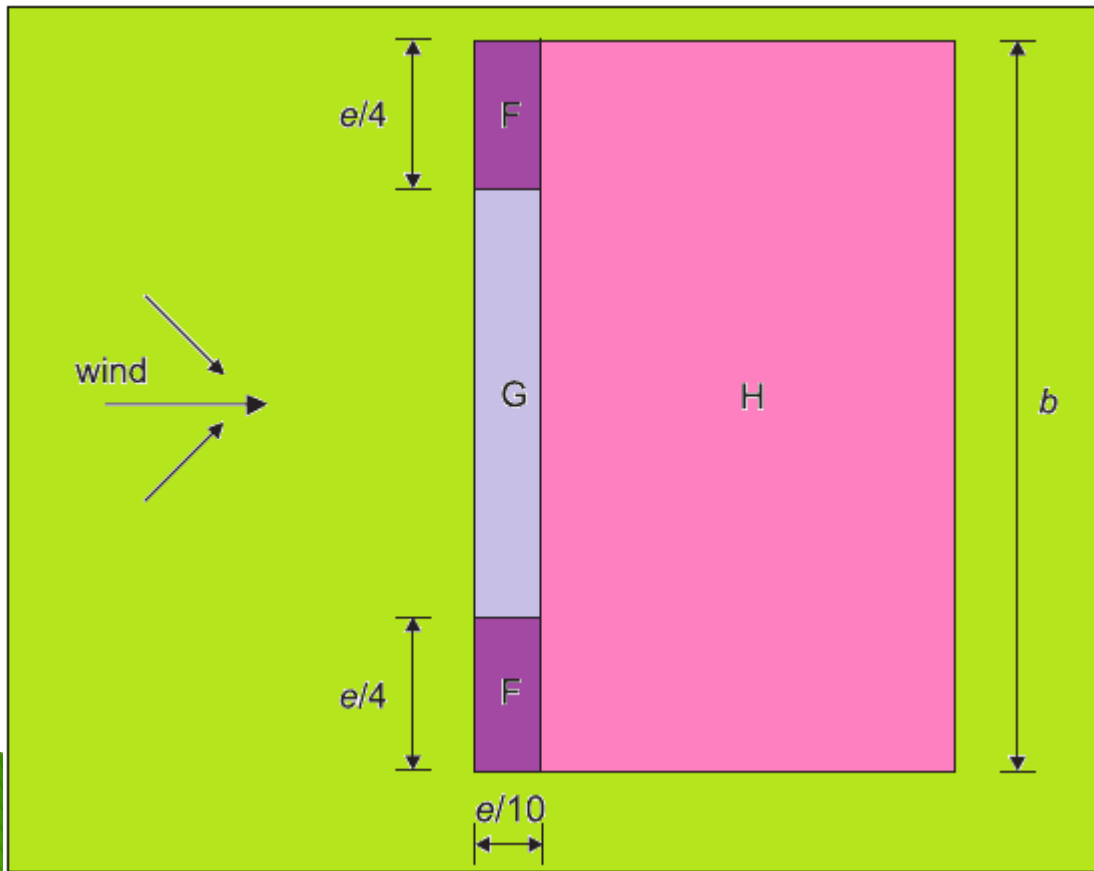
Afb. 1 Voorbeeld van de bevestiging met een haak en een schroef.

Voorbeeld kleipan verticaal (gevel)

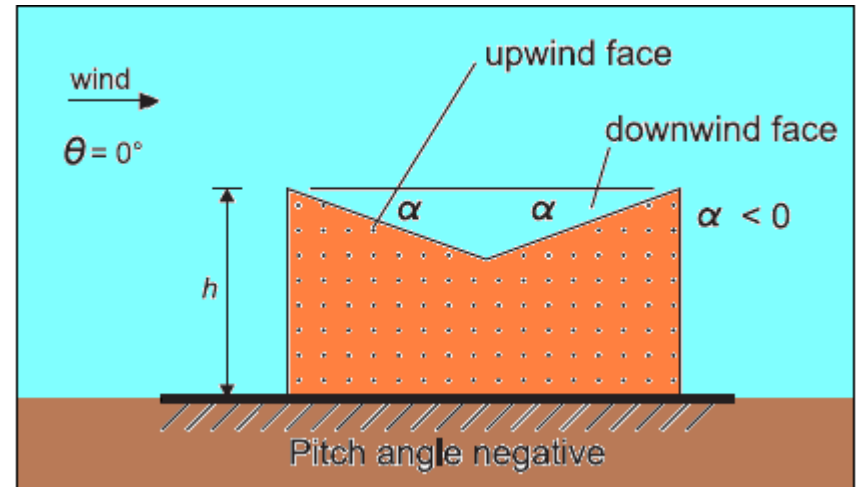
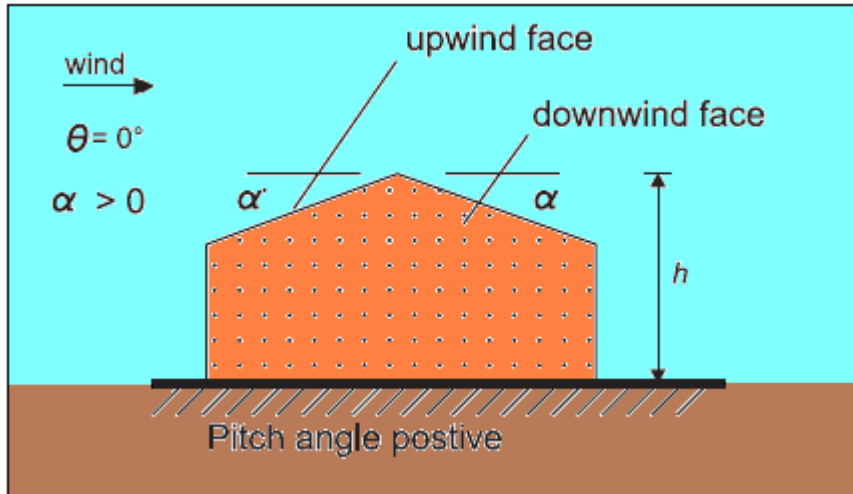
Lessenaardak

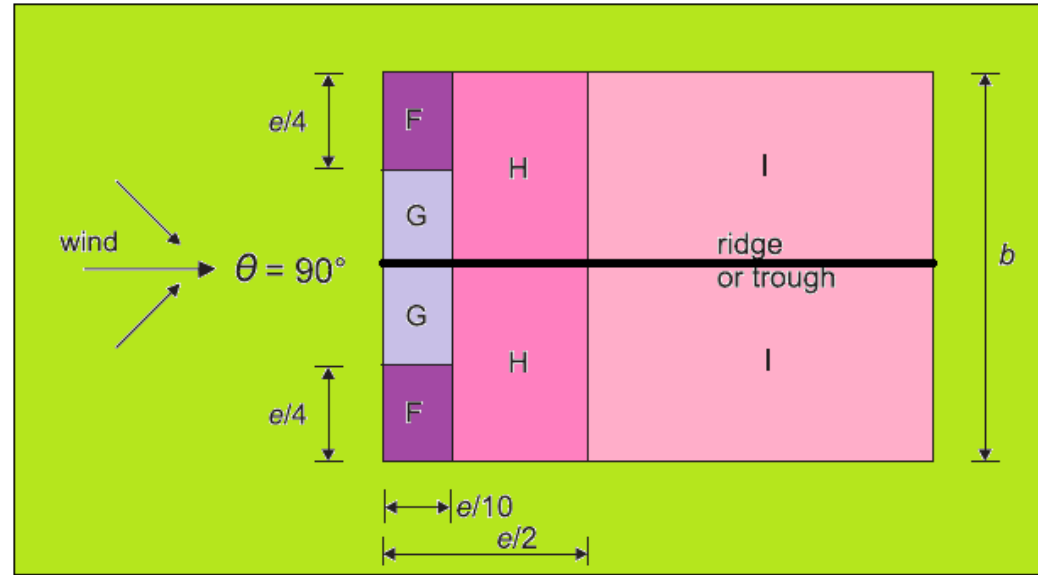
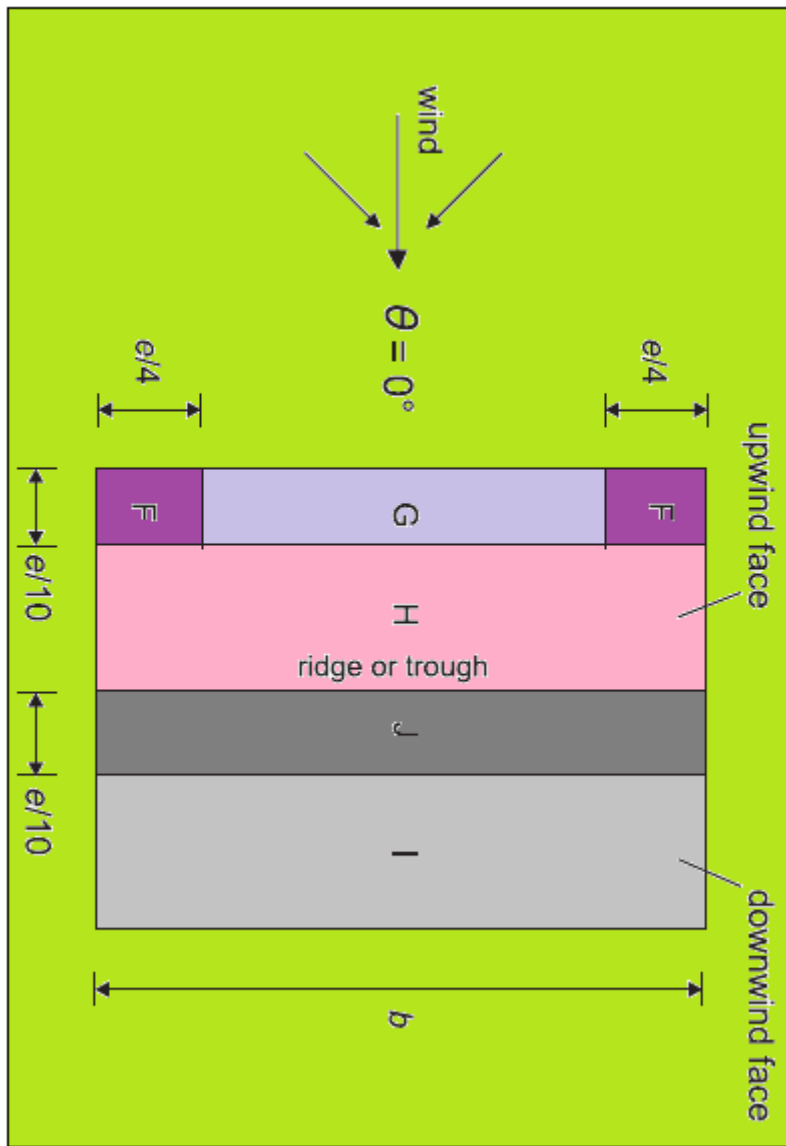


Lessenaardak

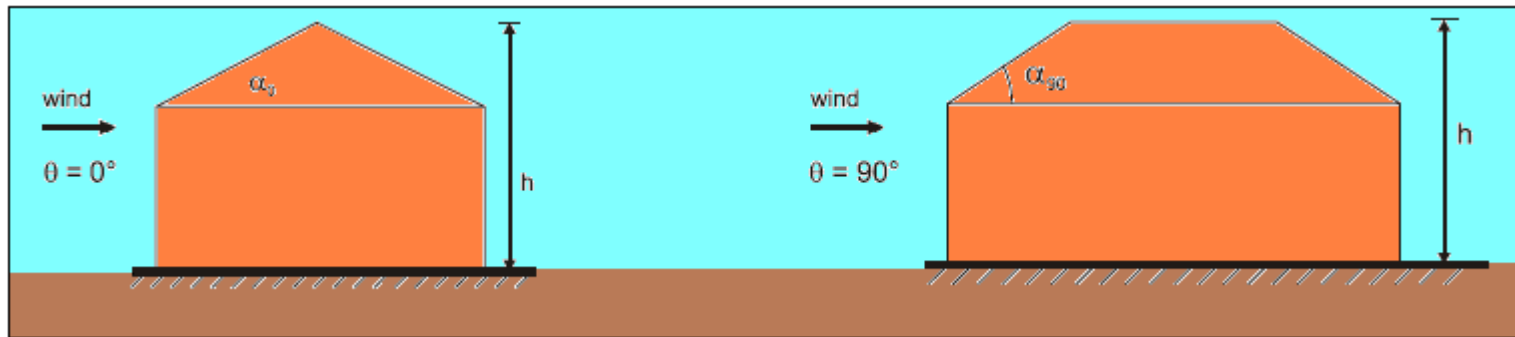


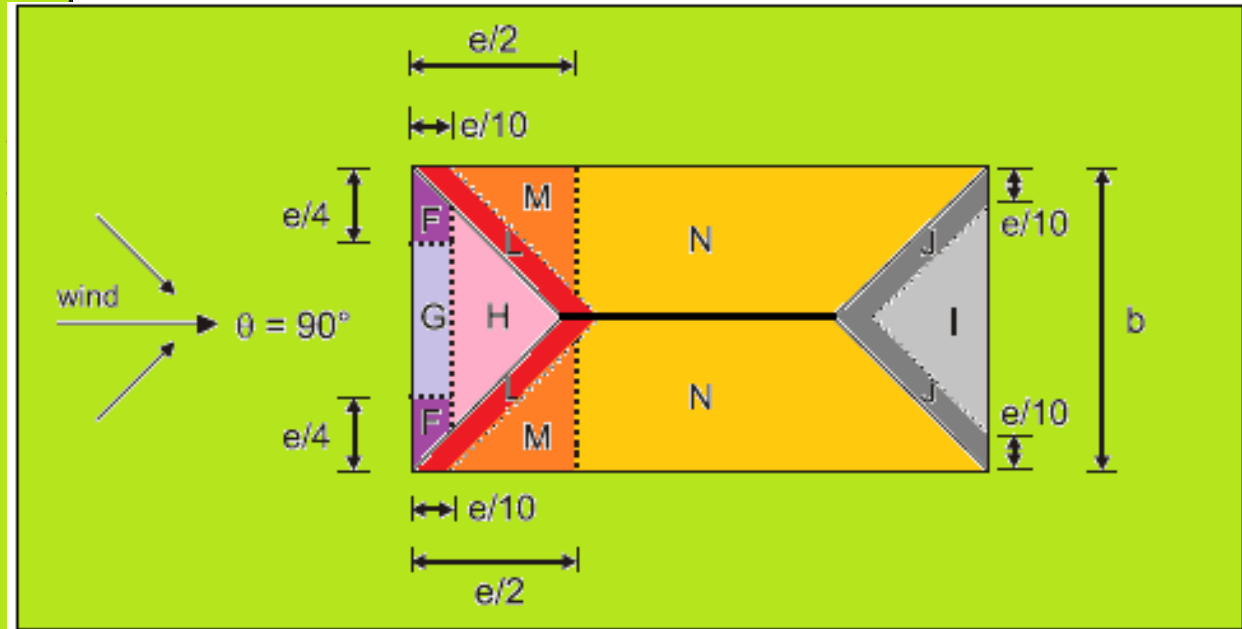
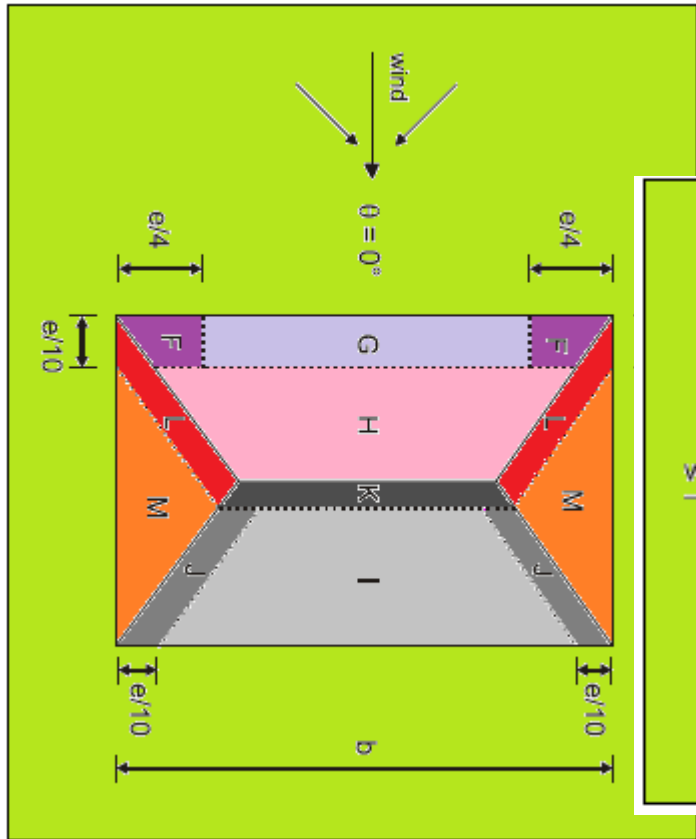
Zadeldak / vlinderdak





Schilddak





Pannen goed verankerd ...?



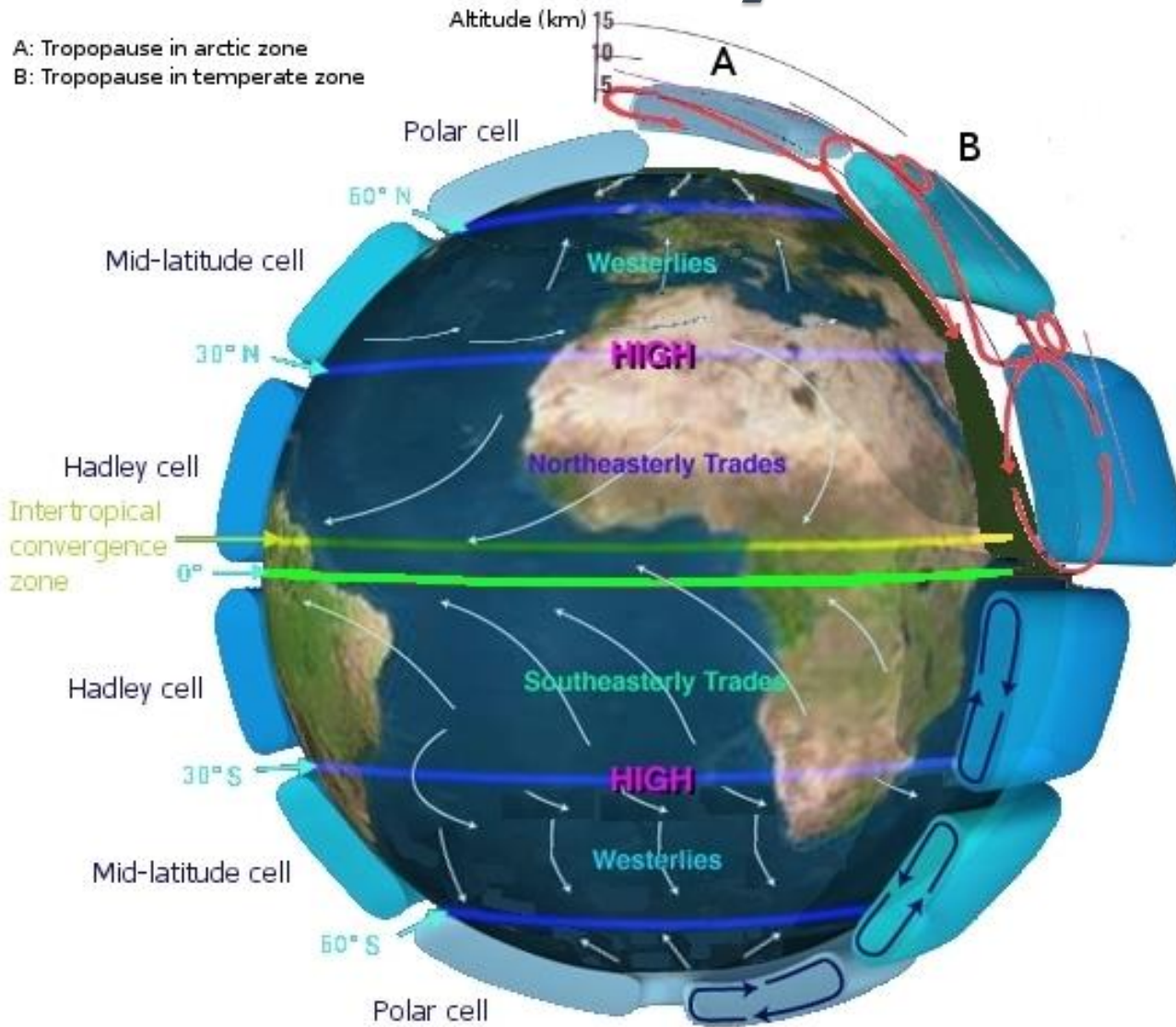
Windbelasting op daken

1. Algemeen – wind op een gebouw
2. Windbelasting op het dak bepalen
3. Windbelasting platte daken(TV 239 bijlage 5)
4. Windbelasting hellende daken (TV 240)
5. **De toekomst**

Klimaatverandering

- ▶ Verandering in het luchtcirculatiesysteem op ons halfrond
 - Veranderingen met invloed op onze klassiek winterstormen
- ▶ Stijging van de zeewatertemperatuur
 - Ontstaan van tropische stormen
- ▶ Hevige buien in de zomer
 - Ontstaan van valwinden en wervelstormen

Luchtcirculatiesysteem



Luchtcirculatiesysteem

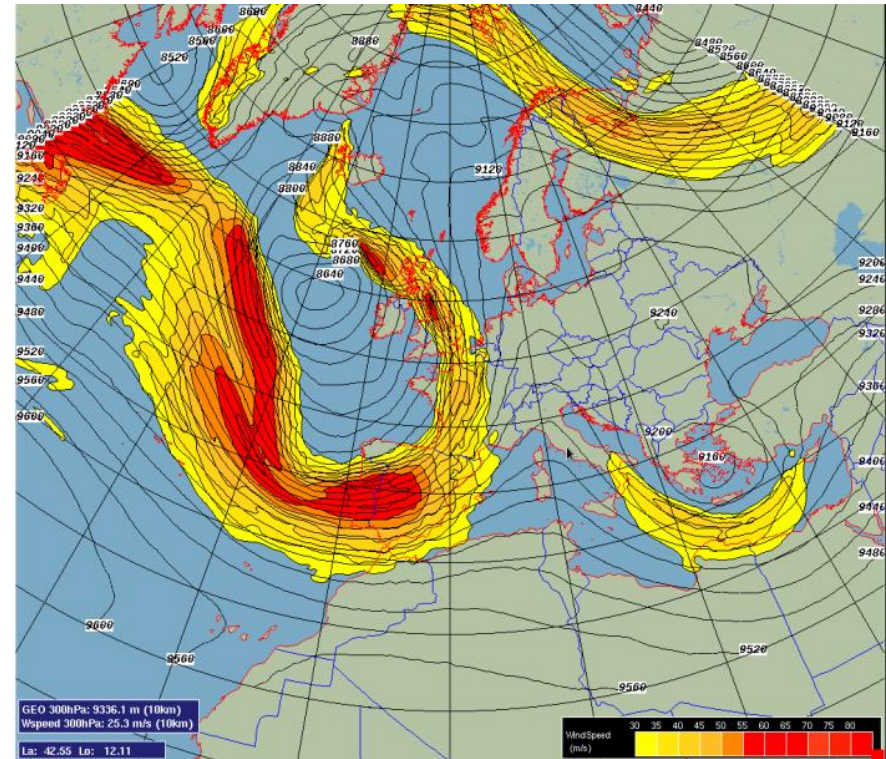
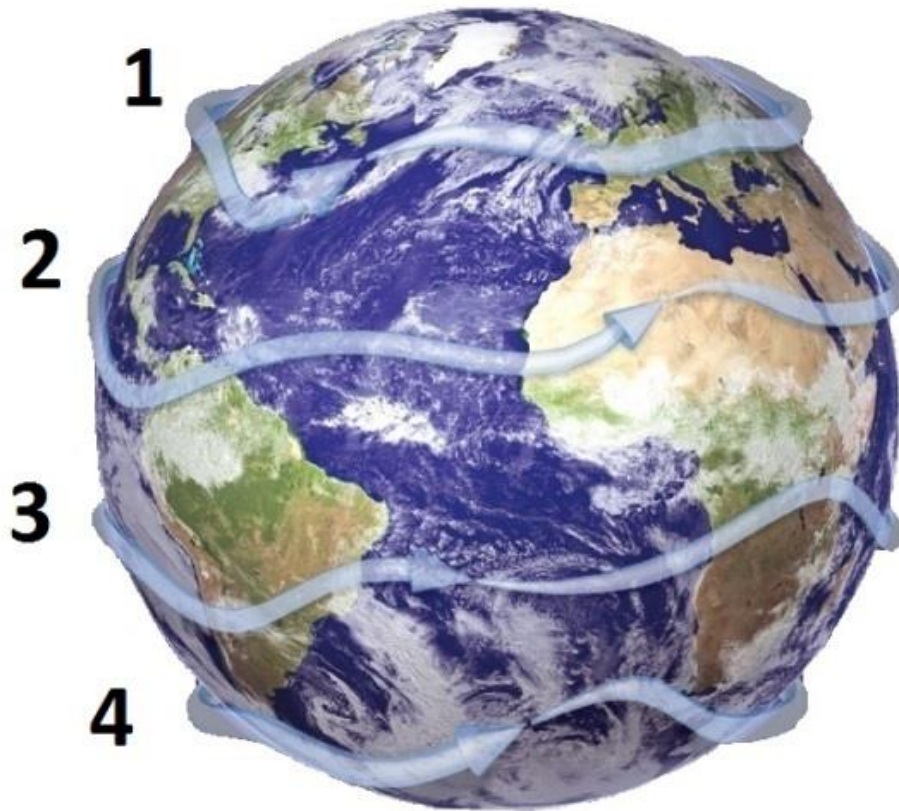
Theorie

- ▶ Hadleycel: van evenaar tot 30^{ste} breedtegraad
- ▶ Ferrelcel: van 30^{ste} tot 60^{ste} breedtegraad
- ▶ Polairecel: van 60^{ste} breedtegraad tot pool

Praktijk

Grenzen tussen deze cellen verlopen zeer grillig, verandering in tijd en plaats

Straalstroom



Onze klassieke winterstormen

- ▶ Motor: van hoge naar lage druk
- ▶ Venturi-effect van straalstroom

Verwachting: door opwarming polen = minder temperatuurverschil = verminderen snelheid straalstroom

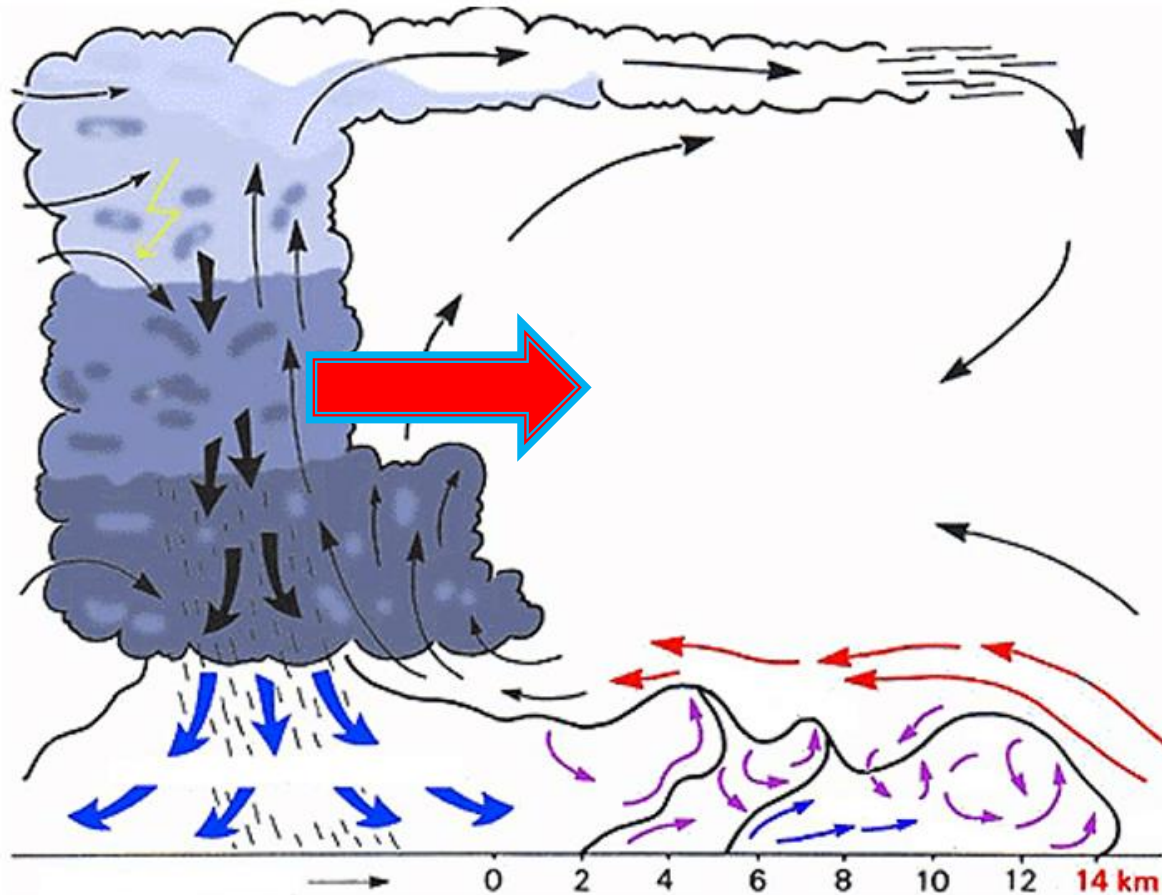
Opwarming zeewater

- ▶ Hevige buien boven warme oceaan ($>27^{\circ}\text{C}$) (Hadleycel – Atlantische oceaan)
- ▶ Via Passaatwinden naar koudere streken
- ▶ Motor: bij kouder worden condenseer waterdamp = energie = opwarming = ontstaan tropische storm
- ▶ Nederlands voorspellingsmodel (van KNMI)
 - 2 à 3 stormen per jaar in onze contreien
 - Najaarsstormen

De lokale stormen

- ▶ Valwind
 - Pukkelpop 18/08/2011
 - Torhout 30/08/2015

Valwind



Windhoos / tornado



Windhozen

- ▶ Zware windhozen
 - Verband met supercellen
 - Dikwijls van korte duur
 - Beperkte zone
 - België: 3 tot 5 per jaar
 - Oostmalle, Ciney

Conclusie

- ▶ Minder winterstormen?
- ▶ Meer najaarsstormen?
- ▶ Meer valwinden?

Waarschijnlijk.

Grotere kans op grote schade in beperkt gebied!

Voorstel: In elk dorp een openbaar gebouw dat weerstaat aan toekomstige stormen voor de opvang van burgerslachtoffers.