



WINDBELASTING OP PLATTE DAKEN VOLGENS WINDNORM NBN EN 1991-1-4

BUTgb levert ATG's af voor dakdichtingen en dakisolatie die de gebruiksgeschiktheid van het fabriekmatig vervaardigd dakdichtings- en isolatiemateriaal voor toepassing op daken aangeven. Door de omschakeling van de Belgische windnorm NBN B03-002-1 naar de Belgisch-Europese windnorm NBN EN 1991-1-4 dienen de ATG-teksten aangaande dakdichting en isolatie voor platte daken aangepast te worden. Ook Technische Voorlichting TV 215 "Het platte dak. Opbouw, materialen, uitvoering, onderhoud." (WTCB, 2000) baseert zich op de windnorm NBN B03-002-1 waardoor de tabellen die voorgesteld worden in TV 215 aan aanpassing toe zijn.

Dit BUTgb-informatieblad geeft een overzicht van de algemene berekening van de windbelasting op een plat dak waarbij de ATG-goedgekeurde isolatiematerialen en dakafdichtingen worden aangewend. De bijzondere toepassingsregels voor elk individueel product worden vermeld in de desbetreffende ATG's. De lijst van de ATG's kan worden geraadpleegd op de website www.butgb.be.

Dit BUTgb-informatieblad mag niet gebruikt worden als normatief verwijzingsdocument, maar heeft als doel de beoordelingswijze voor de ATG's toe te lichten.

1. UITGANGSPUNTEN

In België werd de windbelasting sinds 1988 berekend aan de hand van de norm NBN B03-002-1. Door de bekrachtiging van de Nationale Bijlage ANB van de Europese, geharmoniseerde norm NBN EN 1991-1-4 eind december 2010 is de Belgische norm NBN B03-002-1 ingetrokken en vervangen door beide voornoemde Belgisch-Europese documenten.

In dit informatieblad wordt dieper ingegaan op de windbelasting op het platte dak volgens de huidige normalisatie.

De Belgisch-Europese windnorm NBN EN 1991-1-4 gaat uit van een wind met terugkeerperiode van 50 jaar. Naar analogie met TV 239 "Mechanische bevestiging van de isolatie en de afdichting op geprofileerde staalplaten." (WTCB, 2010) is er geopteerd om de windbelasting op een plat dak te berekenen voor een wind met terugkeerperiode van 25 jaar (wat ongeveer overeenkomt met de

levensduur van de dakmaterialen; i.e. $c_{prob} = 0,959$), mits toepassing van een veiligheidscoëfficiënt γ_Q voor "secondaire structuren" (i.e. een veiligheidsfactor 1,25) (cf. WTCB-Rapport nr. 11 "Toepassing van de Eurocodes op het ontwerp van buitenschrijnwerk", 2009 en TV 239).

Dit BUTgb-informatieblad behandelt uitsluitend de windbelasting op een plat dak. In de windnorm NBN EN 1991-1-4 wordt een plat dak gedefinieerd als een dakvlak dat een helling van hoogstens 5° heeft.

2. WINDBELASTING

De windbelasting op een plat dak kan volgens NBN EN 1991-1-4 berekend worden aan de hand van volgende formule:

$$F_{wd} = \gamma_Q \cdot c_e(z) \cdot q_{ref,50jaar} \cdot c_{prob}^2 \cdot c_p \quad (1)$$

Waarbij:

- F_{wd} = rekenwaarde van de windbelasting (in N/m²)
- γ_Q = belastings-veiligheidsfactor (hier: $\gamma_Q = 1,25$ verondersteld)
- $c_e(z)$ = blootstellingscoëfficiënt (afhankelijk van de terreinruweheidsklasse)
- $q_{ref,50jaar}$ = gemiddelde dynamische referentiewinddruk voor terugkeerperiode van 50 jaar
- c_{prob}^2 = coëfficiënt voor terugkeerperiode van de wind (hier: $c_{prob}^2 = 0,920$ verondersteld)
- c_p = winddrukcoëfficiënt (als combinatie tussen coëfficiënt voor uitwendige onderdruk c_{pe} en coëfficiënt voor inwendige overdruk c_{pi})

De windbelasting op een dak is voornamelijk afhankelijk van de:

- Ligging van het gebouw (geografische ligging in België, terreinruweheidsklasse 0-I-II-III-IV, nabijheid hoog gebouw,...)

- Karakteristieken van het gebouw (dakhoogte, dimensies dak, beschouwde dakzone: hoekzone – randzone – middenzones,...)



Fig. 1: Referentiewindsnelheid $v_{b,0}$ in België

2.1 LIGGING VAN HET GEBOUW

2.1.1 Geografische ligging

De geografische ligging van het beschouwde dak beïnvloedt de referentiewindsnelheid $v_{b,0}$: zij varieert tussen 23m/s en 26m/s (zie figuur 1).

2.1.2 Terreinruweheidsklasse

Het meer lokale karakter (en meer bepaald de ruweheid) van het terrein zorgt voor een bijkomende classificatie van de windbelasting (zie ook figuur 2):

- Klasse 0: Zee of kuststreek, die blootstaat aan zeewinden

- Klasse I: Meer of zone met uiterst weinig vegetatie en die vrij is van obstakels
- Klasse II: Zone met lage vegetatie (zoals gras), met of zonder alleenstaande obstakels (bomen, gebouwen) op een onderlinge afstand van minstens 20 keer hun hoogte
- Klasse III: Zone met regelmatige begroeiing, met alleenstaande gebouwen of obstakels op een onderlinge afstand van maximum 20 keer hun hoogte (bv. dorpen, voorsteden, permanente bossen)
- Klasse IV: Stedelijke zone waar minstens 15% van het oppervlak ingenomen wordt door gebouwen met een gemiddelde hoogte van meer dan 15m

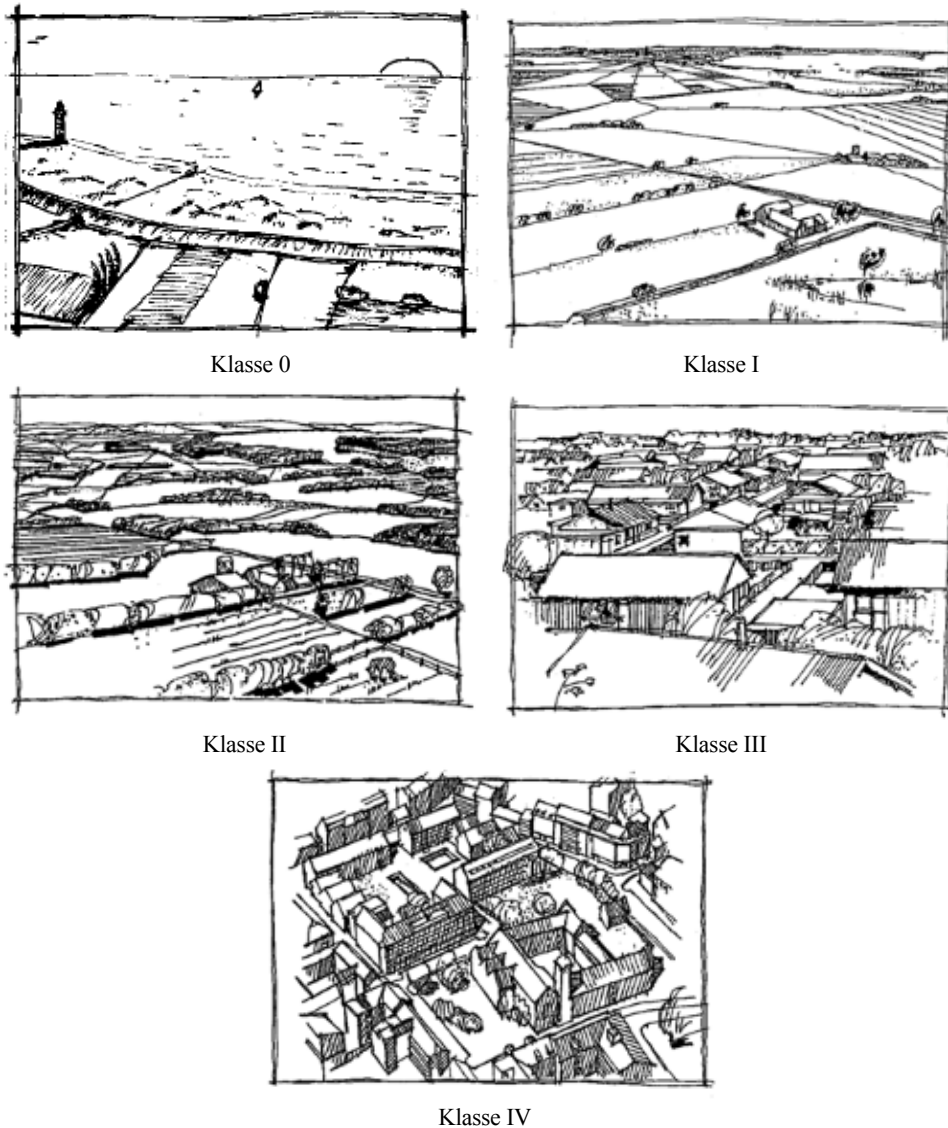


Fig. 2: Terreinruweidklasse (NBN EN 1991-1-4)

Voor de berekening van platte daken neemt men de strengste klasse die van toepassing is voor een bepaalde sector waarin een zone met een straal x meter rondom het gebouw beschouwd wordt:

$$x = \max(23 \cdot z_e^{1,2}; 300\text{m})$$

waarbij: z_e = referentiehoogte in m

2.1.3 Referentiehoogte z_e

De referentiehoogte z_e is afhankelijk van zowel de hoogte van het gebouw zelf als de karakteristieken van het terrein waarop het gebouw zich bevindt. Bij vlakke terreinen komt de referentiehoogte z_e overeen met de hoogte van het gebouw. Bij terreinen met niveaueverschillen en bij gebouwen in klasse 0 en I – waar het hoogteverschil tussen dak en het niveau van de zee bij laagtij in aanmerking genomen moet

worden – verschilt de referentiehoogte z_e van de gebouwhoogte (zie figuur 3).

Een gebouw dat twee maal zo hoog is als de gemiddelde hoogte van nabijgelegen bouwwerken zal de windbelasting op deze nabijgelegen bouwwerken nadelig beïnvloeden. In dit geval dient men rekening te houden met een verhoogde referentiehoogte z_e voor de bepaling van de windbelasting op de daken van deze nabijgelegen gebouwen.

In terreinklasse IV mag men ter hoogte van dicht bij elkaar geplaatste gebouwen en andere obstakels een verlaagde referentiehoogte z_e in rekening nemen. Dit fenomeen is evenwel richtingsafhankelijk.

Voor meer details en bijkomende karakteristieken wordt verwezen naar de norm NBN EN 1991-1-4 en de Nationale Bijlage.

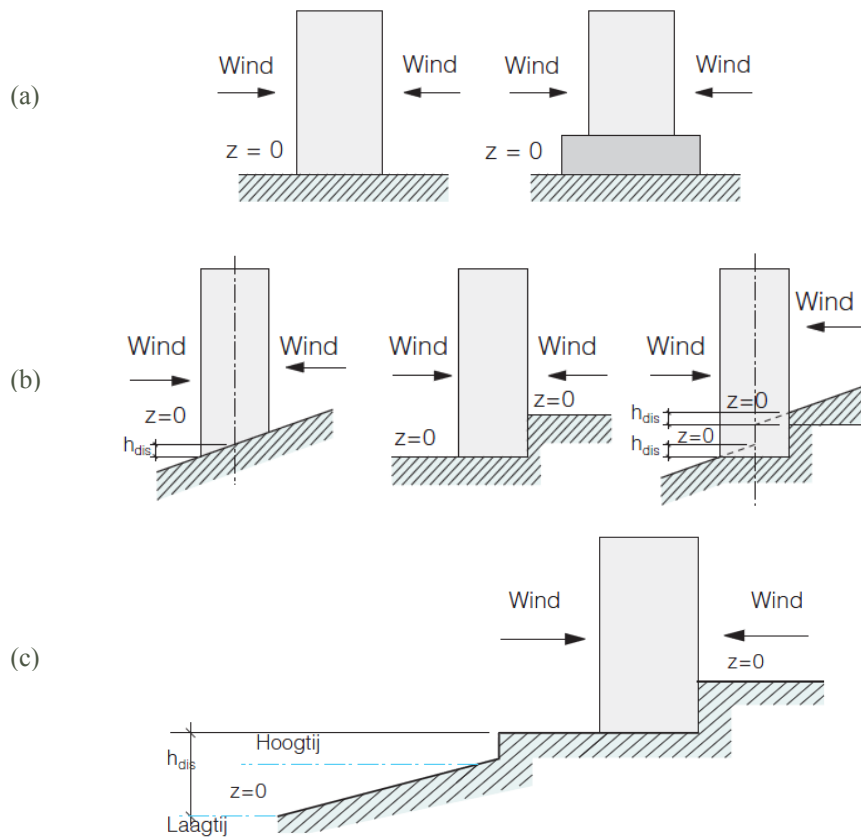


Fig. 3: Aanduiding nulpeil ($z = 0$) voor bepaling referentiehoogte z_e
 (a) Vlak terrein
 (b) Terrein met niveaoverschil
 (c) Kuststreek

2.2 KARAKTERISTIEKEN VAN HET GEBOUW

2.2.1 Dakzones

Afhankelijk van de hoogte, breedte en lengte van het gebouw met plat dak kunnen er vier dakzones onderscheiden worden: hoekzone, randzone, middenzone 1 en middenzone 2 (zie figuur 4).

De windturbulenties zijn te wijten aan 'plotse' onderbrekingen van de globale windstrooming en bijgevolg het hevigst in de hoek- en randzone en minder hevig in de middenzones.

Hoek- en randzones die theoretisch kleiner zijn dan 1m worden afgeraden.

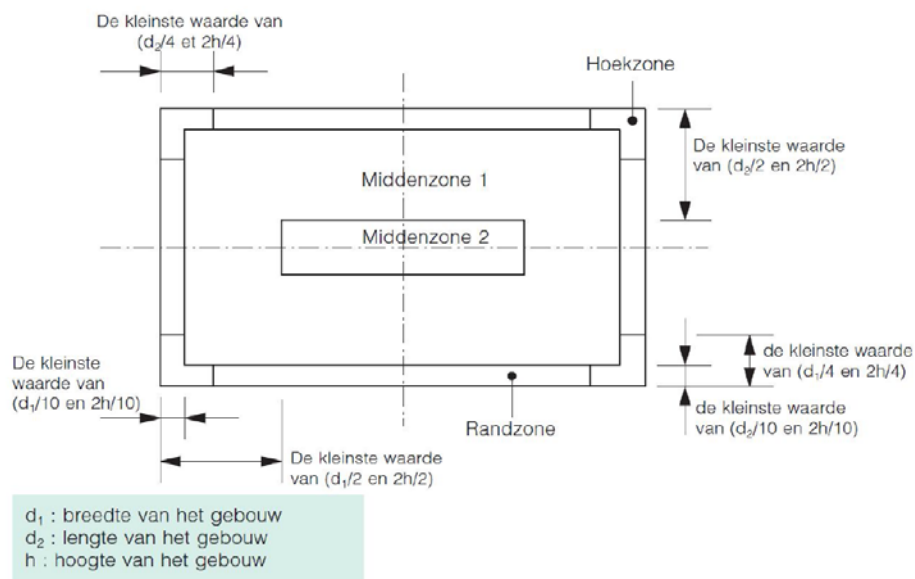


Fig. 4: Dakzones van een plat dak

2.2.2 Drukcoëfficiënt

De windbelasting, zoals bepaald in vergelijking (1), is afhankelijk van een drukcoëfficiënt. De waarde van deze drukcoëfficiënt c_p is enerzijds afhankelijk van de beschouwde dakzone en anderzijds van de karakteristieken van de draagstructuur en de luchtdichtheid van de elementen.

De drukcoëfficiënt c_p is een combinatie van een uitwendige drukcoëfficiënt c_{pe} en een inwendige drukcoëfficiënt c_{pi} .

Een dakstructuur kan grosso modo onderverdeeld worden in twee lagen: enerzijds de dakvloer, anderzijds de dakbedekking. Doordat men kan veronderstellen dat de dakvloer een grotere stijfheid heeft dan de dakbedekking, zal de drukcoëfficiënt die aangrijpt op de dakbedekking vooral afhangen van het luchtdichte gedrag van de dakvloer.

Bij een luchtdichte dakvloer zal de dakbedekking geen hinder ondervinden van de inwendige drukcoëfficiënt. Bijgevolg geldt:

$$c_p = c_{pe} \quad (2)$$

Voorbeeld van een luchtdichte dakvloer is een monolitische betonvloer.

Bij een luchtopen dakvloer daarentegen ondervindt de dakbedekking invloed van zowel de uitwendige als

inwendige drukcoëfficiënt. In dit geval wordt de drukcoëfficiënt berekend als:

$$c_p = c_{pe} - c_{pi} \quad (3)$$

Voorbeeld van een luchtopen dakvloer is een dakvloer bestaande uit geprofileerde staalplaten zonder damp scherm of met losliggend damp scherm.

2.2.2.1 Uitwendige drukcoëfficiënt

In dit BUTgb-informatieblad wordt de bepaling van de uitwendige drukcoëfficiënt beperkt tot gebouwen met platte daken die voldoen aan volgende vereisten:

- het plat dak heeft rechte randen, al dan niet voorzien van opstanden
- het gebouw staat in overdruk
- de dakhelling $\leq 5^\circ$

Gezien de soepelheid van dakdichtingsmembranen is het aangewezen om uit te gaan van een element met belaste oppervlakte van hoogstens 1m^2 en wordt er gerekend met de lokale uitwendige drukcoëfficiënt $c_{pe,1}$. De uitwendige drukcoëfficiënt $c_{pe,1}$ wordt getabuleerd in tabel 1 voor bovenvermelde randvoorwaarden.

Voor platte daken met afgeronde en/of afgeschuinde randen en voor andere randvoorwaarden wordt verwezen naar de norm NBN EN 1991-1-4 en de Nationale Bijlage.

Daktype		Hoek-zone	Rand-zone	Midden zone 1	Midden zone 2
Rechte randen zonder dakopstand		-2.5	-2.0	-1.2	-0.2
Rechte randen met dakopstand (*)	$h_p/h = 0.025$ (**)	-2.2	-1.8	-1.2	-0.2
	$h_p/h = 0.05$	-2.0	-1.6	-1.2	-0.2
	$h_p/h = 0.1$	-1.8	-1.4	-1.2	-0.2

(*) h_p = hoogte dakopstand; h = hoogte gebouw zonder dakopstand

(**) courant geval

Tabel 1: Uitwendige drukcoëfficiënt $c_{pe,1}$

2.2.2.2 Inwendige drukcoëfficiënt

De inwendige drukcoëfficiënt is afhankelijk van de luchtdichtheid van de gevels. Er kan met name onderscheid gemaakt worden tussen gebouwen met een dominante zijde en gebouwen zonder dominante zijde.

Een gebouw met dominante zijde is een gebouw waarbij de oppervlakte van de openingen in een zijde significant groter is dan de oppervlakte van de openingen in de overige zijden. Onder opening verstaat men een permanente opening of een opening waarvan men kan veronderstellen dat die open is gedurende de exploitatie. Het betreft o.a. open vensters en deuren, luchtlekken rond deuren, vensters en andere doorvoeren doorheen gevel/dak.

Indien de oppervlakte van de openingen aan de dominante zijde gelijk is aan tweemaal de oppervlakte van de openingen in de overige zijden, geldt:

$$c_{pi} = 0,75 \cdot c_{pe,gevel} \quad (4)$$

waarbij $c_{pe,gevel} = c_{pe,1}$ ter hoogte van de openingen in de dominante gevel.

Indien de oppervlakte van de openingen aan de dominante zijde gelijk is aan driemaal de oppervlakte van de openingen in de overige zijden, geldt:

$$c_{pi} = 0,90 \cdot c_{pe,gevel} \quad (5)$$

Indien de oppervlakte van de openingen aan de dominante zijde gelegen is tussen twee- en driemaal de oppervlakte van de openingen in de overige zijden,

mag een lineaire interpolatie gebruikt worden tussen vergelijkingen (4) en (5).

Gezien $c_{pe,gevel}$ de uitwendige drukcoëfficiënt ter hoogte van de openingen in de dominante gevel voorstelt en de meest ongunstige situatie voor de stabiliteit van de dakafdichting en dakisolatie overeenstemt met een situatie waarbij een maximale inwendige overdruk gecombineerd zou worden met de effecten van de uitwendige onderdruk op het dak, is $c_{pe,gevel} = c_{pe,1} = +1,0$.

Bijgevolg schommelt de inwendige drukcoëfficiënt tussen:

$$c_{pi} = 0,75 \text{ à } 0,90 \quad (6)$$

Een gebouw zonder dominante zijde is een gebouw bestaande uit gevels met gelijkmatige luchtdoorlatendheid. De inwendige drukcoëfficiënt c_{pi} is dan een functie van de verhouding tussen hoogte en diepte van het gebouw (h/d), en van de permeabiliteitscoëfficiënt μ voor elke windrichting θ . De permeabiliteitscoëfficiënt μ kan bepaald worden volgens:

$$\mu = \frac{\sum \text{opp. openingen waarvoor } c_{pe} \text{ negatief is}}{\sum \text{opp. alle openingen}} \quad (7)$$

Indien het niet mogelijk is om μ te schatten of indien er twijfels bestaan omtrent de permeabiliteit van het gebouw, gaat men uit van de meest ongunstige waarde van: $c_{pi} = +0,2$ of $-0,3$. Aangezien voor de dakdichtingen vooral de onderdruk nadelig is, neemt men aan dat:

$$c_{pi} = +0,2 \quad (8)$$

Voor meer details en bijkomende karakteristieken wordt verwezen naar de norm NBN EN 1991-1-4 en de Nationale Bijlage.

2.2.2.3 Drukcoëfficiënt op daken met meer dan één laag

Wanneer het dak bestaat uit meer dan één laag, moet de windkracht afzonderlijk berekend worden voor elke laag. De windkracht op elke laag is afhankelijk van de permeabiliteit van de lagen, de relatieve stijfheid van de lagen en de openingen aan de uiteinden van de luchtlaag tussen de lagen. Een laag wordt gedefinieerd als ondoordringbaar als de permeabiliteit (= verhouding van de totale

oppervlakte van de openingen tot de totale oppervlakte van de laag) $< 0,1\%$.

Voor daken met een inwendig ondoordringbare laag en een uitwendig doordringbare laag met uniform verdeelde openingen gelden volgende drukcoëfficiënten:

Uitwendige laag (overdruk):

$$c_p = 2/3 \cdot c_{pe} \quad (9)$$

Uitwendige laag (onderdruk):

$$c_p = 1/3 \cdot c_{pe} \quad (10)$$

Inwendige laag:

$$c_p = c_{pe} - c_{pi} \quad (11)$$

Voor meer details en andere onderverdelingen van daken met meerdere lagen wordt verwezen naar de norm NBN EN 1991-1-4 en de Nationale Bijlage.

2.3 WINDBELASTING

Bovenvermelde paragrafen resulteren in vier afzonderlijke tabellen die de aangrijpende windbelasting op een plat dak weergeven in functie van de dakhogte (referentiehoogte z_e), de terreinruwheidsklasse en de karakteristieken van de dakopbouw: één tabel voor elke referentiewindsnelheid (zie tabellen 2 t.e.m. 5). In deze tabellen is de veronderstelling gemaakt dat het gebouw gelegen is op een terrein met helling $\leq 5\%$. Voor grotere terreinhellingen wordt verwezen naar de norm NBN EN 1991-1-4 en de Nationale Bijlage.

Het is af te raden de tabellen te gebruiken voor gebouwen met gebouwhoogte groter dan 100m.

Noteer dat de getabuleerde waarden uitsluitend de aangrijpende windbelasting weergeven, met inbegrip van een belastings-veiligheidscoëfficiënt γ_Q . Bij de dimensionering van het dak dienen de dakmaterialen een voldoende windweerstand te hebben om de aangrijpende windbelasting te weerstaan. Hierbij mag men niet vergeten eveneens nog een materiaal-veiligheidscoëfficiënt in rekening te brengen. De (rekenwaarde van de) windweerstand van (verlijmde, gelaste of mechanisch bevestigde) dakdichting en/of dakisolatie kan men terugvinden in de desbetreffende ATG's. Deze windweerstand is gebaseerd op resultaten van windproeven, waarbij eveneens rekening is gehouden met een materiaal-veiligheidscoëfficiënt van 1,5.

v = 23m/s										DAKHOOGTE (m)																								
										0 Zee	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3		
										I Vlak gebied	-	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	11,9	16,3	19,4	22,6	25,9			
										II Lage vegetatie	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	11,9	16,3	19,4	22,6	25,9		
										III Regelmatige begroeiing	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0	70,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-
										IV Gebouwen > 15m	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-	-	-	-	
										WINDBELASTING (in N/m²)																								
Luchtlopen dakvloer	Dakzone	Dakopstanden	c _{pe}	c _{pl}	c _p	WINDBELASTING (in N/m²)																												
						Dominante luchtoppen gevel (oppervlakte openingen dominante zijde >= 2 keer oppervlakte openingen andere zijden)																												
Luchtlopen dakvloer	Hoekzone	Zonder dakopstand	-2,5	0,75	-3,25	-1659	-1775	-1876	-1966	-2048	-2190	-2317	-2433	-2527	-2620	-2822	-2979	-3121	-3248	-3360	-3551	-3794	-3928	-4048	-4160									
		h _p /h = 0.025	-2,2	0,75	-2,95	-1506	-1611	-1703	-1784	-1859	-1988	-2103	-2209	-2293	-2378	-2561	-2704	-2833	-2948	-3050	-3223	-3443	-3566	-3674	-3776									
		hp/h = 0.05	-2,0	0,75	-2,75	-1404	-1502	-1588	-1663	-1733	-1853	-1961	-2059	-2138	-2217	-2388	-2521	-2641	-2748	-2843	-3004	-3210	-3324	-3425	-3520									
	Randzone	Zonder dakopstand	-2,0	0,75	-2,75	-1404	-1502	-1588	-1663	-1733	-1853	-1961	-2059	-2138	-2217	-2388	-2521	-2641	-2748	-2843	-3004	-3210	-3324	-3425	-3520									
		h _p /h = 0.025	-1,8	0,75	-2,55	-1302	-1393	-1472	-1542	-1607	-1718	-1818	-1909	-1982	-2056	-2214	-2337	-2449	-2548	-2636	-2786	-2976	-3082	-3176	-3264									
		hp/h = 0.05	-1,6	0,75	-2,35	-1200	-1284	-1357	-1422	-1481	-1584	-1676	-1759	-1827	-1894	-2040	-2154	-2257	-2348	-2430	-2567	-2743	-2840	-2927	-3008									
	Middenzone 1	-1,2	0,75	-1,95	-996	-1065	-1126	-1180	-1229	-1314	-1390	-1460	-1516	-1572	-1693	-1787	-1872	-1949	-2016	-2130	-2276	-2357	-2429	-2496										
	Middenzone 2	-0,2	0,75	-0,95	-485	-519	-548	-575	-599	-640	-677	-711	-739	-766	-825	-871	-912	-949	-982	-1038	-1109	-1148	-1183	-1216										
	Luchtlopen dakvloer	Hoekzone	Zonder dakopstand	-2,5	0,90	-3,40	-1736	-1857	-1963	-2057	-2143	-2291	-2424	-2545	-2643	-2741	-2952	-3116	-3265	-3398	-3515	-3715	-3969	-4109	-4235	-4352								
			h _p /h = 0.025	-2,2	0,90	-3,10	-1583	-1693	-1790	-1875	-1954	-2089	-2210	-2321	-2410	-2499	-2692	-2841	-2977	-3098	-3205	-3387	-3618	-3747	-3861	-3968								
			hp/h = 0.05	-2,0	0,90	-2,90	-1481	-1584	-1674	-1754	-1828	-1954	-2068	-2171	-2254	-2338	-2518	-2658	-2785	-2898	-2998	-3168	-3385	-3505	-3612	-3712								
		Randzone	Zonder dakopstand	-2,0	0,90	-2,90	-1481	-1584	-1674	-1754	-1828	-1954	-2068	-2171	-2254	-2338	-2518	-2658	-2785	-2898	-2998	-3168	-3385	-3505	-3612	-3712								
h _p /h = 0.025			-1,8	0,90	-2,70	-1379	-1475	-1559	-1633	-1702	-1820	-1925	-2021	-2099	-2177	-2344	-2475	-2593	-2698	-2791	-2950	-3152	-3263	-3363	-3456									
hp/h = 0.05			-1,6	0,90	-2,50	-1277	-1366	-1443	-1512	-1576	-1685	-1783	-1872	-1944	-2015	-2171	-2291	-2401	-2498	-2585	-2731	-2918	-3022	-3114	-3200									
Middenzone 1		-1,2	0,90	-2,10	-1072	-1147	-1212	-1270	-1323	-1415	-1497	-1572	-1633	-1693	-1823	-1925	-2017	-2099	-2291	-2378	-2513	-2685	-2780	-2944										
Middenzone 2		-0,2	0,90	-1,10	-562	-601	-635	-665	-693	-741	-784	-824	-855	-887	-955	-1008	-1056	-1099	-1137	-1202	-1284	-1330	-1370	-1408										
Luchtlopen dakvloer		Hoekzone	Zonder dakopstand	-2,5	0,20	-2,70	-1379	-1475	-1559	-1633	-1702	-1820	-1925	-2021	-2099	-2177	-2344	-2475	-2593	-2698	-2791	-2950	-3152	-3263	-3363	-3456								
			h _p /h = 0.025	-2,2	0,20	-2,40	-1225	-1311	-1386	-1452	-1512	-1617	-1711	-1797	-1866	-1935	-2084	-2200	-2305	-2398	-2481	-2622	-2801	-2901	-2989	-3072								
			hp/h = 0.05	-2,0	0,20	-2,20	-1123	-1202	-1270	-1331	-1386	-1483	-1569	-1647	-1710	-1774	-1910	-2016	-2113	-2199	-2274	-2404	-2568	-2659	-2740	-2816								
		Randzone	Zonder dakopstand	-2,0	0,20	-2,20	-1123	-1202	-1270	-1331	-1386	-1483	-1569	-1647	-1710	-1774	-1910	-2016	-2113	-2199	-2274	-2404	-2568	-2659	-2740	-2816								
	h _p /h = 0.025		-1,8	0,20	-2,00	-1021	-1093	-1155	-1210	-1260	-1348	-1426	-1497	-1555	-1612	-1737	-1833	-1921	-1999	-2068	-2185	-2335	-2417	-2491	-2560									
	hp/h = 0.05		-1,6	0,20	-1,80	-919	-983	-1039	-1089	-1134	-1213	-1283	-1348	-1399	-1451	-1563	-1650	-1728	-1799	-1861	-1967	-2101	-2176	-2242	-2304									
	Middenzone 1	-1,2	0,20	-1,40	-715	-765	-808	-847	-882	-943	-998	-1048	-1088	-1129	-1216	-1283	-1344	-1399	-1447	-1530	-1634	-1692	-1744	-1792										
	Middenzone 2	-0,2	0,20	-0,40	-204	-219	-231	-242	-252	-270	-285	-299	-311	-322	-347	-367	-384	-400	-414	-437	-467	-483	-498	-512										
	Luchtlichte dakvloer	Hoekzone	Zonder dakopstand	-2,5	-	-2,50	-1277	-1366	-1443	-1512	-1576	-1685	-1783	-1872	-1944	-2015	-2171	-2291	-2401	-2498	-2585	-2731	-2918	-3022	-3114	-3200								
			h _p /h = 0.025	-2,2	-	-2,20	-1123	-1202	-1270	-1331	-1386	-1483	-1569	-1647	-1710	-1774	-1910	-2016	-2113	-2199	-2274	-2404	-2568	-2659	-2740	-2816								
			hp/h = 0.05	-2,0	-	-2,00	-1021	-1093	-1155	-1210	-1260	-1348	-1426	-1497	-1555	-1612	-1737	-1833	-1921	-1999	-2068	-2185	-2335	-2417	-2491	-2560								
		Randzone	Zonder dakopstand	-2,0	-	-2,00	-1021	-1093	-1155	-1210	-1260	-1348	-1426	-1497	-1555	-1612	-1737	-1833	-1921	-1999	-2068	-2185	-2335	-2417	-2491	-2560								
h _p /h = 0.025			-1,8	-	-1,80	-919	-983	-1039	-1089	-1134	-1213	-1283	-1348	-1399	-1451	-1563	-1650	-1728	-1799	-1861	-1967	-2101	-2176	-2242	-2304									
hp/h = 0.05			-1,6	-	-1,60	-817	-874	-924	-968	-1008	-1078	-1141	-1198	-1244	-1290	-1389	-1466	-1536	-1599	-1654	-1748	-1868	-1934	-1993	-2048									
Middenzone 1		-1,2	-	-1,20	-613	-656	-693	-726	-756	-809	-856	-898	-933	-967	-1042	-1100	-1152	-1199	-1241	-1311	-1401	-1450	-1495	-1536										
Middenzone 2		-0,2	-	-0,20	-102	-109	-115	-121	-126	-135	-143	-150	-155	-161	-174	-183	-192	-200	-207	-219	-233	-242	-249	-256										

Tabel 2: Windbelasting (in N/m²) op een plat dak voor een referentie-windsnelheid v_{b,0} = 23m/s, veiligheidsfactor γ_Q = 1,25, c_{prob} = 0,959 en terreinhelling ≤ 5%

v= 24m/s					DAKHOOGTE (m)																													
0 Zee I Vlak gebied II Lage vegetatie III Regelmatige begroeiing IV Gebouwen > 15m					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3							
					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	11,9	16,3	19,4	22,6	25,9
					-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2	34,1	39,0	44,1
					6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	50,0	55,0	60,0	61,0	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-	-
					WINDBELASTING (in N/m ²)																													
		Dakzone	Dakopstanden	c _{pe}	c _{pl}	c _p																												
Luchtoppen dakvloer	Dominante luchtoppen gevel (oppervlakte openingen dominante zijde ≥ 2 keer oppervlakte openingen andere zijden)	Hoekzone	Zonder dakopstand	-2,5	0,75	-3,25	-1809	-1932	-2041	-2138	-2231	-2388	-2523	-2650	-2755	-2852	-3072	-3244	-3397	-3536	-3659	-3868	-4130	-4279	-4410	-4530								
			h _p /h = 0.025	-2,2	0,75	-2,95	-1642	-1754	-1852	-1941	-2025	-2168	-2290	-2405	-2500	-2588	-2789	-2945	-3084	-3209	-3321	-3511	-3749	-3884	-4003	-4112								
			hp/h = 0.1	-2,0	0,75	-2,75	-1531	-1635	-1727	-1809	-1888	-2021	-2135	-2242	-2331	-2413	-2600	-2745	-2875	-2992	-3096	-3273	-3495	-3621	-3732	-3833								
		Randzone	Zonder dakopstand	-2,0	0,75	-2,75	-1531	-1635	-1727	-1809	-1888	-2021	-2135	-2242	-2331	-2413	-2600	-2745	-2875	-2992	-3096	-3273	-3495	-3621	-3732	-3833								
			h _p /h = 0.025	-1,8	0,75	-2,55	-1419	-1516	-1601	-1677	-1751	-1874	-1979	-2079	-2161	-2237	-2411	-2545	-2666	-2774	-2871	-3035	-3240	-3358	-3460	-3554								
			hp/h = 0.05	-1,6	0,75	-2,35	-1308	-1397	-1476	-1546	-1613	-1727	-1824	-1916	-1992	-2062	-2221	-2346	-2457	-2557	-2646	-2797	-2986	-3094	-3189	-3275								
	Middenzone 1	Zonder dakopstand	-1,4	0,75	-2,15	-1197	-1278	-1350	-1414	-1476	-1580	-1669	-1753	-1822	-1887	-2032	-2146	-2248	-2339	-2421	-2559	-2732	-2831	-2918	-2997									
		h _p /h = 0.1	-1,2	0,75	-1,95	-1085	-1159	-1224	-1283	-1339	-1433	-1514	-1590	-1653	-1711	-1843	-1946	-2038	-2121	-2195	-2321	-2478	-2568	-2646	-2718									
		Middenzone 2	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-									
	Luchtdichte dakvloer	Dominante luchtoppen gevel (oppervlakte openingen dominante zijde ≥ 3 keer oppervlakte openingen andere zijden)	Hoekzone	Zonder dakopstand	-2,5	0,90	-3,40	-1892	-2021	-2135	-2237	-2334	-2498	-2639	-2772	-2882	-2983	-3214	-3394	-3554	-3699	-3828	-4047	-4321	-4477	-4614	-4739							
				h _p /h = 0.025	-2,2	0,90	-3,10	-1725	-1843	-1946	-2039	-2128	-2278	-2406	-2528	-2627	-2720	-2930	-3094	-3241	-3372	-3490	-3690	-3939	-4082	-4207	-4321							
				hp/h = 0.1	-2,0	0,90	-2,90	-1614	-1724	-1821	-1908	-1991	-2131	-2251	-2365	-2458	-2545	-2741	-2895	-3032	-3155	-3265	-3452	-3685	-3819	-3935	-4042							
			Randzone	Zonder dakopstand	-2,0	0,90	-2,90	-1614	-1724	-1821	-1908	-1991	-2131	-2251	-2365	-2458	-2545	-2741	-2895	-3032	-3155	-3265	-3452	-3685	-3819	-3935	-4042							
				h _p /h = 0.025	-1,8	0,90	-2,70	-1503	-1605	-1695	-1776	-1854	-1984	-2096	-2201	-2288	-2369	-2552	-2695	-2822	-2937	-3040	-3214	-3431	-3555	-3664	-3763							
		hp/h = 0.05		-1,6	0,90	-2,50	-1392	-1486	-1570	-1645	-1716	-1837	-1941	-2038	-2119	-2194	-2363	-2496	-2613	-2720	-2815	-2976	-3177	-3292	-3393	-3485								
Gevels met gelijkmatige luchtdoorlatendheid		Hoekzone	Zonder dakopstand	-2,5	0,20	-2,70	-1503	-1605	-1695	-1776	-1854	-1984	-2096	-2201	-2288	-2369	-2552	-2695	-2822	-2937	-3040	-3214	-3431	-3555	-3664	-3763								
			h _p /h = 0.025	-2,2	0,20	-2,40	-1336	-1427	-1507	-1579	-1648	-1764	-1863	-1957	-2034	-2106	-2269	-2396	-2509	-2611	-2702	-2857	-3050	-3160	-3257	-3345								
			hp/h = 0.1	-2,0	0,20	-2,20	-1225	-1308	-1381	-1447	-1510	-1617	-1708	-1794	-1865	-1930	-2080	-2196	-2300	-2393	-2477	-2619	-2796	-2897	-2985	-3066								
		Randzone	Zonder dakopstand	-2,0	0,20	-2,20	-1225	-1308	-1381	-1447	-1510	-1617	-1708	-1794	-1865	-1930	-2080	-2196	-2300	-2393	-2477	-2619	-2796	-2897	-2985	-3066								
	h _p /h = 0.025		-1,8	0,20	-2,00	-1113	-1189	-1256	-1316	-1373	-1470	-1553	-1631	-1695	-1755	-1891	-1996	-2091	-2176	-2252	-2381	-2542	-2634	-2714	-2788									
hp/h = 0.1	-1,4		0,20	-1,60	-891	-951	-1005	-1052	-1098	-1176	-1242	-1305	-1356	-1404	-1512	-1597	-1673	-1741	-1801	-1904	-2033	-2107	-2171	-2230										
Luchtdichte dakvloer	Hoekzone	Zonder dakopstand	-2,5	-	-2,50	-1392	-1486	-1570	-1645	-1716	-1837	-1941	-2038	-2119	-2194	-2363	-2496	-2613	-2720	-2815	-2976	-3177	-3292	-3393	-3485									
		h _p /h = 0.025	-2,2	-	-2,20	-1225	-1308	-1381	-1447	-1510	-1617	-1708	-1794	-1865	-1930	-2080	-2196	-2300	-2393	-2477	-2619	-2796	-2897	-2985	-3066									
		hp/h = 0.1	-2,0	-	-2,00	-1113	-1189	-1256	-1316	-1373	-1470	-1553	-1631	-1695	-1755	-1891	-1996	-2091	-2176	-2252	-2381	-2542	-2634	-2714	-2788									
	Randzone	Zonder dakopstand	-2,0	-	-2,00	-1113	-1189	-1256	-1316	-1373	-1470	-1553	-1631	-1695	-1755	-1891	-1996	-2091	-2176	-2252	-2381	-2542	-2634	-2714	-2788									
		h _p /h = 0.025	-1,8	-	-1,80	-1002	-1070	-1130	-1184	-1236	-1323	-1397	-1468	-1526	-1579	-1702	-1797	-1882	-1958	-2027	-2142	-2287	-2370	-2443	-2509									
hp/h = 0.1		-1,4	-	-1,40	-779	-832	-879	-921	-961	-1029	-1087	-1141	-1187	-1228	-1323	-1397	-1463	-1523	-1576	-1666	-1779	-1843	-1900	-1951										
Middenzone 1	Zonder dakopstand	-1,2	-	-1,20	-668	-713	-753	-789	-824	-882	-932	-978	-1017	-1053	-1134	-1198	-1254	-1305	-1351	-1428	-1525	-1580	-1628	-1673										
	hp/h = 0.1	-0,2	-	-0,20	-111	-119	-126	-132	-137	-147	-155	-163	-170	-175	-189	-200	-209	-218	-225	-238	-254	-263	-271	-279										
Middenzone 2	Zonder dakopstand	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										
	hp/h = 0.1	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-										

Tabel 3: Windbelasting (in N/m²) op een plat dak voor een referentie-windsnelheid v_{b,0} = 24m/s, veiligheidsfactor γ_Q = 1,25, c_{prob} = 0,959 en terrehelling ≤ 5%

v= 26m/s		0 Zee I Vlak gebied II Lage vegetatie III Regelmatige begroeiing IV Gebouwen > 15m			DAKHOOGTE (m)																					
					4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3				
		Dakzone	Dakopstanden	C _{pe}	C _{pl}	C _p	WINDBELASTING (in N/m ²)																			
Luchtoppen dakvloer	Dominante luchtoppen gevel (oppervlakte openingen dominante zijde ≥ 2 keer oppervlakte openingen andere zijden)	Hoekzone	Zonder dakopstand	-2,5	0,75	-3,25	-2123	-2269	-2396	-2512	-2616	-2799	-2960	-3110	-3229	-3345	-3603	-3805	-3988	-4152	-4294	-4537	-4844	-5019	-5173	-5315
			h _p /h = 0.025	-2,2	0,75	-2,95	-1927	-2059	-2175	-2280	-2375	-2541	-2687	-2823	-2931	-3036	-3270	-3454	-3620	-3769	-3898	-4118	-4397	-4556	-4695	-4824
			hp/h = 0.05	-2,0	0,75	-2,75	-1796	-1920	-2027	-2125	-2214	-2369	-2505	-2631	-2732	-2830	-3049	-3219	-3374	-3514	-3634	-3839	-4099	-4247	-4377	-4497
		Randzone	Zonder dakopstand	-1,8	0,75	-2,55	-1666	-1780	-1880	-1971	-2053	-2196	-2323	-2440	-2534	-2625	-2827	-2985	-3129	-3258	-3369	-3560	-3801	-3938	-4059	-4170
			h _p /h = 0.025	-2,0	0,75	-2,75	-1796	-1920	-2027	-2125	-2214	-2369	-2505	-2631	-2732	-2830	-3049	-3219	-3374	-3514	-3634	-3839	-4099	-4247	-4377	-4497
			hp/h = 0.1	-1,8	0,75	-2,55	-1666	-1780	-1880	-1971	-2053	-2196	-2323	-2440	-2534	-2625	-2827	-2985	-3129	-3258	-3369	-3560	-3801	-3938	-4059	-4170
	Middenzone 1	-1,4	0,75	-2,15	-1404	-1501	-1585	-1662	-1731	-1852	-1958	-2057	-2136	-2213	-2383	-2517	-2638	-2747	-2841	-3002	-3204	-3321	-3422	-3516		
	Middenzone 2	-1,2	0,75	-1,95	-1274	-1361	-1437	-1507	-1570	-1680	-1776	-1866	-1938	-2007	-2162	-2283	-2393	-2491	-2577	-2722	-2906	-3012	-3104	-3189		
	Dominante luchtoppen gevel (oppervlakte openingen dominante zijde ≥ 3 keer oppervlakte openingen andere zijden)	Hoekzone	Zonder dakopstand	-2,5	0,90	-3,40	-2221	-2373	-2506	-2628	-2737	-2929	-3097	-3253	-3378	-3499	-3769	-3980	-4172	-4344	-4493	-4747	-5067	-5251	-5411	-5560
			h _p /h = 0.025	-2,2	0,90	-3,10	-2025	-2164	-2285	-2396	-2496	-2670	-2823	-2966	-3080	-3191	-3437	-3629	-3804	-4096	-4328	-4620	-4788	-4934	-5069	
			hp/h = 0.05	-2,0	0,90	-2,90	-1894	-2024	-2138	-2241	-2335	-2498	-2641	-2775	-2881	-2985	-3215	-3395	-3558	-3705	-3832	-4049	-4322	-4479	-4616	-4742
		Randzone	Zonder dakopstand	-1,8	0,90	-2,70	-1764	-1885	-1990	-2087	-2174	-2326	-2459	-2583	-2683	-2779	-2993	-3161	-3313	-3450	-3568	-3769	-4024	-4170	-4297	-4415
			h _p /h = 0.025	-2,0	0,90	-2,90	-1894	-2024	-2138	-2241	-2335	-2498	-2641	-2775	-2881	-2985	-3215	-3395	-3558	-3705	-3832	-4049	-4322	-4479	-4616	-4742
			hp/h = 0.1	-1,8	0,90	-2,70	-1764	-1885	-1990	-2087	-2174	-2326	-2459	-2583	-2683	-2779	-2993	-3161	-3313	-3450	-3568	-3769	-4024	-4170	-4297	-4415
	Middenzone 1	-1,6	0,90	-2,50	-1633	-1745	-1843	-1932	-2013	-2153	-2277	-2392	-2484	-2573	-2772	-2927	-3068	-3194	-3303	-3490	-3726	-3861	-3979	-4088		
	Middenzone 2	-1,4	0,90	-2,30	-1502	-1606	-1695	-1777	-1852	-1981	-2095	-2201	-2285	-2367	-2550	-2693	-2822	-2939	-3039	-3211	-3428	-3552	-3661	-3761		
Gevels met gelijkmatige luchtdoorlatendheid	Hoekzone	Zonder dakopstand	-2,5	0,20	-2,70	-1764	-1885	-1990	-2087	-2174	-2326	-2459	-2583	-2683	-2779	-2993	-3161	-3313	-3450	-3568	-3769	-4024	-4170	-4297	-4415	
		h _p /h = 0.025	-2,2	0,20	-2,40	-1568	-1675	-1769	-1855	-1932	-2067	-2186	-2296	-2385	-2470	-2661	-2810	-2945	-3066	-3171	-3351	-3577	-3707	-3820	-3925	
		hp/h = 0.05	-2,0	0,20	-2,20	-1437	-1536	-1622	-1700	-1771	-1895	-2004	-2105	-2186	-2264	-2439	-2576	-2700	-2811	-2907	-3071	-3279	-3398	-3502	-3598	
	Randzone	Zonder dakopstand	-1,8	0,20	-2,00	-1437	-1536	-1622	-1700	-1771	-1895	-2004	-2105	-2186	-2264	-2439	-2576	-2700	-2811	-2907	-3071	-3279	-3398	-3502	-3598	
		h _p /h = 0.025	-1,8	0,20	-2,00	-1306	-1396	-1474	-1546	-1610	-1723	-1822	-1914	-1987	-2059	-2217	-2341	-2454	-2555	-2643	-2792	-2981	-3089	-3183	-3271	
		hp/h = 0.05	-1,6	0,20	-1,80	-1176	-1256	-1327	-1391	-1449	-1550	-1639	-1722	-1788	-1853	-1995	-2107	-2209	-2300	-2378	-2513	-2683	-2780	-2865	-2944	
Middenzone 1	-1,4	0,20	-1,60	-1045	-1117	-1179	-1236	-1288	-1378	-1457	-1531	-1590	-1647	-1774	-1873	-1963	-2044	-2114	-2234	-2385	-2471	-2547	-2616			
Middenzone 2	-1,2	0,20	-1,40	-914	-977	-1032	-1082	-1127	-1206	-1275	-1340	-1391	-1441	-1552	-1639	-1718	-1789	-1850	-1955	-2087	-2162	-2228	-2289			
Luchtdichte dakvloer	geen compartimentering	Hoekzone	Zonder dakopstand	-2,5	-	-2,50	-1633	-1745	-1843	-1932	-2013	-2153	-2277	-2392	-2484	-2573	-2772	-2927	-3068	-3194	-3303	-3490	-3726	-3861	-3979	-4088
			h _p /h = 0.025	-2,2	-	-2,20	-1437	-1536	-1622	-1700	-1771	-1895	-2004	-2105	-2186	-2264	-2439	-2576	-2700	-2811	-2907	-3071	-3279	-3398	-3502	-3598
			hp/h = 0.05	-2,0	-	-2,00	-1306	-1396	-1474	-1546	-1610	-1723	-1822	-1914	-1987	-2059	-2217	-2341	-2454	-2555	-2643	-2792	-2981	-3089	-3183	-3271
		Randzone	Zonder dakopstand	-1,8	-	-1,80	-1176	-1256	-1327	-1391	-1449	-1550	-1639	-1722	-1788	-1853	-1995	-2107	-2209	-2300	-2378	-2513	-2683	-2780	-2865	-2944
			h _p /h = 0.025	-2,0	-	-2,00	-1306	-1396	-1474	-1546	-1610	-1723	-1822	-1914	-1987	-2059	-2217	-2341	-2454	-2555	-2643	-2792	-2981	-3089	-3183	-3271
			hp/h = 0.1	-1,8	-	-1,80	-1176	-1256	-1327	-1391	-1449	-1550	-1639	-1722	-1788	-1853	-1995	-2107	-2209	-2300	-2378	-2513	-2683	-2780	-2865	-2944
Middenzone 1	-1,6	-	-1,60	-1045	-1117	-1179	-1236	-1288	-1378	-1457	-1531	-1590	-1647	-1774	-1873	-1963	-2044	-2114	-2234	-2385	-2471	-2547	-2616			
Middenzone 2	-1,4	-	-1,40	-914	-977	-1032	-1082	-1127	-1206	-1275	-1340	-1391	-1441	-1552	-1639	-1718	-1789	-1850	-1955	-2087	-2162	-2228	-2289			
Middenzone 1	-1,2	-	-1,20	-784	-838	-885	-927	-966	-1034	-1093	-1148	-1192	-1235	-1330	-1405	-1472	-1533	-1586	-1675	-1788	-1853	-1910	-1962			
Middenzone 2	-1,2	-	-1,20	-784	-838	-885	-927	-966	-1034	-1093	-1148	-1192	-1235	-1330	-1405	-1472	-1533	-1586	-1675	-1788	-1853	-1910	-1962			

Tabel 5: Windbelasting (in N/m²) op een plat dak voor een referentie-windsnelheid v_{b,0} = 26m/s, veiligheidsfactor γ_Q = 1,25, c_{prob} = 0,959 en terreinhelling ≤ 5%

3. BALLAST

Ballast op een plat dak kan bestaan uit meerdere soorten materialen: tegels, grind of een meer monoliet geheel zoals beton of gietasfalt.

Ballast kan eveneens verschillende functies hebben. Ze kan geplaatst worden om:

- de windbelasting op het losliggende dak of een onvoldoend verkleefd/gelast dak op te nemen
- het opdrijven van isolatieplaten bij omkeerdaken te voorkomen

of ze kan uit andere niet-structurele overwegingen voorzien worden, zoals bijvoorbeeld:

- bescherming tegen UV-straling
- beperking thermische belasting van het dak
- verbetering brandgedrag
- esthetische overwegingen
- andere praktische overwegingen (bv. het voorzien van een looppad als vluchtweg op het dak,...)

In alle gevallen zal ze aan windkrachten onderhevig zijn en berekend moeten worden om hieraan te kunnen weerstaan.

Wanneer de ballast geplaatst wordt uit niet-structurele overwegingen dient ze windstabil te zijn op zichzelf. Wanneer de ballast geplaatst wordt om de globale stabiliteit van de structuur te garanderen, dient ze niet alleen zelf windstabil te zijn, maar tevens gedimensioneerd te worden om te helpen de windbelasting op het dak op te vangen.

Dit BUtgb-infoblad behandelt uitsluitend de invloed van de windkrachten op de ballast en doet geen uitspraken over andere minimale vereisten (zoals bv. een minimale ballastlaag om te kunnen voldoen aan $B_{\text{ROOF}}(t_1)$ voor bepaalde daken). Hiervoor verwijzen we naar andere documentatie terzake.

3.1 BALLAST - TEGELS

3.1.1 Algemeen

Tegels worden bij voorkeur op tegeldragers geplaatst, waarbij het contactoppervlak van de tegeldragers voldoende groot moet zijn om overdreven indrukking op het afdichtings- of isolatiemateriaal te voorkomen. De toegelaten permanente drukspanning voor tegeldragers wordt weergegeven in de ATG's van de materialen. De isolatie moet behoren tot klasse P3 of klasse P4 (cf. TV 215).

3.1.2 Minimale oppervlaktemassa (in kg/m^2) van losliggende tegels op platte daken

Onderstaande resultaten zijn opgesteld op basis van volgende veronderstellingen:

- de tegels zijn naast elkaar geplaatst, waarbij het openingspercentage van het geheel (inclusief voegen) $\geq 0,1\%$

- het dakoppervlak waarop de tegels geplaatst zijn, kan beschouwd worden als luchtdicht
- de wind kan niet via de eerste rij tegels (aan de rand van het dak bijvoorbeeld) onder de tegels geblazen worden
- er hoeven geen dynamische windeffecten in rekening gebracht te worden
- dakhelling $\leq 5^\circ$
- terreinhelling $\leq 5\%$
- er is in de nabijheid van het gebouw/dak geen gebouw/dak gelegen dat minstens 2 keer zo hoog is als het beschouwde gebouw/dak

Voor meer details over de berekeningsprincipes wordt verwezen naar het rapport BRE Digest 295 "Stability under wind load of loose-laid external roof insulation boards." en de norm NBN EN 1991-1-4 (met name paragraaf 7.2.10 "Druk op buitengevels of daken met meer dan één laag" of paragraaf 2.2.2.3 van dit BUtgb-informatieblad).

Tegels op een plat dak moeten op zich windstabil zijn. Het minimale gewicht dat hiervoor nodig is, kan afgelezen worden in tabellen 6 t.e.m. 9. Dit gewicht is niet noodzakelijkerwijs voldoende om de windbelasting op het losliggend dak op te nemen, maar is wel voldoende om te vermijden dat de tegels zelf gaan opwippen en zich gaan verplaatsen onder invloed van de wind.

Nota: in de berekening van de windlast is er rekening gehouden met een veiligheidsfactor γ_Q van 1,25 en een levensduur van 25 jaar. Doordat een te laag gewicht van de losliggende tegels nadelig kan zijn voor het statische evenwicht, is er eveneens rekening gehouden met een bijkomende veiligheidsfactor op de minimaal benodigde oppervlaktemassa van de losliggende tegels. Naar analogie met NBN EN 1990 (tabel A.1.2(A)) is hier een veiligheidsfactor γ_G van 1,1 in rekening genomen.

3.1.3 Benodigde oppervlaktemassa (in kg/m^2) van losliggende tegels op platte daken tegen opwaaien van dakdichting, isolatie,...

Als de tegels moeten dienen om de windbelasting op het losliggend dak op te nemen, dan moet de rekenwaarde van hun gewicht minstens even groot zijn als de windbelasting, zoals besproken in paragraaf 2 (cf. NBN EN 1991-1-4) en bijkomend minstens voldoen aan het minimale gewicht zoals vermeld in tabellen 6 t.e.m. 9.

Nota: in beide gevallen mag men niet vergeten nog bijkomende veiligheidsfactoren in rekening te brengen: een materiaal-veiligheidsfactor voor de windweerstand van dakafdichtingen, isolatie,... (zie ook de desbetreffende ATG's) en een veiligheidsfactor γ_G van 1,1 op het gewicht van de voorziene tegels.

v= 23m/s	DAKHOOGTE (m)																				
0 Zee	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3
I Vlak gebied	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9	16,3	19,4	22,6	25,9	
II Lage vegetatie	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2	34,1	39,0	44,1	
III Regelmatige begroeiing	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0	70,0	80,0	90,0	100,0	
IV Gebouwen > 15m	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-	
Hoekzone	47	50	53	55	58	62	65	69	71	74	80	84	88	92	95	100	107	111	114	117	
Randzone	37	40	42	44	46	49	52	55	57	59	64	67	70	73	76	80	86	89	91	94	
Middenzone 1	22	24	25	27	28	30	31	33	34	35	38	40	42	44	45	48	51	53	55	56	
Middenzone 2	4	4	4	4	5	5	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	9	9	9	

Tabel 6: Minimaal benodigd gewicht (in kg/m², met veiligheidsfactor $\gamma_G = 1,1$) van windstabele ballasttegels ($v_{b,0} = 23\text{m/s}$, veiligheidsfactor $\gamma_Q = 1,25$, $c_{\text{prob}} = 0,959$ en terreinhelling $\leq 5\%$)

v= 24m/s	DAKHOOGTE (m)																				
0 Zee	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3
I Vlak gebied	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9	16,3	19,4	22,6	25,9	
II Lage vegetatie	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2	34,1	39,0	44,1	
III Regelmatige begroeiing	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0	70,0	80,0	90,0	100,0	
IV Gebouwen > 15m	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-	
Hoekzone	51	55	58	60	63	67	71	75	78	80	87	92	96	100	103	109	116	121	124	128	
Randzone	41	44	46	48	50	54	57	60	62	64	69	73	77	80	83	87	93	97	100	102	
Middenzone 1	24	26	28	29	30	32	34	36	37	39	42	44	46	48	50	52	56	58	60	61	
Middenzone 2	4	4	5	5	5	5	6	6	6	6	7	7	8	8	8	9	9	10	10	10	

Tabel 7: Minimaal benodigd gewicht (in kg/m², met veiligheidsfactor $\gamma_G = 1,1$) van windstabele ballasttegels ($v_{b,0} = 24\text{m/s}$, veiligheidsfactor $\gamma_Q = 1,25$, $c_{\text{prob}} = 0,959$ en terreinhelling $\leq 5\%$)

v= 25m/s	DAKHOOGTE (m)																				
0 Zee	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3
I Vlak gebied	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9	16,3	19,4	22,6	25,9	
II Lage vegetatie	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2	34,1	39,0	44,1	
III Regelmatige begroeiing	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0	70,0	80,0	90,0	100,0	
IV Gebouwen > 15m	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-	
Hoekzone	55	59	63	65	68	73	77	81	84	87	94	99	104	108	112	118	126	131	135	139	
Randzone	44	47	50	52	55	58	62	65	67	70	75	79	83	87	90	95	101	105	108	111	
Middenzone 1	27	28	30	31	33	35	37	39	40	42	45	48	50	52	54	57	61	63	65	67	
Middenzone 2	4	5	5	5	5	6	6	6	7	7	8	8	8	9	9	9	10	10	11	11	

Tabel 8: Minimaal benodigd gewicht (in kg/m², met veiligheidsfactor $\gamma_G = 1,1$) van windstabele ballasttegels ($v_{b,0} = 25\text{m/s}$, veiligheidsfactor $\gamma_Q = 1,25$, $c_{\text{prob}} = 0,959$ en terreinhelling $\leq 5\%$)

v= 26m/s	DAKHOOGTE (m)																				
0 Zee	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3
I Vlak gebied	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9	16,3	19,4	22,6	25,9	
II Lage vegetatie	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2	34,1	39,0	44,1	
III Regelmatige begroeiing	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0	70,0	80,0	90,0	100,0	
IV Gebouwen > 15m	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-	
Hoekzone	60	64	68	71	74	79	83	88	91	94	102	107	112	117	121	128	137	142	146	150	
Randzone	48	51	54	57	59	63	67	70	73	75	81	86	90	94	97	102	109	113	117	120	
Middenzone 1	29	31	32	34	35	38	40	42	44	45	49	52	54	56	58	61	66	68	70	72	
Middenzone 2	5	5	5	6	6	6	7	7	7	8	8	9	9	9	10	10	11	11	12	12	

Tabel 9: Minimaal benodigd gewicht (in kg/m², met veiligheidsfactor $\gamma_G = 1,1$) van windstabele ballasttegels ($v_{b,0} = 26\text{m/s}$, veiligheidsfactor $\gamma_Q = 1,25$, $c_{\text{prob}} = 0,959$ en terreinhelling $\leq 5\%$)

3.2 BALLAST - GRIND

3.2.1 Algemeen

Grind kan gerold of gebroken zijn. Wanneer het grind veel scherpe hoeken vertoont, moet er aandacht besteedt worden aan mogelijke beschadigingen van de daklaag (bv. dakafdichting) waarop ze geplaatst wordt. Mogelijks zal er eerst een beschermingslaag moeten voorzien worden.

3.2.2 Minimale grinddiameter (in mm)

Onderstaande resultaten zijn opgesteld op basis van BRE Digest 311 "*Wind scour of gravel ballast on roofs*". In dit wetenschappelijk artikel uit het Verenigd Koninkrijk (1986) wordt aan de hand van experimenteel bepaalde gegevens de windsnelheid berekend waarbij de grindkorrel invloed begint te ondervinden van de wind. Deze windsnelheid is een functie van de diameter van de grindkorrel. Hoe groter de grindkorrel, hoe meer snelheid de wind zal moeten hebben om invloed te kunnen uitoefenen.

Grind op een plat dak moet op zich windstabil zijn. De minimale diameter die nodig is om te voorkomen dat de wind enige invloed heeft op het grind, kan afgelezen worden in tabellen 10 t.e.m. 13.

Met minimale diameter wordt bedoeld dat men bv. bij grind 16/32 met een diameter van minimaal 16 mm moet rekenen.

Ter informatieve titel is in tabellen 10 t.e.m. 13 door middel van een grijze arcering aangeduid bij welke configuraties (hoogte gebouw – ruwheidsklasse) grind 16/32 niet voldoet.

Voor de grotere, niet-gangbare grinddiameters kan er beter overgegaan worden naar tegelballast of andere ballast.

3.2.3 Benodigde oppervlaktemassa (in kg/m²) van grind op platte daken tegen opwaaien van dakdichting, isolatie,...

Als het grind moet dienen om de windbelasting op het losliggend dak op te nemen, dan moet hun gewicht minstens even groot zijn als de windbelasting (cf. NBN EN 1991-1-4), zoals besproken in paragraaf 2. Bijkomend dient de diameter van de te voorziene grindkorrels te voldoen aan de minimale diameter zoals vermeld in tabellen 10 t.e.m. 13.

Nota: bij de bepaling van de oppervlaktemassa van het grind mag men niet vergeten nog een bijkomende veiligheidsfactor γ_G van 1,1 in rekening te brengen op het gewicht van de grindlaag (naar analogie met NBN EN 1990).

v= 23m/s	DAKHOOGTE (m)																				
0 Zee	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3
I Vlak gebied	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9	16,3	19,4	22,6	25,9	
II Lage vegetatie	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2	34,1	39,0	44,1	
III Regelmatige begroeiing	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0	70,0	80,0	90,0	100,0	
IV Gebouwen > 15m	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-	
Hoekzone	31	33	35	36	38	40	43	45	46	48	52	55	57	59	61	65	69	71	73	75	
Randzone	12	13	14	14	15	16	17	17	18	19	20	21	22	23	24	25	27	28	29	29	
Middenzone 1	12	13	14	14	15	16	17	17	18	19	20	21	22	23	24	25	27	28	29	29	
Middenzone 2	12	13	14	14	15	16	17	17	18	19	20	21	22	23	24	25	27	28	29	29	

Tabel 10: Minimaal benodigde diameter (in mm) van windstabiël grindballast ($v_{b,0} = 23\text{m/s}$, veiligheidsfactor $\gamma_Q = 1,25$, $c_{\text{prob}} = 0,959$ en terreinhelling $\leq 5\%$)

v= 24m/s	DAKHOOGTE (m)																				
0 Zee	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3
I Vlak gebied	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9	16,3	19,4	22,6	25,9	
II Lage vegetatie	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2	34,1	39,0	44,1	
III Regelmatige begroeiing	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0	70,0	80,0	90,0	100,0	
IV Gebouwen > 15m	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-	
Hoekzone	34	36	38	39	41	44	46	49	51	52	56	59	62	64	67	70	75	78	80	82	
Randzone	13	14	15	15	16	17	18	19	20	20	22	23	24	25	26	27	29	30	31	32	
Middenzone 1	13	14	15	15	16	17	18	19	20	20	22	23	24	25	26	27	29	30	31	32	
Middenzone 2	13	14	15	15	16	17	18	19	20	20	22	23	24	25	26	27	29	30	31	32	

Tabel 11: Minimaal benodigde diameter (in mm) van windstabiël grindballast ($v_{b,0} = 24\text{m/s}$, veiligheidsfactor $\gamma_Q = 1,25$, $c_{\text{prob}} = 0,959$ en terreinhelling $\leq 5\%$)

v= 25m/s	DAKHOOGTE (m)																				
0 Zee	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3
I Vlak gebied	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9	16,3	19,4	22,6	25,9	
II Lage vegetatie	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2	34,1	39,0	44,1	
III Regelmatige begroeiing	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0	70,0	80,0	90,0	100,0	
IV Gebouwen > 15m	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-	
Hoekzone	36	39	41	43	45	48	50	53	55	57	61	64	67	70	72	76	81	84	86	89	
Randzone	14	15	16	17	17	19	20	21	21	22	24	25	26	27	28	30	32	33	34	35	
Middenzone 1	14	15	16	17	17	19	20	21	21	22	24	25	26	27	28	30	32	33	34	35	
Middenzone 2	14	15	16	17	17	19	20	21	21	22	24	25	26	27	28	30	32	33	34	35	

Tabel 12: Minimaal benodigde diameter (in mm) van windstabiël grindballast ($v_{b,0} = 25\text{m/s}$, veiligheidsfactor $\gamma_Q = 1,25$, $c_{\text{prob}} = 0,959$ en terreinhelling $\leq 5\%$)

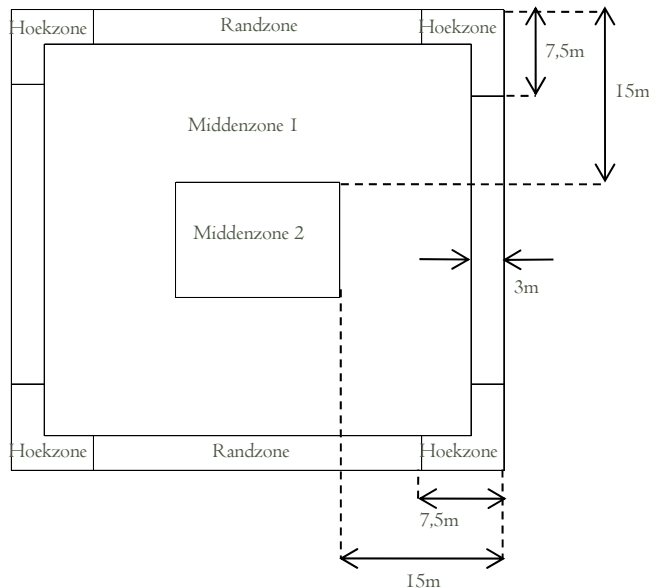
v= 26m/s	DAKHOOGTE (m)																				
0 Zee	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2	11,5	14,0	16,5	19,3
I Vlak gebied	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9	16,3	19,4	22,6	25,9	
II Lage vegetatie	-	-	-	-	-	-	4,6	5,4	6,1	6,9	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2	29,2	34,1	39,0	44,1	
III Regelmatige begroeiing	6,0	7,0	8,0	9,0	10,0	12,0	14,0	16,0	18,0	20,0	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0	70,0	80,0	90,0	100,0	
IV Gebouwen > 15m	16,3	18,8	21,3	23,7	26,2	30,9	35,7	40,4	45,0	49,6	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-	-	-	-	-	
Hoekzone	39	42	44	46	48	51	54	57	59	61	66	69	72	75	78	82	88	91	93	96	
Randzone	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	26	27	28	29	30	32	34	35	36	37	
Middenzone 1	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	26	27	28	29	30	32	34	35	36	37	
Middenzone 2	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	26	27	28	29	30	32	34	35	36	37	

Tabel 13: Minimaal benodigde diameter (in mm) van windstabiël grindballast ($v_{b,0} = 26\text{m/s}$, veiligheidsfactor $\gamma_Q = 1,25$, $c_{\text{prob}} = 0,959$ en terreinhelling $\leq 5\%$)

BIJLAGE A: REKENVOORBEELD

Gebouw met plat dak, gelegen op vlak terrein in Namen, is 15m hoog, 40m breed en 45m lang. De randen van het dak zijn recht en de verhouding tussen hoogte dakopstand en hoogte gebouw (h_p/h) is 0,025.

De bepaling van de dakzones gebeurt als volgt:



- $\min(d_1/10, 2h/10) = 3\text{m}$
- $\min(d_1/4, 2h/4) = 7,5\text{m}$
- $\min(d_2/4, 2h/4) = 7,5\text{m}$
- $\min(d_1/2, 2h/2) = 15\text{m}$
- $\min(d_2/2, 2h/2) = 15\text{m}$

Fig. A1: Dakzones van het plat dak

A1. Voorbeeld 1: terreinklasse II en luchtdichte dakvloer

In dit eerste voorbeeld veronderstellen we dat de dakvloer een monolitische betonvloer is.

Tabel A1 is een extract uit tabel 3, paragraaf 2. Het tabuleert de waarden van de windbelasting in N/m^2 voor een luchtdichte dakvloer.

$v = 24\text{m/s}$						DAKHOOGTE (m)					
0 Zee						-	-	4,3	5,2	6,2	8,2
I Vlak gebied						4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9
II Lage vegetatie						9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2
III Regelmatige begroeiing						25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0
IV Gebouwen > 15m						61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-
Luchtdichte dakvloer	Dakzone	Dakopstanden	c_{pe}	c_{pi}	c_p	WINDBELASTING (in N/m^2)					
	Hoekzone	Zonder dakopstand	-2,5	-	-2,50	-2363	-2496	-2613	-2720	-2815	-2976
		$h_p/h = 0.025$	-2,2	-	-2,20	-2080	-2196	-2300	-2393	-2477	-2619
		$h_p/h = 0.05$	-2,0	-	-2,00	-1891	-1996	-2091	-2176	-2252	-2381
		$h_p/h = 0.1$	-1,8	-	-1,80	-1702	-1797	-1882	-1958	-2027	-2142
	Randzone	Zonder dakopstand	-2,0	-	-2,00	-1891	-1996	-2091	-2176	-2252	-2381
$h_p/h = 0.025$		-1,8	-	-1,80	-1702	-1797	-1882	-1958	-2027	-2142	
$h_p/h = 0.05$		-1,6	-	-1,60	-1512	-1597	-1673	-1741	-1801	-1904	
$h_p/h = 0.1$		-1,4	-	-1,40	-1323	-1397	-1463	-1523	-1576	-1666	
Middenzone 1		-	-1,2	-	-1,20	-1134	-1198	-1254	-1305	-1351	-1428
Middenzone 2		-	-0,2	-	-0,20	-189	-200	-209	-218	-225	-238

Tabel A1: Windbelasting (in N/m^2)

Dit resulteert voor het voorbeeld in:

- Hoekzone: -2376 N/m^2 (A1)
- Randzone: -1944 N/m^2 (A2)
- Middenzone 1: -1296 N/m^2 (A3)
- Middenzone 2: $-216,4 \text{ N/m}^2$ (A4)

A1.1 Controle van de volvlakkig gekleefde dakdichting

We nemen aan dat de nuttige windweerstand (rekenwaarde) van de gekleefde dakdichting een waarde van 2000 N/m^2 heeft volgens de desbetreffende ATG. De windweerstand is dus voldoende voor middenzone 1, middenzone 2 en randzone ($216,4 \text{ N/m}^2$; 1296 N/m^2 ; 1944 N/m^2), maar onvoldoende voor de hoekzone (2376

N/m²). Er moet m.a.w. ofwel gekozen worden voor een andere dakoplossing of er moet bijkomend ballast voorzien worden in de hoekzone.

A1.2 Bepaling van de ballast onder vorm van tegels

In de hoekzone is de windbelasting 2376 N/m² en de windweerstand van de dakdichting 2000 N/m². Indien men de dakopbouw wenst te behouden, dient er bijgevolg 376 N/m² aan ballast voorzien te worden.

Uitgaande van ballasttegels uit beton (veiligheidsfactor $\gamma_G = 1,1$ en dichtheid beton = 1800 kg/m³) kan afgeleid worden dat het benodigde gewicht van de betontegels in de hoekzone $376 \text{ N/m}^2 * 1,1 = 41,4 \text{ kg/m}^2$ is, oftewel betontegels met een dikte van 2,3 cm (in de praktijk: 3,0 cm).

Aangezien er betontegels op het dak gelegd worden, dient er ook voor gezorgd te worden dat zij op zichzelf windstabil zijn. Om dit na te gaan, bekijken we het minimaal benodigde gewicht volgens paragraaf 3, tabel 7. Een extract hiervan is hernomen in tabel A2:

v= 24m/s	DAKHOOGTE (m)					
	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2
0 Zee	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2
I Vlak gebied	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9
II Lage vegetatie	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2
III Regelmatige begroeiing	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0
IV Gebouwen > 15m	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-
Hoekzone	87	92	96	100	103	109
Randzone	69	73	77	80	83	87
Middenzone 1	42	44	46	48	50	52
Middenzone 2	7	7	8	8	8	9

Tabel A2: Minimaal benodigd gewicht (in kg/m², met veiligheidsfactor $\gamma_G = 1,1$)

Dit resulteert voor het voorbeeld in:

Hoekzone:	99,3 kg/m ²	betontegel met dikte van 5,5 cm oftewel in de praktijk: 6,0 cm
-----------	------------------------	---

Tabel A3: Minimaal benodigde gewicht (in kg/m²) in de hoekzone voor voorbeeld 1

Hoewel er vanuit structureel oogpunt in de hoekzone slechts betontegels met een dikte van 3,0 cm nodig is, dient de dikte van de tegel verhoogd te worden tot 6,0 cm om ervoor te zorgen dat de tegels op zichzelf niet gaan opwippen onder invloed van de wind.

A1.3 Bepaling van de ballast onder vorm van grind

In de hoekzone is de windbelasting 2376 N/m² en de windweerstand van de dakdichting 2000 N/m². Indien men de dakopbouw wenst te behouden, dient er bijgevolg 376 N/m² aan ballast voorzien te worden.

Uitgaande van grindballast (veiligheidsfactor $\gamma_G = 1,1$ en dichtheid grind = 1400 kg/m³ - dichtheid grind is afhankelijk van steensoort en diameter) kan afgeleid worden dat het benodigde gewicht van de grindlaag $376 \text{ N/m}^2 * 1,1 = 41,4 \text{ kg/m}^2$ is, oftewel 3,0 cm grind.

Aangezien er grind op het dak gelegd worden, dient er ook voor gezorgd te worden dat de grindkorrels op zichzelf windstabil zijn. Om dit na te gaan, bekijken we de minimaal benodigde diameter volgens paragraaf 3, tabel 11. Een extract hiervan is hernomen in tabel A4:

v= 24m/s	DAKHOOGTE (m)					
	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2
0 Zee	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2
I Vlak gebied	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9
II Lage vegetatie	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2
III Regelmatige begroeiing	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0
IV Gebouwen > 15m	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-
Hoekzone	56	59	62	64	67	70
Randzone	22	23	24	25	26	27
Middenzone 1	22	23	24	25	26	27
Middenzone 2	22	23	24	25	26	27

Tabel A4: Minimaal benodigde diameter (in mm)

Dit resulteert voor dit voorbeeld in:

Hoekzone:	ca. 64 mm	Eerder ballasttegels plaatsen
-----------	-----------	-------------------------------

Tabel A5: Minimaal benodigde diameter (in mm) in de hoekzone voor voorbeeld 1

Hoewel er vanuit structureel oogpunt in de hoekzone een grindlaag met dikte van 3,0 cm zou volstaan, is de benodigde minimale diameter opdat het grindpakket zelf geen invloed zou ondervinden van de wind te groot (namelijk: 64 mm), zodat er toch moet overgegaan worden naar een andere vorm van ballast.

A2. Voorbeeld 2: terreinklasse II en luchtopen dakvloer

In dit tweede voorbeeld veronderstellen we dat de dakvloer een luchtopen dakvloer is, bestaande uit geprofileerde staalplaten. We veronderstellen eveneens dat de gevels voorzien zijn van een uniforme verdeling van openingen.

Tabel A6 is een extract uit tabel 3, paragraaf 2. Het tabuleert de waarden van de windbelasting in N/m² voor een luchtopen dakvloer en gevels met een gelijkmatige luchtdoorlatendheid.

v = 24m/s				DAKHOOGTE (m)								
				0 Zee	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2		
				I Vlak gebied	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9		
				II Lage vegetatie	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2		
				III Regelmatige begroeiing	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0		
				IV Gebouwen > 15m	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-		
		Dakzone	Dakopstanden	c _{pe}	c _{pi}	c _p	WINDBELASTING (in N/m ²)					
Luchtopen dakvloer	Gevels met gelijkmatige luchtdoorlatendheid	Hoekzone	Zonder dakopstand	-2,5	0,20	-2,70	-2552	-2695	-2822	-2937	-3040	-3214
			h _p /h = 0.025	-2,2	0,20	-2,40	-2269	-2396	-2509	-2611	-2702	-2857
			hp/h = 0.05	-2,0	0,20	-2,20	-2080	-2196	-2300	-2393	-2477	-2619
			hp/h = 0.1	-1,8	0,20	-2,00	-1891	-1996	-2091	-2176	-2252	-2381
		Randzone	Zonder dakopstand	-2,0	0,20	-2,20	-2080	-2196	-2300	-2393	-2477	-2619
			h _p /h = 0.025	-1,8	0,20	-2,00	-1891	-1996	-2091	-2176	-2252	-2381
			hp/h = 0.05	-1,6	0,20	-1,80	-1702	-1797	-1882	-1958	-2027	-2142
			hp/h = 0.1	-1,4	0,20	-1,60	-1512	-1597	-1673	-1741	-1801	-1904
		Middenzone 1	-	-1,2	0,20	-1,40	-1323	-1397	-1463	-1523	-1576	-1666
		Middenzone 2	-	-0,2	0,20	-0,40	-378	-399	-418	-435	-450	-476

Tabel A6: Windbelasting (in N/m²)

Dit resulteert voor dit voorbeeld in:

$$\text{Hoekzone: } -2592,5 \text{ N/m}^2 \quad (\text{A5})$$

$$\text{Randzone: } -2160,5 \text{ N/m}^2 \quad (\text{A6})$$

$$\text{Middenzone 1: } -1512,1 \text{ N/m}^2 \quad (\text{A7})$$

$$\text{Middenzone 2: } -431,9 \text{ N/m}^2 \quad (\text{A8})$$

A2.1 Controle van de volvlakkig gekleefde dakdichting

We nemen aan dat de nuttige windweerstand (rekenwaarde) van de gekleefde dakdichting een waarde van 2000N/m² heeft volgens de desbetreffende ATG. De windweerstand is dus voldoende voor middenzone 1 en middenzone 2 (1512,1 N/m²; 431,9 N/m²), maar onvoldoende voor de hoekzone en randzone (2592,5 N/m²; 2160,5 N/m²). Er moet m.a.w. ofwel gekozen worden voor een andere dakoplossing of er moet bijkomend ballast voorzien worden in de hoek- en randzone.

A2.2 Bepaling van de ballast onder vorm van tegels

Indien men de dakopbouw wenst te behouden, dient er bijgevolg (2592,5 N/m² - 2000N/m² =) 592,5 N/m² aan ballast voorzien te worden in de hoekzone en (2160,5 N/m² - 2000 N/m² =) 160,5 N/m² aan ballast in de randzone.

Uitgaande van ballasttegels uit beton (veiligheidsfactor $\gamma_G = 1,1$ en densiteit beton = 1800 kg/m³) kan afgeleid worden dat het benodigde gewicht van de betontegels de volgende is:

$$\text{Hoekzone: } 592,5 \text{ N/m}^2 * 1,1 = 65,2 \text{ kg/m}^2 \text{ (oftewel betontegel met dikte 3,6 cm)} \quad (\text{A9})$$

(in de praktijk: 4,0 cm)

$$\text{Randzone: } 160,5 \text{ N/m}^2 * 1,1 = 17,7 \text{ kg/m}^2 \text{ (oftewel betontegel met dikte 1,0 cm)} \quad (\text{A10})$$

(in de praktijk: 3,0 cm)

Aangezien er betontegels op het dak gelegd worden, dient er ook voor gezorgd te worden dat zij op zichzelf windstabil zijn. Om dit na te gaan, bekijken we het minimaal benodigde gewicht volgens paragraaf 3, tabel 7. Een extract hiervan is hernomen in tabel A7:

v= 24m/s	DAKHOOGTE (m)					
	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2
0 Zee	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2
I Vlak gebied	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9
II Lage vegetatie	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2
III Regelmatige begroeiing	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0
IV Gebouwen > 15m	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-
Hoekzone	87	92	96	100	103	109
Randzone	69	73	77	80	83	87
Middenzone 1	42	44	46	48	50	52
Middenzone 2	7	7	8	8	8	9

Tabel A7: Minimaal benodigd gewicht (in kg/m², met veiligheidsfactor $\gamma_G = 1,1$)

Dit resulteert voor dit voorbeeld in:

Hoekzone:	99,3 kg/m ²	betontegel met dikte van 5,5 cm oftewel in de praktijk: 6,0 cm
Randzone:	79,5 kg/m ²	betontegel met dikte van 4,4 cm oftewel in de praktijk: 5,0 cm

Tabel A8: Minimaal benodigde diameter (in mm) per dakzone voor voorbeeld 1

Dit betekent dat er volgende dikte van betontegels moet voorzien worden:

Hoekzone: 6,0 cm [i.p.v. 4,0 cm volgens (A9)] (A11)

Randzone: 5,0 cm [i.p.v. 1,0 cm volgens (A10)] (A12)

A2.3 Bepaling van de ballast onder vorm van grind

Indien men de dakopbouw wenst te behouden, dient er bijgevolg ($2592,5 \text{ N/m}^2 - 2000 \text{ N/m}^2 =$) $592,5 \text{ N/m}^2$ aan ballast voorzien te worden in de hoekzone en ($2160,5 \text{ N/m}^2 - 2000 \text{ N/m}^2 =$) $160,5 \text{ N/m}^2$ aan ballast in de randzone.

Uitgaande van grindballast (veiligheidsfactor $\gamma_G = 1,1$ en densiteit grind = 1400 kg/m^3 - densiteit grind is afhankelijk van steensoort en diameter) kan afgeleid worden dat het benodigde gewicht van de grindlaag de volgende is:

Hoekzone: $592,5 \text{ N/m}^2 * 1,1 = 65,2 \text{ kg/m}^2$ (oftewel grindlaag met dikte 4,7 cm) (A13)

Randzone: $160,5 \text{ N/m}^2 * 1,1 = 17,7 \text{ kg/m}^2$ (oftewel grindlaag met dikte 1,3 cm) (A14)

Aangezien er grind op het dak gelegd wordt, dient er ook voor gezorgd te worden dat de grindkorrels op zichzelf windstabil zijn. Om dit na te gaan, bekijken we de minimaal benodigde diameter volgens paragraaf 3, tabel 11. Een extract hiervan is hernomen in tabel A9:

v= 24m/s	DAKHOOGTE (m)					
	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2
0 Zee	-	-	4,3	5,2	6,2	8,2
I Vlak gebied	4,3	5,4	6,6	7,9	9,2	11,9
II Lage vegetatie	9,0	11,0	13,2	15,4	17,6	22,2
III Regelmatige begroeiing	25,0	30,0	35,0	40,0	45,0	55,0
IV Gebouwen > 15m	61,0	72,0	83,3	94,3	105,0	-
Hoekzone	56	59	62	64	67	70
Randzone	22	23	24	25	26	27
Middenzone 1	22	23	24	25	26	27
Middenzone 2	22	23	24	25	26	27

Tabel A9: Minimaal benodigde diameter (in mm)

Dit resulteert voor dit voorbeeld in:

Hoekzone:	ca 64 mm	Eerder ballasttegels plaatsen
Randzone:	ca 25 mm	

Tabel A10: Minimaal benodigde diameter (in mm) per dakzone voor voorbeeld 1

Dit betekent dat er volgende dikte en diameter van het grind moet voorzien worden:

Hoekzone: 4,7 cm laagdikte en 64 mm grinddiameter (A15)

Randzone: 1,3 cm laagdikte en 25 mm grinddiameter (A16)

Hoewel er vanuit structureel oogpunt de dikte van de grindlaag in de hoek- en randzone een praktisch haalbare grootte heeft, is de benodigde minimale diameter opdat het grindpakket zelf geen invloed zou ondervinden van

de wind te groot (namelijk: 64 mm en 25 mm), zodat er toch moet overgegaan worden naar een andere vorm van ballast.

A2.4 Bepaling van het aantal mechanische bevestigingen nodig bij isolatieplaten

We beschouwen mechanisch bevestigde isolatieplaten van 0,60 m x 1,20 m (= 0,72 m²) met een nuttige windweerstand (rekenwaarde) van 400N per schroef (volgens waarde hernomen in de ATG of volgens de forfaitaire waarden opgegeven in de TV 239, §7.4).

Het aantal schroeven per isolatieplaat kan als volgt bepaald worden:

Hoekzone:	$-2592,5 \text{ N/m}^2 * 0,72 \text{ m}^2 / 400 \text{ N} = 4,67$ schroeven (5 schroeven/plaat)	(A17)
Randzone:	$-2160,5 \text{ N/m}^2 * 0,72 \text{ m}^2 / 400 \text{ N} = 3,89$ schroeven (4 schroeven/plaat)	(A18)
Middenzone 1:	$-1512,1 \text{ N/m}^2 * 0,72 \text{ m}^2 / 400 \text{ N} = 2,72$ schroeven (3 schroeven/plaat)	(A19)
Middenzone 2:	$-431,9 \text{ N/m}^2 * 0,72 \text{ m}^2 / 400 \text{ N} = 0,78$ schroeven (1 schroef/plaat)	(A20)

Er moet uiteraard ook nog voldaan worden aan de voorschriften i.v.m. het minimum aantal bevestigingen per plaat. Dit is bepaald volgens de BUtgb-richtlijnen in functie van het materiaal waaruit de isolatieplaten zijn opgebouwd:

Isolatietype	Minimum aantal bevestigingen per plaat
Platen uit minerale wol (MW)	1 voor platen tot 2000 x 600 mm ² of 1200 x 1000 mm ² 2 voor grotere platen
Kunststofschuim (EPS)	4 voor platen tot 1,5m ² 6 voor platen tot 2m ²
Kunststofschuim (PUR, PIR, PF)	4 voor platen tot 1200 x 600 mm ² 6 voor grotere platen en/of platen met een dikte van 30mm
Perlietplaten (EPB)	2 voor platen tot 1200 x 600 mm ² 4 voor grotere platen

Tabel A11: Minimaal benodigd aantal bevestigingen per isolatieplaat (BUtgb-richtlijnen)

Voor de correcte plaatsing van de schroeven wordt verwezen naar TV 239 en naar de ATG voor het desbetreffende isolatiemateriaal.