

TNO-rapport

2005-BBE-R068

Windbelasting op Zonne-energiedaken

Binnenmilieu, Bouwfysica en
Energie
Van Mourik Broekmanweg 6
Postbus 49
2600 AA Delft

www.tno.nl

T 015 276 30 00
F 015 276 30 23

Datum	1 juli 2005
Auteur(s)	Dr.ir. C.P.W. Geurts Ir. C.A. van Benthum
Projectbegeleiding	Ir. B.J.M. van Kampen
Aantal pagina's	66
Aantal bijlagen	3
Opdrachtgever	SenterNovem
Projectnaam	Windbelasting op Zonne-energiedaken
Projectnummer	2020-04-11-11-004

Alle rechten voorbehouden.

Niets uit deze uitgave mag worden vermenigvuldigd en/of openbaar gemaakt door middel van druk, foto-kopie, microfilm of op welke andere wijze dan ook, zonder voorafgaande toestemming van TNO.

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

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

Inhoudsopgave

1	Introductie.....	5
2	Basisinformatie	6
2.1	Uitgevoerde onderzoeken	6
2.2	Aanvullende bepalingen	6
2.2.1	Implementatie Eurocode EN-1991-1-4	6
2.2.2	Bepaling van de windbelasting buiten Nederland	7
2.2.3	Invloed van hogere gebouwen.....	7
2.2.4	Invloed van hellingen	8
2.2.5	In rekening brengen van windrichtingafhankelijkheid	9
2.3	Wensen van de praktijk	11
3	Plat-daksystemen (montagewijze 3).....	13
3.1	Onderwerp	13
3.2	Toepassingsgebied.....	13
3.3	Symbolen en definities	13
3.4	Zonne-energiesystemen met een hellingshoek van minder dan 10 graden.....	13
3.4.1	Stuwdruk	13
3.4.2	Vormfactoren.....	13
3.4.3	Drukvereffening	14
3.4.4	Reductie voor afmetingen.....	14
3.4.5	Dynamische vergrotingsfactor.....	14
3.5	Zonne-energiesystemen met een hellinghoek tussen 10 en 40 graden	15
3.5.1	Stuwdruk	15
3.5.2	Vormfactoren.....	15
3.5.3	Drukvereffening	17
3.5.4	Reductie voor afmetingen.....	17
3.5.5	Dynamische vergrotingsfactor.....	17
3.6	Zonne-energiesystemen met een hellinghoek tussen 40 en 70 graden	17
3.6.1	Stuwdruk	17
3.6.2	Vormfactoren.....	17
3.6.3	Drukvereffening	17
3.6.4	Reductie voor afmetingen.....	17
3.6.5	Dynamische vergrotingsfactor.....	18
3.7	Overige bepalingen.....	18
3.7.1	Bebouwde en onbebouwde omgeving	18
3.7.2	Zone-indeling rond hoogteverschillen, een opbouw of dakdoorbreking op een plat dak.....	18
4	Zonne-energiesystemen toegepast op een hellend dak (montagewijzen 1 en 2).....	20
4.1	Onderwerp	20
4.2	Toepassingsgebied.....	20
4.3	Symbolen en definities	20
4.4	Zonne-energiesystemen geïntegreerd in het dak (montagewijze 1)	20
4.4.1	Stuwdruk	20
4.4.2	Vormfactoren.....	20
4.4.3	Drukvereffening	20
4.4.4	Reductie voor afmetingen.....	21
4.4.5	Dynamische vergrotingsfactor.....	22
4.5	Zonne-energiesystemen toegepast evenwijdig aan de dakbedekking (montagewijze 2).....	22

4.5.1	Stuwdruk	22
4.5.2	Vormfactoren.....	22
4.5.3	Drukvereffening	22
4.5.4	Reductie voor afmetingen.....	22
4.5.5	Dynamische vergrotingsfactor.....	23
5	Toepassing van zonne-energie aan gevels van gebouwen (montagewijzen 1 en 2)	24
5.1	Onderwerp	24
5.2	Toepassingsgebied.....	24
5.3	Symbolen en definities	24
5.4	Bepaling van de windbelasting.....	24
5.4.1	Stuwdruk	24
5.4.2	Vormfactoren.....	24
5.4.3	Drukvereffening	25
5.4.4	Reductie voor afmetingen.....	25
5.4.5	Dynamische vergrotingsfactor.....	26
6	Voorstel voor NVN 7250	27
6.1	Bepalingen stuwdruk	28
6.1.1	Bebouwde en onbebouwde omgeving.....	28
6.1.2	Kustgebieden	28
6.1.3	Referentiehoogte	28
6.1.4	Invloed van hogere gebouwen.....	28
6.1.5	Invloed van hellingen	29
6.1.6	In rekening brengen van windrichtingafhankelijkheid (informatief).....	30
6.2	Zonne-elementen geïntegreerd in de gebouwschil (montagewijze 1)	30
6.2.1	Referentiehoogte stuwdruk.....	30
6.2.2	Vormfactoren.....	31
6.2.3	Drukvereffening	31
6.2.4	Invloed afmetingen van het bouwwerk	32
6.2.5	Dynamische vergrotingsfactor.....	32
6.3	Zonne-elementen aan gebouwschil (montagewijze 2)	33
6.3.1	Referentiehoogte stuwdruk.....	33
6.3.2	Vormfactoren.....	33
6.3.3	Drukvereffening	33
6.3.4	Invloed afmetingen van het bouwwerk	33
6.3.5	Dynamische vergrotingsfactor.....	33
6.4	Zonne-elementen die los zijn geplaatst op een plat dak (montagewijze 3)	34
6.4.1	Referentiehoogte stuwdruk.....	34
6.4.2	Vormfactoren.....	34
6.4.3	Drukvereffening	36
6.4.4	Invloed afmetingen van het bouwwerk	37
6.4.5	Dynamische vergrotingsfactor.....	37
6.5	Zonne-energiesystemen gecombineerd met flexibele dakbedekkingssystemen (montagewijze 4).....	37
6.5.1	Referentiehoogte stuwdruk.....	37
6.5.2	Vormfactor	37
6.5.3	Drukvereffening	37
6.5.4	Invloed afmetingen van het bouwwerk	38
6.5.5	Dynamische vergrotingsfactor.....	38

7	Relatie met andere normbladen	49
7.1	EN 61215.....	49
7.2	EN 1991-1-4.....	49
7.3	Overige Europese ontwikkelingen.....	49
8	Samenvatting	51
9	Referenties.....	52

Bijlage(n)

A Originele tekst van artikel 5.1.1 van NVN 7250 (versie juli 2003)

B Stuwdruk in kustgebieden

C Presentatie Windbelasting op Zonne-energiedaken (gepresenteerd voor normcommissie “Bouwkundige aspecten van zonne-energiesystemen” op 16 juni 2005)

1 Introductie

De laatste jaren heeft de toepassing van zonne-energie een snelle ontwikkeling doorgemaakt. Echter uit de praktijk blijkt dat ca. 20% van de systemen onvoldoende wind- en waterbestendig zijn zodat er schade kan ontstaan zoals vermoeiing van het bevestigingssysteem waardoor panelen opwaaien of zelfs van het dak af waaien en lekkages en vochtproblemen optreden. Dit leidt ook tot aanzienlijke economische schade (schatting voor NL: ca. 2 miljoen Euro). Bij gebrek aan adequate regelgeving op dit punt, is het voor leveranciers van zonne-energiesystemen moeilijk om garanties af te geven. Dit maakt vervolgens de vraagkant huiverig om PV systemen aan te schaffen.

Om deze risico's in te dammen is in 2003 de NVN 7250 'Zonne-energiesystemen – Integratie in daken en gevels – Bouwkundige aspecten' verschenen. Deze voornorm geeft eisen en bepalingenmethoden van een groot aantal bouwkundige aspecten. Echter, voor een aantal bouwkundige aspecten van zonne-energiesystemen, waaronder ook de windbelasting op zonne-energiesystemen, is in NVN 7250 aangegeven nog dat specifiek onderzoek noodzakelijk is om regels te formuleren. Inmiddels is een groot deel van dit onderzoek met betrekking tot de windbelasting uitgevoerd en zijn de resultaten beschikbaar. Doel van dit project is om op basis hiervan adequate rekenregels te ontwikkelen en vervolgens beschikbaar te stellen (in de vorm van tekstvoorstellen) voor opname in NVN 7250.

Dit rapport beschrijft de belangrijkste resultaten van dit onderzoek en geeft een voorstel voor een normtekst die in NVN 7250 kan worden geïmplementeerd. Daarnaast is het mogelijk (delen van) deze tekst in andere normbladen op te nemen, zoals NEN 6702:2001 en NEN 6707.

De concepttekst voor deze aanpassingen is besproken in de normcommissie "Bouwkundige aspecten van zonne-energiesystemen" van NVN 7250 en met enkele aanpassingen in orde bevonden. De aangepaste tekst is weergegeven in Hoofdstuk 6 van dit rapport en zal in de eerstvolgende aanpassing van de NVN 7250 (voorzien in 2006) worden opgenomen.

Dit project is mede mogelijk gemaakt door ondersteuning van het programma DEN dat wordt uitgevoerd door SenterNovem.

2 Basisinformatie

Dit rapport is opgesteld ten behoeve van de implementatie van artikel 5.1.1 van NVN 7250. Deze implementatie vindt plaats op basis van resultaten van onderzoeken, die deels in Nederland, door Novem gefinancierd, zijn uitgevoerd na het uitbrengen van NVN 7250, en deels uit de beschikbare internationale literatuur zijn gehaald. Daarnaast worden de laatste ontwikkelingen op Europees gebied geïmplementeerd. Dit betreft met name de recentelijk goedgekeurde Europese norm voor de berekening van windbelasting EN 1991-1-4. Voor een overzicht wordt verwezen naar de referentielijst achter in dit rapport.

2.1 Uitgevoerde onderzoeken

De beschikbare informatie betreft de volgende situaties:

- Zonne-energiesystemen geplaatst op een hulpconstructie op een plat dak (vanaf nu plat-dak opstellingen genoemd). In NVN 7250 is deze als montagewijze 3 gedefinieerd voor los geplaatste systemen, en montagewijze 2 indien het systeem mechanisch is bevestigd aan het gebouw.
- Zonne-energiesystemen geplaatst op een hellend dak, waarbij het systeem een deel van de traditionele functies van het hellend overneemt (montagewijze 1).

Er is geen informatie uit onderzoek beschikbaar over de volgende situaties:

- Zonne-energiesystemen geplaatst op een hulpconstructie op een hellend dak, waarbij het zonne-energie systeem uitsluitend voor energievoorziening wordt gebruikt (montagewijze 2).
- Zonne-energiesystemen in of aan een gevel, diverse montagewijzen.
- Zonne-energiesystemen die gecombineerd zijn met een flexibele dakbedekking (montagewijze 4).

Voor deze laatste situaties zijn in dit rapport veilig geachte waarden afgeleid, onder meer vanuit elders uitgevoerd onderzoek.

De in dit rapport gepresenteerde (concept) normtekst (zie hoofdstuk 6) zal na goedkeuring door de normcommissie, artikel 5.1.1 van NVN 7250 vervangen.

2.2 Aanvullende bepalingen

2.2.1 Implementatie Eurocode EN-1991-1-4

In de nabije toekomst zullen de 'structural Eurocodes' worden ingevoerd in Europa. Deze normbladen zullen naar verwachting rond 2010 de nationale regelgeving voor het berekenen van de sterkte van constructies vervangen. De windbelasting op bouwwerken en onderdelen van bouwwerken wordt dan gegeven in EN 1991-1-4, aangevuld met Nationale Annexen waarin aanvullende informatie per land wordt gegeven. Dit normblad is in 2004 geaccepteerd, en de officiële uitgave wordt in de loop van 2005 verwacht. Voor de National Annex loopt momenteel (begin 2005) een nadere studie over de invulling ervan. Deze Nationale Annex wordt voor eind 2005 verwacht. Tevens zal dan een Nederlandse vertaling van dit Europese normblad beschikbaar zijn.

In EN 1991-1-4 wordt de windbelasting in principe op dezelfde wijze bepaald als thans in NEN 6702:2001 het geval is. Een extreme waarde van de stuwdruk wordt vermenigvuldigd met een of meerdere factoren en bepaalt aldus een quasi-statische belasting.

Voor onderdelen van gebouwen, waar ook zonne-energiesystemen onder vallen, zijn naast de stuwdruk alleen locale vormfactoren van belang.

EN 1991-1-4 geeft aanvullende regels voor een aantal situaties die thans in NEN 6702:2001 niet zijn opgenomen. Deze worden hier kort behandeld. Deze situaties zijn eerder beschreven in TNO Rapport 2002-BS-R0048 (Zie referentielijst).

2.2.2 *Bepaling van de windbelasting buiten Nederland*

Bij toepassing van de Eurocode Windbelasting binnen Europa wordt de windbelasting bepaald door stuwdruk en vormfactoren. De vormfactoren zijn voor alle landen gelijk. De verschillen in stuwdruk worden bepaald door de aan te houden basis-windsnelheid. Hiervoor zijn in de diverse Nationale Annexen waarden gegeven. Deze zijn momenteel nog niet bekend. Voorlopig zijn de gegevens van ENV 1991-2-4 beschikbaar, die zijn gegeven in TNO Rapport 2002-BS-R0048.

2.2.3 *Invloed van hogere gebouwen*

Bij toepassing van systemen op daken van gebouwen waarbij naburige, hogere, gebouwen aanwezig zijn, of binnen afzienbare tijd te verwachten zijn, kan een verhoging van de windbelasting optreden. Deze verhoging vertaalt zich in een hogere stuwdruk. EN 1991-1-4 geeft bepalingen om deze verhoogde stuwdruk vast te stellen:

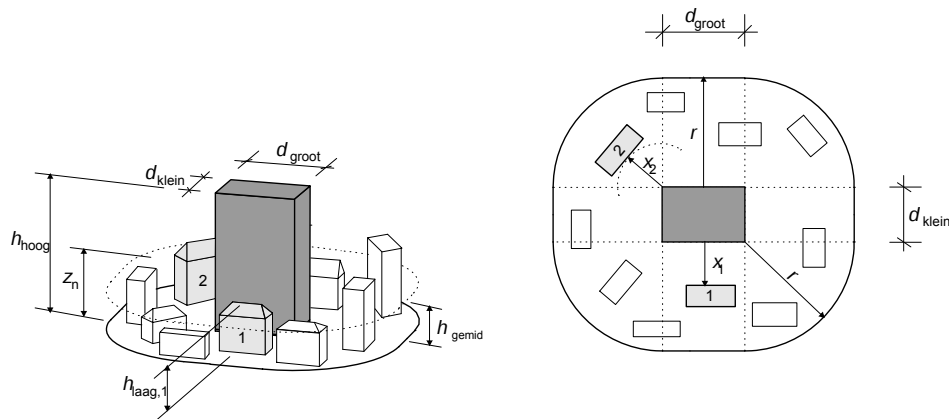
Als een gebouw meer dan twee keer zo hoog is dan de gemiddelde hoogte van de omringende gebouwen, dan mag het ontwerp van deze omringende gebouwen als een eerste benadering worden gebaseerd op de stuwdruk op hoogte z_n boven grondniveau.

$$\begin{aligned} x \leq r : & \quad z_n = \frac{1}{2} r \\ r < x < 2r : & \quad z_n = \frac{1}{2} \left(r - \left(1 - \frac{2h_{\text{laag}}}{r} \right) (x - r) \right) \\ x \geq 2r : & \quad z_n = h_{\text{laag}} \end{aligned}$$

Waarin de straal r gelijk is aan:

$$\begin{aligned} r = h_{\text{hoog}} & \quad \text{als} \quad h_{\text{hoog}} \leq 2d_{\text{groot}} \\ r = 2d_{\text{groot}} & \quad \text{als} \quad h_{\text{hoog}} > 2d_{\text{groot}} \end{aligned}$$

De gebouwhoogte h_{laag} , de straal r , de afstand x en de dimensies d_{klein} en d_{groot} zijn geïllustreerd in figuur 1.



Figuur 1 – Invloed van hoogbouw op twee omringende gebouwen

2.2.4 Invloed van hellingen

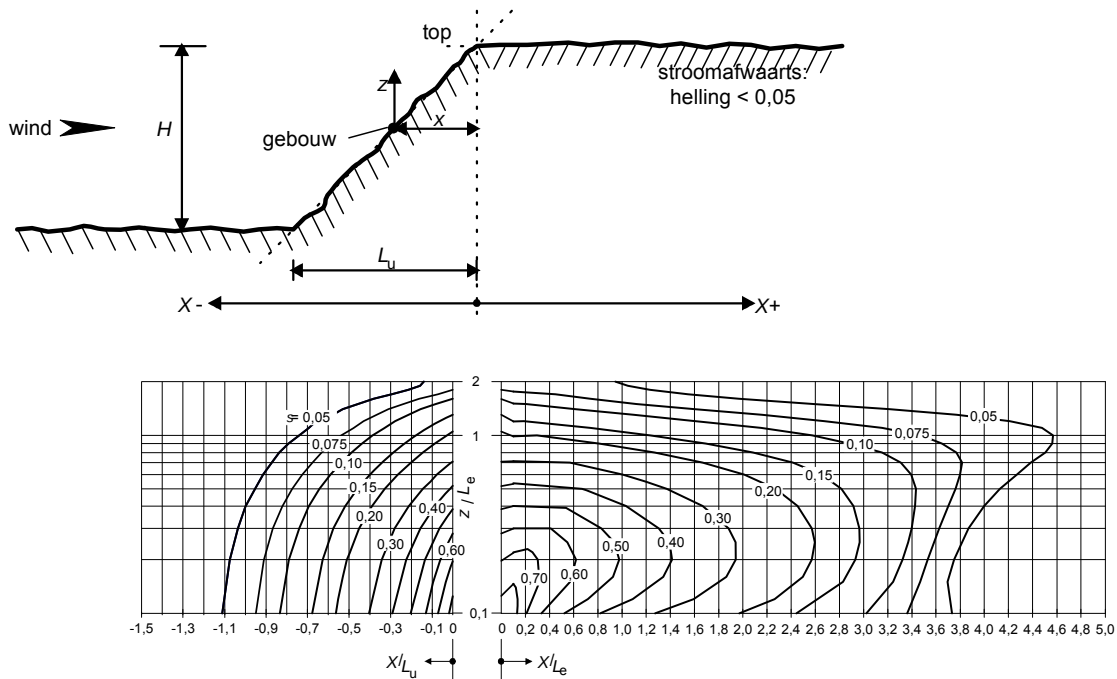
In de Nederlandse regelgeving wordt geen rekening gehouden met het bouwen op of boven hellingen. Dit kan een versnelling van de wind tot gevolg hebben, waardoor de stuwdruk en daarmee de windbelasting groter wordt. In EN 1991-1-4 is een procedure opgenomen om hiermee rekening te houden.

De stuwdruk in EN 1991-1-4 wordt gebaseerd op een terreinfactor, die de ruwheid van het terrein beschrijft, en een “orography” factor, die de helling beschrijft. De “orography” factor is gelijk aan:

$$\begin{array}{lll}
 c_o = 1 & \text{als} & \phi < 0,05 \\
 c_o = 1 + 2s\phi & \text{als} & 0,05 < \phi < 0,3 \\
 c_o = 1 + 0,6s & \text{als} & \phi > 0,3
 \end{array}$$

Met:

- s bepalen met figuur 2
- Φ helling H/L_u stroomopwaarts
- L_e effectieve lengte van helling stroomopwaarts
- L_u werkelijke lengte aan stroomopwaarts
- H effectieve hoogte van de helling
- X horizontale afstand van het gebouw tot de rand van de helling aan de top
- z verticale afstand van het gebouw tot de helling



Figuur 2 - Factor s voor steile hellingen

Door de stuwdruk volgens NEN 6702 uit te breiden met de “orography” factor kan de invloed van hellingen meegenomen worden. De bepaling van de stuwdruk gaat dan als volgt:

$$p_w = \left(1 + 7 \frac{I(z)}{c_o}\right) \frac{1}{2} \rho (c_o v_w(z))^2$$

Als referentiehoogte voor de stuwdruk mag de afstand van het gebouw tot de helling genomen worden, waarbij de hoogte van de helling niet meegenomen hoeft te worden.

2.2.5 In rekening brengen van windrichtingafhankelijkheid

Het is met de Europese rekenregels mogelijk specifiek rekening te houden met de invloed van de windrichting op de windbelasting.

Hierbij moet per windrichting worden uitgegaan van de stuwdruk met een herhalingsstijd van 50 jaar. Dit is afwijkend van het uitgangspunt van de stuwdruk in NEN 6702:2001, waar uit wordt gegaan van een herhalingsstijd van 12,5 jaar, waarbij het effect van windrichting niet wordt beschouwd. Dit wordt in rekening gebracht door het toepassen van een factor C_θ . C_θ is gedefinieerd als de verhouding tussen de uurgemiddelde windsnelheid bij windrichting θ met een herhalingsstijd van 50 jaar en de uurgemiddelde windsnelheid, ongeacht windrichting, met een herhalingsstijd van 12,5 jaar, in formulevorm:

$$C_\theta = \frac{v_{50\text{yr}}(\theta)}{v_{12,5\text{yr}}}$$

In CUR aanbeveling 103 “Windtunnelonderzoek voor de bepaling van ontwerp-windbelastingen op (hoge) gebouwen en onderdelen ervan” [17] zijn voor de 3 windgebieden de factoren C_θ van 24 windrichtingen opgenomen (zie tabel 1).

Tabel 1 Factor C_θ voor windgebied I, II en III

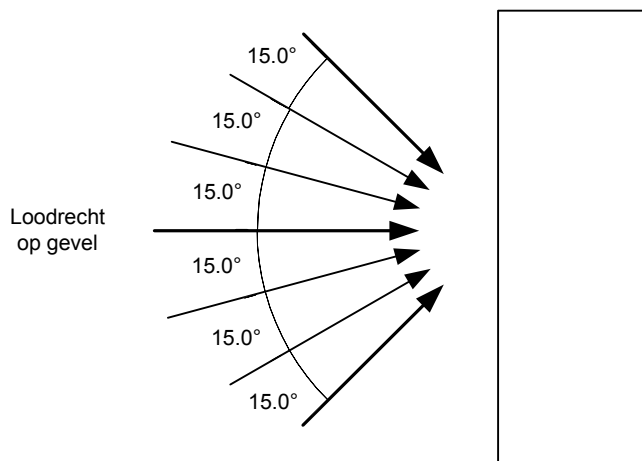
θ	gebied I	gebied II	gebied III
0	0.78	0.73	0.68
15	0.75	0.71	0.67
30	0.72	0.69	0.66
45	0.73	0.70	0.68
60	0.75	0.71	0.70
75	0.74	0.70	0.68
90	0.73	0.69	0.66
105	0.71	0.67	0.64
120	0.69	0.65	0.61
135	0.71	0.66	0.62
150	0.73	0.67	0.63
165	0.79	0.73	0.70
180	0.84	0.80	0.77
195	0.91	0.89	0.87
210	0.98	0.97	0.97
225	1.02	1.01	1.02
240	1.05	1.06	1.07
255	1.06	1.07	1.08
270	1.07	1.08	1.09
285	1.05	1.05	1.04
300	1.02	1.02	1.00
315	0.96	0.94	0.91
330	0.90	0.87	0.83
345	0.84	0.80	0.75

OPMERKING: $\theta=0$ is noordenwind

Bij toepassing van bovengenoemde waarden moeten windrichtingafhankelijke vormfactoren gebruikt worden. Deze kunnen worden bepaald met behulp van windtunnelonderzoek. De windbelasting wordt dan per windrichting als volgt bepaald:

$$p(\theta) = C_p(\theta) \frac{1}{2} \rho v_{12,5\text{yr}}^2 (1 + 7I(z)) C_\theta^2$$

De hoogste belasting op het aangestroomde oppervlak is de maatgevende. Dit betekent dat niet alleen de windrichtingen loodrecht en onder 45 graden op het aangestroomde oppervlak dienen te worden beschouwd, maar ook de tussenliggende richtingen met een interval van 15 graden (zie figuur 3). In totaal dienen 7 windrichtingen beschouwd te worden.



Figuur 3 – Te beschouwen windrichtingen bij windrichtingafhankelijke vormfactoren

2.3 Wensen van de praktijk

Dit project is opgezet in samenwerking met marktpartijen¹ die zonne-energiesystemen in de Nederlandse en Europese markt leveren. Deze marktpartijen hebben deelgenomen aan het projectteam dat dit onderzoek heeft begeleid. Zij hebben de volgende onderwerpen aangedragen waarvan het wenselijk wordt geacht dat deze aandacht krijgen in NVN 7250.

1. Bepaling bebouwd en onbebouwd gebied
2. Effecten bij gebouwranden en hoeken
3. Bepalingsmethoden buiten toepassingsgebied van NVN 7250
4. Invloed van dakrandhoogten
5. Invloed van dakopbouwen die aanzienlijk hoger zijn dan de zonne-energiesystemen
6. Eventuele aanvullende bepalingen bij kustbebouwing

Deze onderwerpen zullen als volgt worden behandeld in dit rapport:

1. Voor de bepaling van bebouwd en onbebouwd gebied wordt NEN 6702:2001 gevolgd. Voorgesteld wordt de regels van NEN 6702:2001 in NVN 7250 op te nemen. In principe geldt dat uitgegaan moet worden van onbebouwd gebied, tenzij wordt aangetoond dat de omgeving voldoende bebouwd is.
2. De effecten bij randen en hoeken zullen nader worden ingevuld in dit rapport.
3. Voor bepaling van de belasting buiten het toepassingsgebied van NVN 7250 en NEN 6702:2001 wordt verwezen naar de regels van NEN 6700. Indien geen praktijkgegevens beschikbaar zijn in openbare literatuur, is een experimentele bepaling (windtunnel dan wel volle schaal onderzoek) de enige betrouwbare optie.
4. De invloed van dakrandhoogtes wordt behandeld in dit rapport.
5. De invloed van dakopbouwen is in NPR 6708 'bevestiging van dakbedekkingen' uitgewerkt. Een vertaling voor NVN 7250 is in hoofdstuk 6 opgenomen.

¹ Aan het project hebben de volgende bedrijven deelgenomen: Stroomwerk Energy, Oskomera, Techneco Energiesystemen, Ecostream en Lafarge Roofing Benelux

6. In de Nederlandse regelgeving is bebouwing bij de kust impliciet opgenomen in NEN 6702:2001. Aanvullend kunnen private, strengere, eisen worden gesteld. Voor kustbebouwing wordt een aanvullend advies gegeven in hoofdstuk 6.

3 Plat-daksystemen (montagewijze 3)

3.1 Onderwerp

Dit hoofdstuk geeft de methode voor de bepaling van de windbelasting op zonne-energiesystemen die zijn geplaatst op een plat dak (montagewijze 3 van NVN 7250). In hoofdstuk 6 is deze methode ingepast in de regels van NVN 7250.

3.2 Toepassingsgebied

Dit hoofdstuk is van toepassing binnen het volgende toepassingsgebied:

- gebouwhoogte maximaal 40 meter
- afstand tussen zonne-energiesysteem en dakbedekking is minder dan 1 meter en minder dan 10% van de gebouwhoogte.
- hellingshoek van het systeem tussen 0 en 40 graden

Voor systemen die geplaatst zijn op een plat dak en die niet binnen dit toepassingsgebied vallen, zijn thans geen bepalingsmethoden beschikbaar. Voor de bepaling van de windbelasting wordt verwezen naar de methoden van NEN6702:2003 artikel 8.6.1.3.2 en NEN 6700.

3.3 Symbolen en definities

De gebruikte symbolen en definities zijn gegeven in NVN 7250, tenzij anders vermeld.

3.4 Zonne-energiesystemen met een hellingshoek van minder dan 10 graden

3.4.1 Stuwdruk

De stuwdruk wordt bepaald volgens tabel A.1 van NEN 6702:2001. Als referentiehoogte dient de dakrandhoogte te worden aangehouden.

3.4.2 Vormfactoren

Het platte dak dient te worden ingedeeld in zones, conform figuur A.9 van NEN 6702:2001. De vormfactoren per zone worden bepaald door het toepassen van de waarden zoals gegeven in figuur A.9 NEN 6702:2001. Voor lokale windvormfactoren dient de waarde van $A_1=1\text{m}^2$ aangehouden te worden.

De invloed van de dakrandhoogte in de vorm van een reductie van de vormfactoren wordt in rekening gebracht door artikel A.3, figuur A.12 van NEN 6702:2001. Hierbij is de afstand tussen de bovenkant van de dakrand en de bovenkant van het zonne-energiesysteem gelijk aan h_p en dus niet de afstand tussen het dakvlak en de bovenkant van de dakrand. Voorwaarde is wel dat de dakrand uitsteekt boven de zonne-energiesystemen. Anders mag geen reductie worden toegepast.

Voor de invloed van dakranden op de lokale vormfactor voor daken met een hellingshoek kleiner dan 10° geldt het onderstaande:

- indien $(h_p/(h-h_p)) < 0.01$, dan veranderen de vormfactoren van figuur A.9 niet;
- indien $(h_p/(h-h_p)) \geq 0.1$, dan geldt voor de vormfactoren de volgende waarde:
 - voor gebied c: $C_{pe;loc} = -1,8$
 - voor gebied r: $C_{pe;loc} = -1,4$
 - voor gebied t: $C_{pe;loc}$ is gelijk aan figuur A.9;

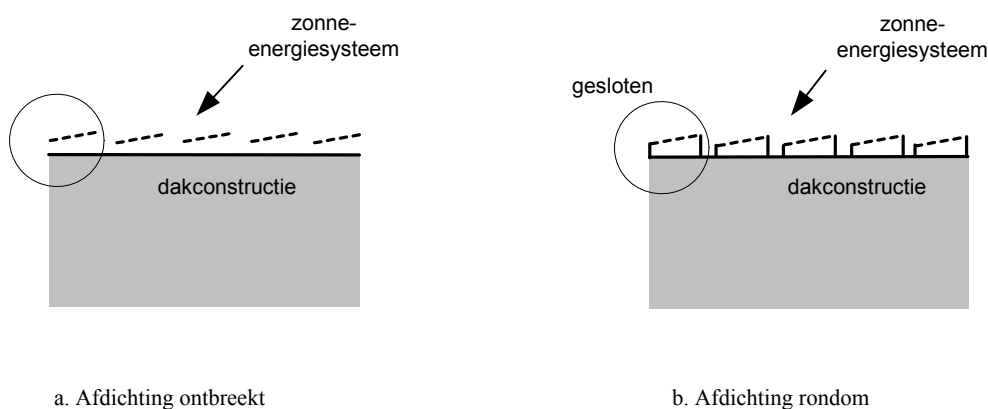
- voor tussenliggende waarden ($h_p/(h-h_p)$) moet rechtlijnig worden geïnterpoleerd.

OPMERKING Bovenstaande regels zijn gebaseerd op EN 1991-1-4. Deze zal in de toekomst van kracht worden. Nu zijn ze opgenomen in wijzigingsblad A.1 bij NEN 6702:2001.

3.4.3 Drukvereffening

Een drukvereffeningsfactor $C_{eq} < 1$ kan worden toegepast voor permeabele systemen die evenwijdig aan het dak zijn gemonteerd en die voldoen aan alle volgende voorwaarden:

- De afstand tussen het systeem en het luchtdichte onderdak is maximaal 200 mm.
- De zonne-energiesystemen zijn zodanig opgesteld dat geen luchtinstroming van opzij kan plaatsvinden (zie figuur 4b).
- De ruimte tussen individuele componenten van de systemen is minder dan 20 mm.
- Permeabiliteit² van het zonne-energiesysteem is groter dan 10^{-3} . De onderconstructie moet luchtdicht zijn, oftewel een permeabiliteit bezitten van maximaal 10^{-5} .



Figuur 4 - Afdichting van de randen van de ruimte tussen het zonne-energiesysteem en de dakconstructie

Voor systemen in de middenzone van het dak wordt $C_{eq} = 0,5$ aanbevolen. Voor systemen in de rand- en hoekzone van het dak wordt $C_{eq} = 0,8$ aanbevolen. De waarden zijn afkomstig uit [8]. Indien de afdichting ontbreekt, zoals weergegeven in figuur 4a, dan kan geen drukvereffening worden toegepast: de waarden van de drukvereffeningsfactoren zijn dan $C_{eq} = 1,0$ en $C_{eq} = 1,3$ voor respectievelijk de middenzone en de hoekzone.

3.4.4 Reductie voor afmetingen

De factor C_{dim} voor reductie voor afmetingen is gelijk aan 1 bij toepassing op zonne-energiesystemen op platte daken.

3.4.5 Dynamische vergrotingsfactor

De dynamische vergrotingsfactor ϕ_1 dient nader te worden bepaald indien de eigenfrequentie van het zonne-energiesysteem, of een van de componenten van het systeem, kleiner is dan 3 Hz. Deze eigenfrequentie is bijvoorbeeld via een EEM (Eindige Elementen Methode) berekening te bepalen. Indien de eigenfrequentie lager is dan 3 Hz, is een nadere beoordeling noodzakelijk. Voor achtergronden wordt verwezen naar TNO Rapport B90-483, zie referentielijst.

² De permeabiliteit is in de NEN 6707 artikel 3.4 gedefinieerd als de luchtdoorlatendheid van een constructie uitgedrukt als verhouding tussen de equivalente oppervlakte en de werkelijke oppervlakte. Voor de berekening ervan wordt verwezen naar artikel 11.4 van NEN6707.

3.5 Zonne-energiesystemen met een hellinghoek tussen 10 en 40 graden

3.5.1 Stuwdruk

De stuwdruk wordt bepaald volgens NEN 6702:2001. Als referentiehoogte dient de dakrandhoogte te worden aangehouden.

3.5.2 Vormfactoren

Het platte dak dient te worden ingedeeld in zones, conform figuur A.9 van NEN 6702:2001. Voor de zonne-energiesystemen is onderscheid gemaakt in ondersteuningsconstructies die ‘open’ zijn gemonteerd: de wind kan vrij onder het zonne-energiesysteem stromen, en ondersteuningsconstructies die ‘dicht’ zijn uitgevoerd, bijvoorbeeld consolesystemen. De windbelasting is van belang voor de dimensionering van:

- zonne-energie systeem
- bevestiging van systeem aan draagconstructie
- draagconstructie
- bevestiging of ballast op dak

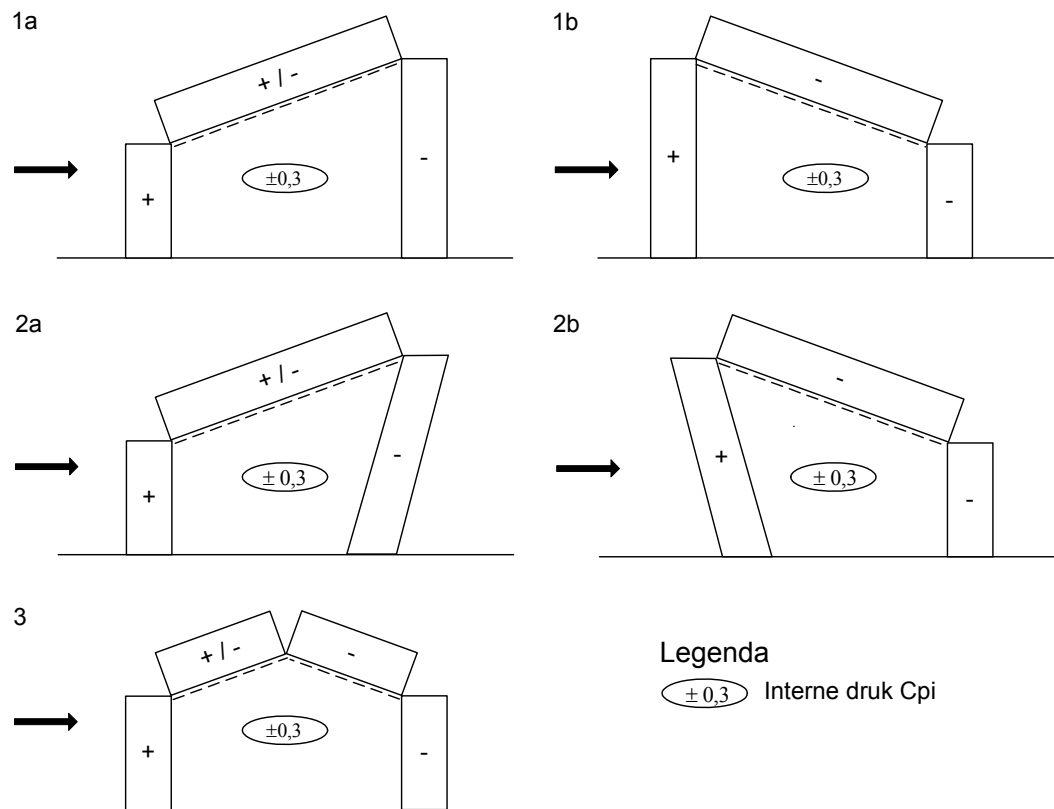
Voor open ondersteuningsconstructies zijn de windvormfactoren per zone gegeven in tabel 2. Deze zijn geldig voor alle vier genoemde onderdelen. De invloed van de dakrandhoogte is eveneens opgenomen in de tabel. Voor de middenzone is bovendien aangegeven wat de invloed is van afscherming, wanneer meerdere rijen systemen achter elkaar zijn toegepast.

Tabel 2 Vormfactoren voor open ondersteuningsconstructies

Dakzone	Dakrand < 100 mm		Dakrand > 200 mm	
	Opwaartse belasting	Neerwaartse belasting	Opwaartse belasting	Neerwaartse belasting
c (hoekzone)	-1,8	1,2	-1,5	1,0
r (randzone)	-1,6	1,2	-1,2	1,2
t (middenzone)	-0,6	0,6	-0,6	0,6
t (middenzone) afgeschermd	-0,4	0,4	-0,4	0,4

OPMERKING Voor tussenliggende waarden van de dakrand dient lineair geïnterpoleerd te worden.

Voor gesloten ondersteuningsconstructies kunnen de vormfactoren per zone worden bepaald uit onderstaande tabellen. Een ondersteuningsconstructie is gesloten indien alle verticale delen, en hiermee ook de kopse zijanten van de ondersteuningsconstructie, volledig gesloten zijn. Wanneer de kopse zijanten van de ondersteuningsconstructie open zijn, dan gelden de vormfactoren voor open zonne-energiesystemen. In deze tabellen is ook de invloed van de dakrandhoogte opgenomen. Er zijn twee situaties te bedenken: helling van zonne-energiesysteem stroomopwaarts gericht of helling van zonne-energiesysteem stroomafwaarts gericht (zie figuur 5).



Figuur 5 – Bepaling windbelasting op gesloten ondersteuningsconstructie

OPMERKING: In situatie 2b dient de positieve waarde van de vormfactor met 0,2 verhoogd te worden vanwege de extra druk die onder de schuine zijde ontstaat.

Voor de zonne-energiesystemen zelf en de bevestiging ervan dienen de windvormfactoren uit tabel 3 gebruikt te worden. Voor de verticale vlakken van de ondersteuningsconstructies gelden de waarden uit tabel 4. Voor de ballastberekening dienen de tabellen 3 en 4 gecombineerd te worden. In beide tabellen is voor de middenzone aangegeven wat de invloed is van afscherming, wanneer meerdere rijen systemen achter elkaar zijn toegepast.

Tabel 3 Vormfactoren voor bovenzijden van gesloten ondersteuningsconstructies

Dakzone	Dakrand < 100 mm		Dakrand > 200 mm	
	Opwaartse belasting	Neerwaartse belasting	Opwaartse belasting	Neerwaartse belasting
c (hoekzone)	-1,7	0,5	-1,7	0,5
r (randzone)	-1,6	0,5	-1,4	0,5
t (middenzone)	-1,0	0,5	-1,0	0,5
t (middenzone) afgeschermd	-0,5	0,5	-0,5	0,5

OPMERKINGEN

- Voor tussenliggende waarden van de dakrand dient lineair geïnterpoleerd te worden.
- De neerwaartse belasting is inclusief een verhoging van $C_p = -0,3$ om de interne druk van de ondersteuningsconstructie in rekening te brengen.

Tabel 4 Vormfactoren voor verticale vlakken van gesloten ondersteuningsconstructies

Dakzone	Dakrand < 100 mm		Dakrand > 200 mm	
	Onderdruk	Overdruk	Onderdruk	Overdruk
c (hoekzone)	-1,2	0,7	-1,2	0,7
r (randzone)	-1,1	0,5	-1,0	0,5
t (middenzone)	-1,0	0,3	-1,0	0,3
t (middenzone) afgeschermd	-0,5	0,3	-0,5	0,3

OPMERKING Voor tussenliggende waarden van de dakrand dient lineair geïnterpoleerd te worden.

3.5.3 *Drukvereffening*

De drukvereffeningsfactor $C_{eq} = 1$.

3.5.4 *Reductie voor afmetingen*

De factor C_{dim} voor reductie voor afmetingen is gelijk aan 1 bij toepassing op zonne-energiesystemen op platte daken.

3.5.5 *Dynamische vergrotingsfactor*

De dynamische vergrotingsfactor ϕ_1 dient nader te worden bepaald indien de eigenfrequentie van het zonne-energiesysteem, of een van de componenten van het systeem, kleiner is dan 3 Hz. Deze eigenfrequentie is bijvoorbeeld via een EEM berekening te bepalen. Indien de eigenfrequentie lager is dan 3 Hz, is een nadere beoordeling noodzakelijk. Voor achtergronden wordt verwezen naar TNO Rapport B90-483, zie referentielijst.

3.6 **Zonne-energiesystemen met een hellinghoek tussen 40 en 70 graden**

3.6.1 *Stuwdruk*

De stuwdruk wordt bepaald volgens NEN 6702:2001. Als referentiehoogte dient de dakrandhoogte te worden aangehouden.

3.6.2 *Vormfactoren*

Het platte dak dient te worden ingedeeld in zones, conform figuur A.9 van NEN 6702:2001. De vormfactoren per zone worden bepaald door het toepassen van de waarden zoals gegeven in figuur A.9 NEN 6702:2001.

Voor open zonne-energiesystemen wordt aanbevolen de volgende veilige waarden te gebruiken:

- Voor systemen in de middenzones van het dak: $C_t = -2,0$
- Voor systemen in de rand-, en hoekzones van het dak: $C_t = -3,0$

3.6.3 *Drukvereffening*

De drukvereffeningsfactor $C_{eq} = 1$.

3.6.4 *Reductie voor afmetingen*

De factor C_{dim} voor reductie voor afmetingen is gelijk aan 1 bij toepassing op zonne-energiesystemen op platte daken.

3.6.5 Dynamische vergrotingsfactor

De dynamische vergrotingsfactor ϕ_1 dient nader te worden bepaald indien de eigenfrequentie van het zonne-energiesysteem, of een van de componenten van het systeem, kleiner is dan 3 Hz. Deze eigenfrequentie is bijvoorbeeld via een EEM berekening te bepalen. Indien de eigenfrequentie lager is dan 3 Hz, is een nadere beoordeling noodzakelijk. Voor achtergronden wordt verwezen naar TNO Rapport B90-483, zie referentielijst.

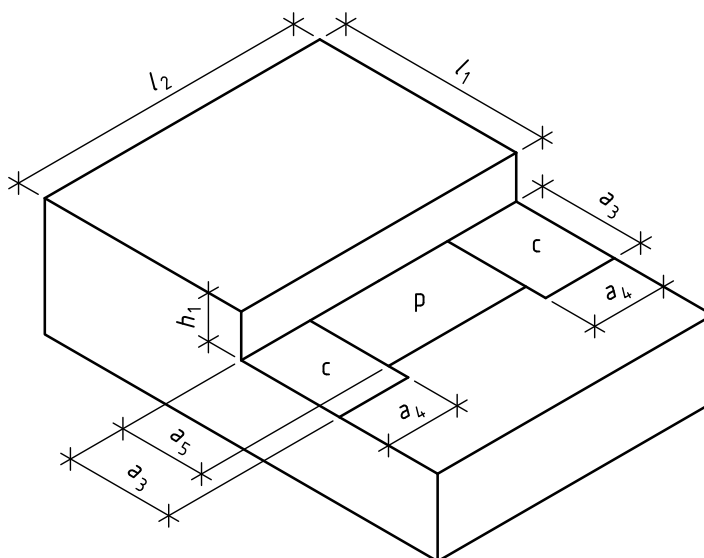
3.7 Overige bepalingen

3.7.1 Bebouwde en onbebouwde omgeving

Voor de bepaling van de stuwdruk moet per gebied in bebouwde en onbebouwde omgeving onderscheid worden gemaakt. Er is sprake van een onbebouwde omgeving, tenzij het terrein rond het bouwwerk zeer ruw is. Als veilige regel wordt dan ook aanbevolen uit te gaan van onbebouwde omgeving. Door een berekening van de ruwheid van het omliggende terrein kan worden nagegaan of de omgeving als “bebouwd” is te beschouwen. Hiervoor wordt verwezen naar artikel 8.6.2.3 en bijlage A van NEN 6702:2001.

3.7.2 Zone-indeling rond hoogteverschillen, een opbouw of dakdoorbreking op een plat dak

Indien sprake is van een hoogteverschil op het dakvlak, hetzij veroorzaakt door het dak zelf, hetzij door een opbouw op het dak, dan moet rekening gehouden worden met een gewijzigde zone-indeling rond het hoogteverschil. Voor een verspringing in het dakvlak is de zone-indeling gegeven in figuur 6. Voor zone p dient de vormfactor, bepaald door de zone van het platte dak, met 1,2 vermenigvuldigd te worden. De stuwdruk voor zone p wordt bepaald met een referentiehoogte die gelijk is aan de hoogte van het hoogste dakvlak, dus inclusief hoogteverschil.



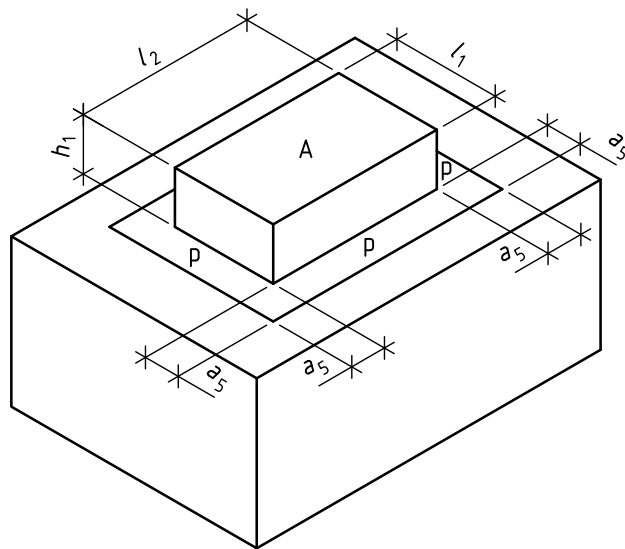
Figuur 6 - Zone-indeling voor een rechthoekig gebouw met een hoogteverschil tussen twee dakvlakken

Voor de figuur geldt het volgende:

- De afmeting a_3 is de kleinste waarde van l_1 of h_1
- De afmeting a_4 is de kleinste waarde van $0,25 l_2$ of h_1

- De afmeting a_5 is de kleinste waarde van $0,5\sqrt{l_1^2 + l_2^2}$, of h_1
- Indien uit het bovenstaande voor a_3 of a_4 een afmeting volgt kleiner dan 1,00 m, moet voor de desbetreffende afmeting 1,00 m worden aangehouden.

De zone-indeling bij een opbouw op het dak is gegeven in figuur 7. Van een opbouw op een plat dak of een dakdoorbreking is sprake indien de hoogte van de opbouw of dakdoorbreking ten opzichte van het dakvlak groter is dan 1 m en de grootste dwarsafmeting eveneens groter dan 1 m. Voor zone p dient de vormfactor, bepaald door de zone van het platte dak, met 1,2 vermenigvuldigd te worden. De stuwdruk voor zone p wordt bepaald met een referentiehoogte die gelijk is aan de hoogte van het hoogste dakvlak, dus inclusief opbouw.



Figuur 7 - Zone-indeling rond een opbouw of een dakdoorbreking op een plat dak

De waarde van a_5 is als volgt bepaald:

- De afmeting a_5 is de kleinste waarde van $0,5\sqrt{l_1^2 + l_2^2}$ of h_1 .
- Indien uit het bovenstaande voor a_5 een afmeting kleiner dan 1 m volgt, moet voor a_5 1 m worden aangehouden.

4 Zonne-energiesystemen toegepast op een hellend dak (montagewijzen 1 en 2)

4.1 Onderwerp

Dit hoofdstuk geeft de bepalingmethode voor de bepaling van de windbelasting op zonne-energiesystemen die zijn geplaatst in of evenwijdig aan de dakbedekking op een hellend dak. Zonne-energiesystemen die niet evenwijdig aan de dakbedekking geplaatst zijn op een hellend dak, dienen behandeld te worden als zonne-energiesystemen op een plat dak.

4.2 Toepassingsgebied

Dit hoofdstuk is van toepassing binnen het volgende toepassingsgebied:

- gebouwhoogte maximaal 40 meter;
- dakhelling tussen 10 en 75 graden.

4.3 Symbolen en definities

De gebruikte symbolen en definities zijn gegeven in NVN 7250, tenzij anders vermeld.

4.4 Zonne-energiesystemen geïntegreerd in het dak (montagewijze 1)

4.4.1 *Stuwdruk*

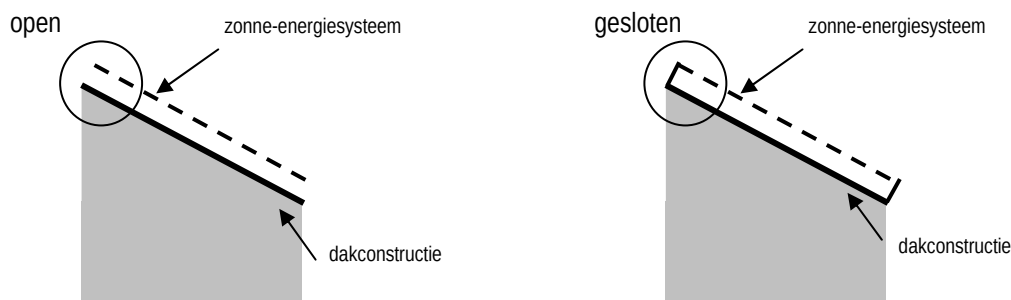
De stuwdruk wordt bepaald volgens NEN 6702:2001. Als referentiehoogte dient de dakrandhoogte te worden aangehouden.

4.4.2 *Vormfactoren*

Het hellende dak dient te worden ingedeeld in zones, conform figuur A.10 van NEN 6702:2001. De vormfactoren per zone worden bepaald door het toepassen van de waarden zoals gegeven in de grafieken van figuur A.10 van NEN 6702:2001.

4.4.3 *Drukvereffening*

Of drukvereffening mag worden toegepast hangt af van de afdichting van de ruimte tussen het zonne-energiesysteem en de dakconstructie. Er zijn twee situaties te onderkennen: geen afdichting en alle randen volledig afgedicht (zie figuur 8).



a. Luchtinstroming bij hoeken en randen mogelijk

b. Luchtinstroming bij hoeken en randen niet mogelijk

Figuur 8 - Afdichting van de randen van de ruimte tussen het zonne-energiesysteem en de dakconstructie

Een drukvereffeningsfactor $C_{eq} < 1$ mag alleen worden toegepast voor volledig afgedichte systemen (situatie b van figuur 8) die evenwijdig aan het dak zijn gemonteerd en die voldoen aan alle volgende voorwaarden:

- De permeabiliteit³ van het zonne-energiesysteem is groter dan 10^{-3} . De onderconstructie heeft een permeabiliteit die ten minste een factor 3 kleiner is dan die van het zonne-energiesysteem.
- De afstand tussen het systeem en het onderdak is maximaal 200 mm.
- De zonne-energiesystemen zijn zodanig opgesteld dat geen luchtinstroming van opzij kan plaatsvinden.
- De ruimte tussen individuele componenten van de systemen is minder dan 20 mm.

De waarde van de drukvereffeningsfactor C_{eq} is gegeven in tabel 5. De dakzone-indeling moet worden ontleend aan figuren A.9 tot en met A.12 in bijlage A van NEN 6702:2001.

Tabel 5 Drukvereffeningsfactor

Dakhelling		Dakzone-aanduiding						
Vanaf	Tot en met	c	c*	r	s	s*	t	u
15°	25°	0,4	0,4	0,4	0,33	0,4	0,33	0,33
30°	90°	0,5	0,5	0,5	0,33	0,5	0,33	0,33

OPMERKING

De waarden in de tabel zijn gebaseerd op een analyse van volle schaal metingen op een hellend dak.

In het geval wel luchtinstroming van opzij kan plaatsvinden, mag geen drukvereffening worden toegepast. In dit geval moet voor de drukvereffeningsfactor gerekend worden met:

- Voor systemen in de middenzone van het dak $C_{eq} = 1,0$
- Voor systemen in de rand- en hoekzone van het dak $C_{eq} = 1,3$

4.4.4 Reductie voor afmetingen

De factor C_{dim} voor reductie voor afmetingen is gelijk aan 1 bij toepassing op zonne-energiesystemen op platte daken.

³ De permeabiliteit is in de NEN 6707 artikel 3.4 gedefinieerd als de luchtdoorlatendheid van een constructie uitgedrukt als verhouding tussen de equivalente oppervlakte en de werkelijke oppervlakte. Voor de berekening ervan wordt verwezen naar artikel 11.4 van NEN6707.

4.4.5 *Dynamische vergrotingsfactor*

De dynamische vergrotingsfactor ϕ_1 dient nader te worden bepaald indien de eigenfrequentie van het zonne-energiesysteem, of een van de componenten van het systeem, kleiner is dan 3 Hz. Deze eigenfrequentie is bijvoorbeeld via een EEM berekening te bepalen. Indien de eigenfrequentie lager is dan 3Hz, is een nadere beoordeling noodzakelijk. Voor achtergronden wordt verwezen naar TNO Rapport B90-483, zie de referentielijst.

4.5 **Zonne-energiesystemen toegepast evenwijdig aan de dakbedekking (montagewijze 2)**

4.5.1 *Stuwdruk*

De stuwdruk wordt bepaald volgens NEN 6702:2001. Als referentiehoogte dient de dakhoogte te worden aangehouden.

4.5.2 *Vormfactoren*

Het hellende dak dient te worden ingedeeld in zones, conform figuur A.10 van NEN 6702:2001.

Voor de vormfactoren is door het Building Research Institute in Watford, UK (BRE) recentelijk een literatuurstudie [6] uitgevoerd, en die heeft geleid tot de volgende aanbeveling:

Onderscheid wordt gemaakt tussen systemen die meer dan 300 mm van de dakbedekking, en systemen die minder dan 300 mm van de dakbedekking zijn aangebracht. Voor de belasting op systemen in de middenzone (zone t) van het dak geldt:

Bij een afstand > 300 mm van het dak:

$C_t = -0,7$ (belasting van het dak af gericht), of
 $C_t = 1,0$ (belasting naar het dakvlak toe gericht).

Bij een afstand < 300 mm van het dak:

$C_t = -1,3$ (belasting van het dak af gericht), of
 $C_t = 1,0$ (belasting naar het dakvlak toe gericht)

Er zijn geen waarden bekend voor deze toepassing in de rand- en hoekzones, of bij toepassing op overstekken. EN 1991-1-4 geeft voor de berekening van overstekken aan dat de lokale vormfactor voor de rand- en hoekzones dient te worden vermeerderd met de vormfactor voor overdruk op de gevel. Aanbevolen wordt dit aan te houden voor zonne-energiesystemen op hellende daken volgens montagewijze 2 in de rand- en hoekzones. Dit levert bij toepassing van lokale vormfactoren de volgende waarden op (zie ook [7]):

In de randzones: $C_t = -2,0 - 1 = -3,0$

In de hoekzones: $C_t = -2,5 - 1 = -3,5$

4.5.3 *Drukvereffening*

De drukvereffeningsfactor $C_{eq} = 1$.

4.5.4 *Reductie voor afmetingen*

De factor C_{dim} voor reductie voor afmetingen is gelijk aan 1 bij toepassing op zonne-energiesystemen op platte daken.

4.5.5 *Dynamische vergrotingsfactor*

De dynamische vergrotingsfactor ϕ_1 dient nader te worden bepaald indien de eigenfrequentie van het zonne-energiesysteem, of een van de componenten van het systeem, kleiner is dan 3 Hz. Deze eigenfrequentie is bijvoorbeeld via een EEM berekening te bepalen. Indien de eigenfrequentie lager is dan 3Hz, is een nadere beoordeling noodzakelijk. Voor achtergronden wordt verwezen naar TNO Rapport B90-483, zie referentielijst.

5 Toepassing van zonne-energie aan gevels van gebouwen (montagewijzen 1 en 2)

5.1 Onderwerp

Dit hoofdstuk geeft de bepalingmethode voor de windbelasting op zonne-energiesystemen die zijn toegepast in de gebouwschil, en die niet in het toepassingsgebied van hoofdstukken 3 en 4 vallen. Dit betreft zonne-energiesystemen toegepast in of tegen gevels, volgens montagewijze 1 en 2. Voor deze systemen is sinds de uitgave van NVN 7250 geen aanvullend onderzoek bekend. In dit hoofdstuk wordt de bepalingmethode voor montagewijze 1 gegeven. Voor montagewijze 2 zijn geen gegevens bekend.

5.2 Toepassingsgebied

De regels van dit hoofdstuk zijn van toepassing op zonne-energiesystemen die zijn geïntegreerd in of gemonteerd tegen gevels. In dit hoofdstuk wordt nader ingegaan op integratie als uitwendige scheidingsconstructie, integratie in de buitenste schil van de uitwendige scheidingsconstructie of montage tegen de gevel.

5.3 Symbolen en definities

De gebruikte symbolen en definities zijn gegeven in NVN 7250, tenzij anders vermeld.

5.4 Bepaling van de windbelasting

5.4.1 Stuwdruk

Voor de bepaling van de stuwdruk is artikel 8.6.2 van NEN 6702:2001 van toepassing. Voor gebouwen die lager zijn dan de breedte geldt de stuwdruk op dakhoogte. Voor gebouwen met een hoogte groter dan de breedte geldt een verlopende stuwdruk over de hoogte. Voor die gevallen is de stuwdruk op dakhoogte een veilige aanname.

5.4.2 Vormfactoren

De windbelasting op zonne-energiesystemen die zijn geïntegreerd in de gevel wordt bepaald volgens NEN 6702:2001. Zonne-energiesystemen die dienen als uitwendige scheidingsconstructie dienen de gelijktijdige belasting door externe en interne winddruk te weerstaan.

Zonne-energiesystemen die zijn geïntegreerd in de buitenste laag van de gevel dienen de belasting te weerstaan die wordt bepaald door het verschil tussen externe druk en de druk in de luchtpouw. De interne druk van het gebouw speelt hierin geen rol. Voor de netto belasting op de buitenste laag kan met drukvereffening rekening gehouden worden. De lokale externe vormfactoren voor windzuiging worden bepaald uit figuur A.9 van NEN 6702:2001.

Voor zonne-elementen die boven, respectievelijk voor de dak- of gevelbekleding worden gemonteerd, zijn geen gegevens over de windvormfactoren bekend. Voor toepassing van zonne-energiesystemen in de rand- en middenzones, zoals gedefinieerd in de figuren A.1 en A.2, hangt de toe te passen waarde voor de vormfactor af van detaillering en dimensies van het zonne-element en de gevelbekleding. Aanbevolen wordt de volgende veilige waarden te gebruiken:

- Voor systemen in de middenzones van de gevel: $C_t = -2,0$
- Voor systemen in de randzones van de gevel: $C_t = -3,0$

5.4.3 Drukvereffening

Voor zonne-energiesystemen die dienen als uitwendige scheidingsconstructie is de drukvereffeningsfactor gelijk aan 1,0.

Voor zonne-energiesystemen die als permeabele buitenste schil van de uitwendige scheidingsconstructie zijn toegepast, geldt dat een drukvereffeningsfactor kan worden gehanteerd. Dit mag alleen als de randen tussen het zonne-energiesysteem en de gevelconstructie zijn afgedicht, waardoor er geen luchtinstroming kan plaatsvinden (zie figuur 9b). Bovendien moet de afstand tussen het zonne-energiesysteem en de gevelconstructie kleiner zijn dan 100 mm gemeten tot aan de isolatie. De waarde van de drukvereffeningsfactor is afhankelijk van de positie in de gevel:

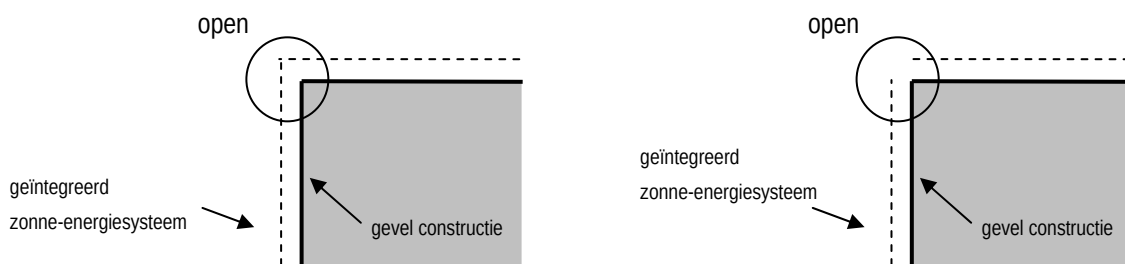
$C_{eq} = 0,33$ in de middenzone

$C_{eq} = 0,5$ in de randzone

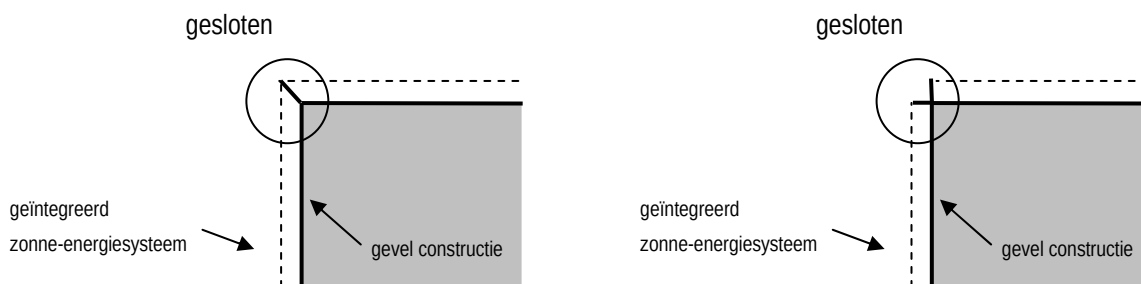
Wanneer tussen het zonne-energiesysteem en de gevelconstructie luchtinstroming kan plaatsvinden (zie figuur 9a) dan gelden de volgende drukvereffeningsfactoren:

$C_{eq} = 1,0$ in de middenzone

$C_{eq} = 1,3$ in de randzone



a. Luchtinstroming bij hoeken en randen mogelijk



b. Luchtinstroming bij hoeken und randen nicht möglich

Figuur 9 – Bovenanzicht geintegreerd zonne-energiesysteem in gevel

5.4.4 Reductie voor afmetingen

De factor C_{dim} voor reductie voor afmetingen is gelijk aan 1 bij toepassing op zonne-energiesystemen geïntegreerd in gevels.

5.4.5 *Dynamische vergrotingsfactor*

De dynamische vergrotingsfactor ϕ_1 dient nader te worden bepaald indien de eigenfrequentie van het zonne-energiesysteem, of een van de componenten van het systeem, kleiner is dan 3 Hz. Deze eigenfrequentie is bijvoorbeeld via een EEM berekening te bepalen. Indien de eigenfrequentie lager is dan 3Hz, is een nadere beoordeling noodzakelijk. Voor achtergronden wordt verwezen naar TNO Rapport B90-483, zie referentielijst.

6 Voorstel voor NVN 7250

Op basis van de in voorgaande hoofdstukken weergegeven rekenregels met betrekking de windbelasting op zonne-energiesdaken en –gevels is in dit hoofdstuk de voorgestelde normtekst voor de aanpassing van artikel 5.1.1. van NVN 7250 geformuleerd. De concepttekst is de normcommissie “Bouwkundige aspecten van zonne-energiesystemen” besproken en met enkele aanpassingen in orde bevonden. Deze aanpassingen zijn in de hier volgende tekst verwerkt tot een definitief voorstel. In de eerstvolgende nieuwe uitgave van de NVN 7250 (voorzien in 2006) zal dit voorstel worden opgenomen.

Artikel 5.1.1: Windbelasting

Met betrekking tot windbelasting geldt het volgende:

De totale windbelasting is volgens NEN 6702:2001 te bepalen uit de stuwdruk p_w , vermenigvuldigd met een vormfactor C_{index} en factoren C_{eq} , C_{dim} en ϕ_1 voor respectievelijk drukvereffening, de invloed van afmetingen van het bouwwerk en de dynamische vergrotingsfactor. Artikel 8.6.1 van NEN 6702:2001 geeft de volgende uitdrukking:

$$p_{rep} = C_{index} C_{eq} C_{dim} \phi_1 p_w$$

De rekenwaarde wordt gevonden door p_{rep} te vermenigvuldigen met de belastingfactor $\gamma_{f,q,u}$. Voor veiligheidsklasse 2 (tabel 2 NEN6702:2001) is deze factor gelijk aan $\gamma_{f,q,u}=1,3$.

De in NEN 6702:2001 opgenomen uitwerking voor de in rekening te brengen windbelasting is onvoldoende toegesneden op alle toepassingsvormen van zonne-elementen.

In dit artikel wordt per montagewijze aangegeven hoe de in rekening te brengen windbelasting te bepalen is. Wat betreft de montagewijzen van zonne-elementen zijn de volgende situaties onderscheiden:

- Montagewijze 1: een zonne-energiesysteem dat is geïntegreerd in de gebouwschil en dat in het zonne-elementvlak waterkerend of waterdicht is.
- Montagewijze 2: een zonne-energiesysteem dat op of aan de gebouwschil wordt gemonteerd en waarbij niet het zonne-elementvlak maar de onderliggende bouwconstructie waterkerend of waterdicht is.
- Montagewijze 3: een zonne-energiesysteem dat is bestemd om los op een plat dak te worden geplaatst.
- Montagewijze 4: een zonne-energiesysteem dat is gecombineerd met flexibele dakbedekkingsystemen.

Voor situaties die niet zijn beschreven en in die gevallen waar veilige waarden worden gegeven, mag de windbelasting met behulp van artikel 8.6.1.1, 8.6.1.2 en 8.6.1.3 in Wijzigingsblad NEN 6702:2001/A1:2005 bij NEN 6702:2001 worden bepaald.

OPMERKING In bijlage A zijn de figuren A.8 tot en met A.12 uit NEN 6702:2001 en figuur 30 uit NPR 6708:2005 overgenomen.

6.1 Bepalingen stuwdruk

6.1.1 *Bebouwde en onbebouwde omgeving*

Voor de bepaling van de stuwdruk moet per gebied onderscheid worden gemaakt in bebouwde en onbebouwde omgeving. Er is sprake van een onbebouwde omgeving, tenzij het terrein rond het bouwwerk zeer ruw is. Als veilige regel wordt dan ook aanbevolen uit te gaan van onbebouwde omgeving. Door een berekening van de ruwheid van het omliggende terrein kan worden nagegaan of de omgeving als “bebouwd” is te beschouwen. Hiervoor wordt verwezen naar bijlage A van NEN 6702:2001.

6.1.2 *Kustgebieden*

In de kuststrook, de eerste 100 m vanaf de bebouwing, moet de stuwdruk bepaald volgens tabel A.1 van NEN 6702:2001 gebied I onbebouwd verhoogd worden met een factor 1,15.

De achtergrondgedachten en gegevens waarop de stuwdrukwaarden zijn gebaseerd, zijn weergegeven in bijlage B.

6.1.3 *Referentiehoogte*

De referentiehoogte voor de stuwdruk moet bepaald worden volgens 6.2.1, 6.3.1, 6.4.1 en 6.5.1.

6.1.4 *Invloed van hogere gebouwen*

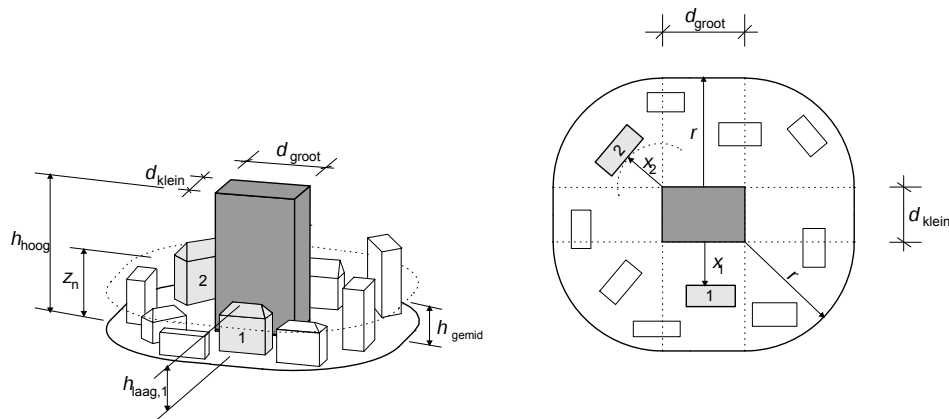
Als een gebouw meer dan twee keer zo hoog is dan de gemiddelde hoogte van de omringende gebouwen, dan mag het ontwerp van deze omringende gebouwen als een eerste benadering worden gebaseerd op de stuwdruk op hoogte z_n boven grondniveau.

$$\begin{aligned} x \leq r : & \quad z_n = \frac{1}{2} r \\ r < x < 2r : & \quad z_n = \frac{1}{2} \left(r - \left(1 - \frac{2h_{\text{laag}}}{r} \right) (x - r) \right) \\ x \geq 2r : & \quad z_n = h_{\text{laag}} \end{aligned}$$

Waarin de straal r gelijk is aan:

$$\begin{aligned} r = h_{\text{hoog}} & \quad \text{als} \quad h_{\text{hoog}} \leq 2d_{\text{groot}} \\ r = 2d_{\text{groot}} & \quad \text{als} \quad h_{\text{hoog}} > 2d_{\text{groot}} \end{aligned}$$

De gebouwhoogte h_{laag} , de straal r , de afstand x en de dimensies d_{klein} en d_{groot} zijn geïllustreerd in figuur 10.



Figuur 10 - Invloed van hoogbouw op twee omringende gebouwen

6.1.5 Invloed van hellingen

De invloed van een helling kan in rekening worden gebracht door de stuwdruk te bepalen met:

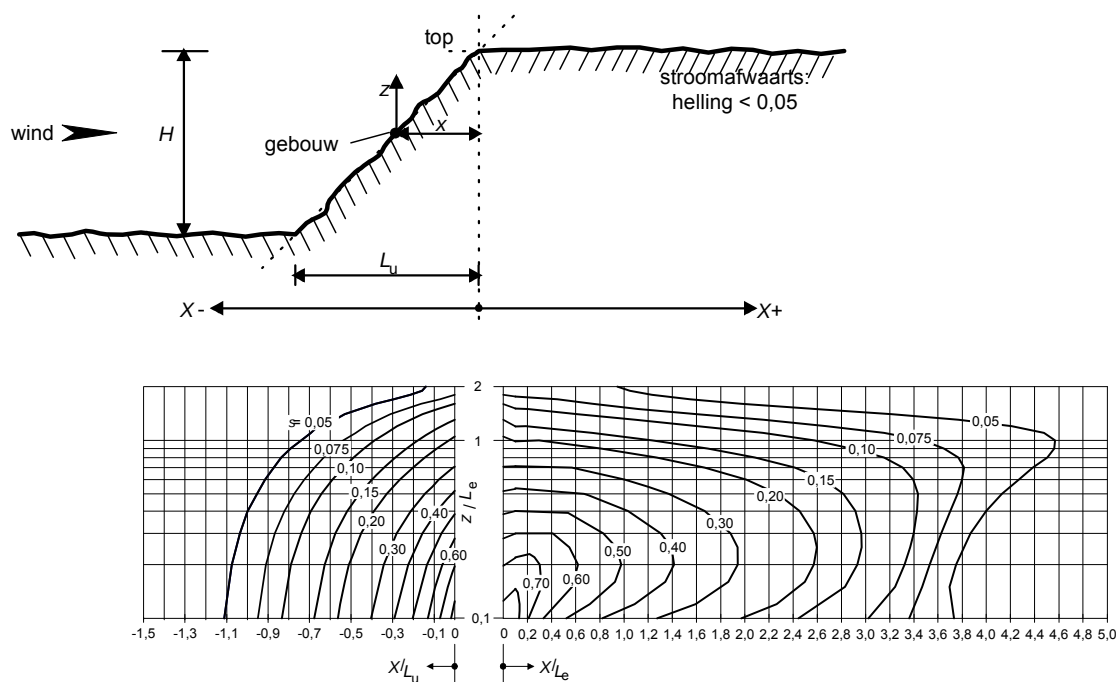
$$p_w = \left(1 + 7 \frac{I(z)}{c_o}\right) \frac{1}{2} \rho (c_o v_w(z))^2$$

Als referentiehoogte moet worden gerekend met de hoogte van het gebouw ten opzichte van de helling. De “orography” factor wordt bepaald met:

$c_o = 1$	als	$\phi < 0,05$
$c_o = 1 + 2s\phi$	als	$0,05 < \phi < 0,3$
$c_o = 1 + 0,6s$	als	$\phi > 0,3$

Met:

- s bepalen met figuur 2
- Φ helling H/L_u stroomopwaarts
- L_e effectieve lengte van helling stroomopwaarts
- L_u werkelijke lengte aan stroomopwaarts
- H effectieve hoogte van de helling
- X horizontale afstand van het gebouw tot de rand van de helling aan de top
- z verticale afstand van het gebouw tot de helling

Figuur 11 - Factor s voor steile hellingen

6.1.6 In rekening brengen van windrichtingafhankelijkheid (informatief)

Het in rekening brengen van de windrichtingafhankelijke statistiek van de windsnelheid kan voordelen leveren bij systemen waarvoor de windbelasting voor wind uit het noorden en oosten dominant is. Dit speelt met name een rol bij systemen die op een plat dak zijn geplaatst, en die naar het zuid-zuidwesten gericht zijn. De hoge kant wijst dan naar het noord-noordoosten, waarvoor de extremen windsnelheden minder hoog zijn. Om hier rekening mee te mogen houden is een uitgebreidere berekening van de windbelasting nodig, waarvoor de extremen wind per windrichting, maar ook de in rekening te brengen vormfactor per windrichting bekend moet zijn. Gegevens over de vormfactoren per windrichting zijn af te leiden aan de hand van TNO Rapport 2002-BS-R0061 (zie ref. 2). Voor de bepalingsmethode hiervan wordt verwezen naar Bijlage D.

6.2 Zonne-elementen geïntegreerd in de gebouwschil (montagewijze 1)

Voor zonne-elementen die op een hellend dak (bijvoorbeeld in plaats van schubvormige dakbedekkingen zoals dakpannen) en in de gevel (als uitwendige scheidingsconstructie of geïntegreerd in de buitenschil van de uitwendige scheidingsconstructie) worden aangebracht, moet de windbelasting als volgt worden bepaald:

6.2.1 Referentiehoogte stuwdruk

Voor de stuwdruk moet worden uitgegaan van de stuwdruk op referentiehoogte. De referentiehoogte voor zonne-energiesystemen geïntegreerd in het dak is gelijk aan de dakhoogte. De referentiehoogte voor zonne-energiesystemen geïntegreerd in de gevel hangt af van de dakhoogte en de gemiddelde bouwwerkbreedte loodrecht op de beschouwde windrichting. Voor gebouwen die lager zijn dan de breedte is de referentiehoogte op ieder punt van de gevel gelijk aan de dakrandhoogte. Voor gebouwen die hoger zijn de breedte geldt een verlopende stuwdruk over de hoogte. Deze dient bepaald te worden met artikel 8.6.2.4 van NEN6702:2001. Een veilige aanname is de stuwdruk op dakhoogte.

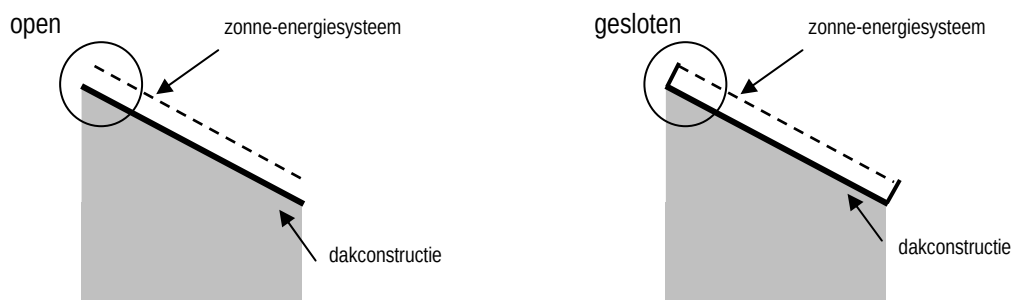
6.2.2 Vormfactoren

Voor de vormfactoren moeten voor zonne-elementen die in het dakvlak zijn aangebracht de waarden voor $C_{pe,loc}$ worden gehanteerd voor de situaties volgens figuur A.1. Voor zonne-elementen die in de gevel zijn aangebracht, gelden de lokale vormfactoren $C_{pe,loc}$ volgens figuur A.2.

6.2.3 Drukvereffening

Voor drukvereffenende systemen (dichte onderconstructie, geventileerde spouw) kan afhankelijk van het systeem met een drukvereffeningsfactor C_{eq} worden gerekend die kleiner is dan 1. Dit geldt zowel voor zonne-elementen geïntegreerd in het dak als voor elementen die zijn geïntegreerd in buitenschil van de gevel. Voor zonne-energiesystemen in de gevel die dienen als uitwendige scheidingsconstructie is de drukvereffeningsfactor gelijk aan 1. Een drukvereffeningsfactor kleiner dan 1 mag alleen worden toegepast voor volledig afgedichte systemen (situatie b van figuur 12 en 13) die evenwijdig aan het dak of de gevel zijn gemonteerd en die voldoen aan alle volgende voorwaarden:

- De permeabiliteit van het zonne-energiesysteem, zoals gedefinieerd in artikel 11.4 van NEN6707, is groter dan 10^{-3} . De onderconstructie heeft een permeabiliteit die ten minste een factor 3 kleiner is dan die van het zonne-energiesysteem.
- De afstand tussen het systeem en het onderdak is maximaal 200 mm. De afstand tussen het zonne-energiesysteem en de gevelconstructie is kleiner dan 100 mm.
- De zonne-energiesystemen zijn zodanig opgesteld dat geen luchtinstroming van opzij kan plaatsvinden.
- De ruimte tussen individuele componenten van de systemen is minder dan 20 mm.



a. Luchtinstroming bij hoeken en randen mogelijk b. Luchtinstroming bij hoeken en randen niet mogelijk

Figuur 12 – Bovenaanzicht geïntegreerd zonne-energiesysteem in hellend dak

Voor geïntegreerde zonne-energiesystemen op daken zijn de waarden van de drukvereffeningsfactor C_{eq} is gegeven in tabel 6. De dakzone-indeling moet worden ontleend aan figuren A.1 tot en met A.6 in bijlage A.

Tabel 6 Drukvereffeningsfactor

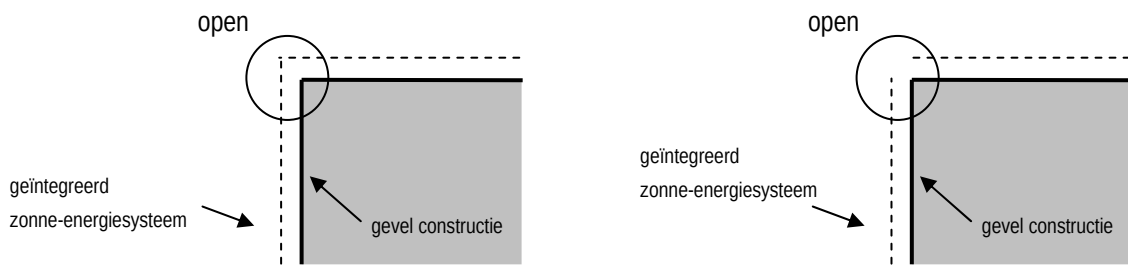
Dakhelling		Dakzone-aanduiding						
Vanaf	Tot en met	c	c*	r	s	s*	t	u
15°	25°	0,4	0,4	0,4	0,33	0,4	0,33	0,33
30°	90°	0,5	0,5	0,5	0,33	0,5	0,33	0,33

OPMERKING

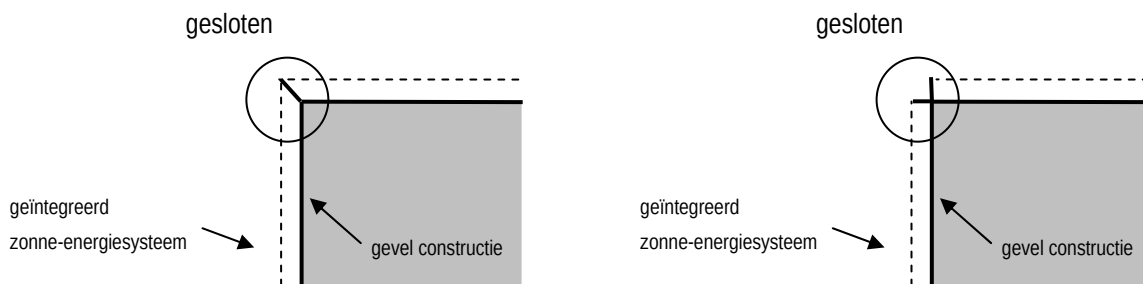
De waarden in de tabel zijn gebaseerd op een analyse van volle schaal metingen op een hellend dak.

Voor zonne-energiesystemen die als permeabele buitenste schil van de uitwendige scheidingsconstructie zijn toegepast is de drukvereffeningsfactor afhankelijk van de positie in de gevel:

- Voor systemen in de middenzone van de gevel $C_{eq} = 0,33$
- Voor systemen in de rand-en hoekzone van de gevel $C_{eq} = 0,5$



a. Luchtinstroming bij hoeken en randen mogelijk



b. Luchtinstroming bij hoeken en randen niet mogelijk

Figuur 13 – Bovenaanzicht geïntegreerd zonne-energiesysteem in gevel

Wanneer tussen het zonne-energiesysteem en de dakconstructie of gevelconstructie wel luchtinstroming kan plaatsvinden (situatie a van figuur 12 en 13) dan gelden de volgende drukvereffeningsfactoren:

- Voor systemen in de middenzone van het dak of de gevel $C_{eq} = 1,0$
- Voor systemen in de rand-en hoekzone van het dak of de gevel $C_{eq} = 1,3$

6.2.4 Invloed afmetingen van het bouwwerk

De factor C_{dim} is gelijk aan 1.

6.2.5 Dynamische vergrotingsfactor

Indien voor de eigenfrequentie f_e van het zonne-element en de daartoe behorende draagconstructie geldt dat $f_e > 3$ Hz, dan geldt: $\phi_1 = 1$. Deze eigenfrequentie is bijvoorbeeld via een EEM (Eindige Elementen Methode) berekening te bepalen. Voor lagere waarden van f_e dient ϕ_1 te worden vastgesteld conform de bepalingsmethode uit de achtergronden van NEN 6702:2001.

Opmerking: Zonne-energiesystemen waarvoor $f_e < 3$ Hz worden als een slappe constructie beschouwd. Deze zijn om meerdere redenen niet aan te bevelen. In dat geval zal verstijving van de constructie eerder voor de hand liggen dan het uitvoeren van een additionele berekening van de dynamische vergrotingsfactor.

6.3 Zonne-elementen aan gebouwschil (montagewijze 2)

Voor zonne-elementen die boven, respectievelijk voor de dak- of gevelbekleding zijn gemonteerd, wordt de windbelasting als volgt bepaald. Zonne-energiesystemen die niet evenwijdig aan de dakbedekking geplaatst zijn op een hellend dak, dienen behandeld te worden als zonne-energiesystemen op een plat dak.

6.3.1 Referentiehoogte stuwdruk

Voor de stuwdruk moet worden uitgegaan van de stuwdruk op referentiehoogte. De referentiehoogte voor lokale vormfactoren is gelijk aan de dakhoogte.

6.3.2 Vormfactoren

6.3.2.1 Vormfactoren voor zonne-energiesystemen op daken

Onderscheid wordt gemaakt tussen systemen die meer dan 300 mm van de dakbedekking, en systemen die minder dan 300 mm van de dakbedekking zijn aangebracht. Voor de belasting op systemen in de middenzone (zone t) van het dak geldt:

Bij een afstand > 300 mm van het dak:

$C_t = -0,7$ (belasting van het dak af gericht), of
 $C_t = 1,0$ (belasting naar het dakvlak toe gericht).

Bij een afstand < 300 mm van het dak:

$C_t = -1,3$ (belasting van het dak af gericht), of
 $C_t = 1,0$ (belasting naar het dakvlak toe gericht)

Voor toepassing in de rand- en hoekzones, zoals gedefinieerd in de figuren A.1 en A.2, hangt de toe te passen waarde voor de vormfactor af van detaillering en dimensies van het zonne-element en de dakbekleding. Aanbevolen wordt de volgende veilige waarden te gebruiken:

- Voor systemen in de randzones van het dak: $C_t = -3,0$
- Voor systemen in de hoekzones van het dak: $C_t = -3,5$

6.3.2.2 Vormfactoren voor zonne-energiesystemen op gevels

Voor toepassing in de rand- en middenzones, zoals gedefinieerd in de figuren A.1 en A.2, hangt de toe te passen waarde voor de vormfactor af van detaillering en dimensies van het zonne-element en de gevelbekleding. Aanbevolen wordt de volgende veilige waarden te gebruiken:

- Voor systemen in de middenzones van de gevel: $C_t = -2,0$
- Voor systemen in de randzones van de gevel: $C_t = -3,0$

6.3.3 Drukvereffening

De drukvereffeningsfactor C_{eq} is gelijk aan 1.

6.3.4 Invloed afmetingen van het bouwwerk

De factor C_{dim} is gelijk aan 1.

6.3.5 Dynamische vergrotingsfactor

Indien voor de eigenfrequentie f_e van het zonne-element en de daartoe behorende draagconstructie geldt dat $f_e > 3$ Hz, dan geldt: $\phi_1 = 1$. Deze eigenfrequentie is bijvoorbeeld via een EEM berekening te

bepalen. Voor lagere waarden van f_e dient ϕ_1 te worden vastgesteld conform de bepalingmethode uit de achtergronden van NEN 6702:2001.

Opmerking: Zonne-energiesystemen waarvoor $f_e < 3$ Hz worden als een slappe constructie beschouwd. Deze zijn om meerdere redenen niet aan te bevelen. In dat geval zal verstijving van de constructie eerder voor de hand liggen dan het uitvoeren van een additionele berekening van de dynamische vergrotingsfactor.\

6.4 Zonne-elementen die los zijn geplaatst op een plat dak (montagewijze 3)

6.4.1 Referentiehoogte stuwdruk

Voor de stuwdruk moet worden uitgegaan van de stuwdruk op referentiehoogte. De referentiehoogte voor lokale vormfactoren is gelijk aan de dakhoogte.

6.4.2 Vormfactoren

De vormfactoren dienen te worden afgeleid uit tabellen 7, 8, 9 en 10. De zone-indeling wordt bepaald volgens figuur A.2. De zone-indeling bij een hoogteverschil, een dakopbouw of een dakdoorbreking is gegeven in figuur A.7 en A.8.

Tabel 7 Vormfactoren voor zonne-energiesystemen met een hellingshoek kleiner dan 10 graden

Dakzone	$h/d_2 \leq 1$		$h/d_2 \geq 2$	
	Opwaartse belasting	Neerwaartse belasting	Opwaartse belasting	Neerwaartse belasting
c (hoekzone)	-2,5	0,2	-2,0	0,2
r (randzone)	-2,0	0,2	-1,5	0,2
p (dakopbouw)	-1,2	0,6	-1,2	0,6
t (middenzone)	-1,0	0,2	-1,0	0,2

OPMERKING Voor $1 < h/d_2 < 2$ moet lineair zijn geïnterpoleerd.

Tabel 8 Vormfactoren voor open zonne-energiesystemen met een hellingshoek tussen 10 en 40 graden

Dakzone	Dakrand < 100 mm		Dakrand > 200 mm	
	Opwaartse belasting	Neerwaartse belasting	Opwaartse belasting	Neerwaartse belasting
c (hoekzone)	-1,8	1,2	-1,5	1,0
r (randzone)	-1,6	1,2	-1,2	1,2
p (dakopbouw)	-1,6	1,2	-1,2	1,2
t (middenzone)	-0,6	0,6	-0,6	0,6
t (middenzone) afgeschermd	-0,4	0,4	-0,4	0,4

OPMERKING Voor tussenliggende waarden van de dakrand dient lineair geïnterpoleerd te worden.

Tabel 9 Vormfactoren voor bovenzvlakken van zonne-energiesystemen met gesloten ondersteuningsconstructies met een hellingshoek tussen 10 en 40 graden

Dakzone	Dakrand < 100 mm		Dakrand > 200 mm	
	Opwaartse belasting	Neerwaartse belasting	Opwaartse belasting	Neerwaartse belasting
c (hoekzone)	-1,7	0,5	-1,7	0,5
r (randzone)	-1,6	0,5	-1,4	0,5
t (middenzone)	-1,0	0,5	-1,0	0,5
t (middenzone) afgeschermd	-0,5	0,5	-0,5	0,5

OPMERKINGEN

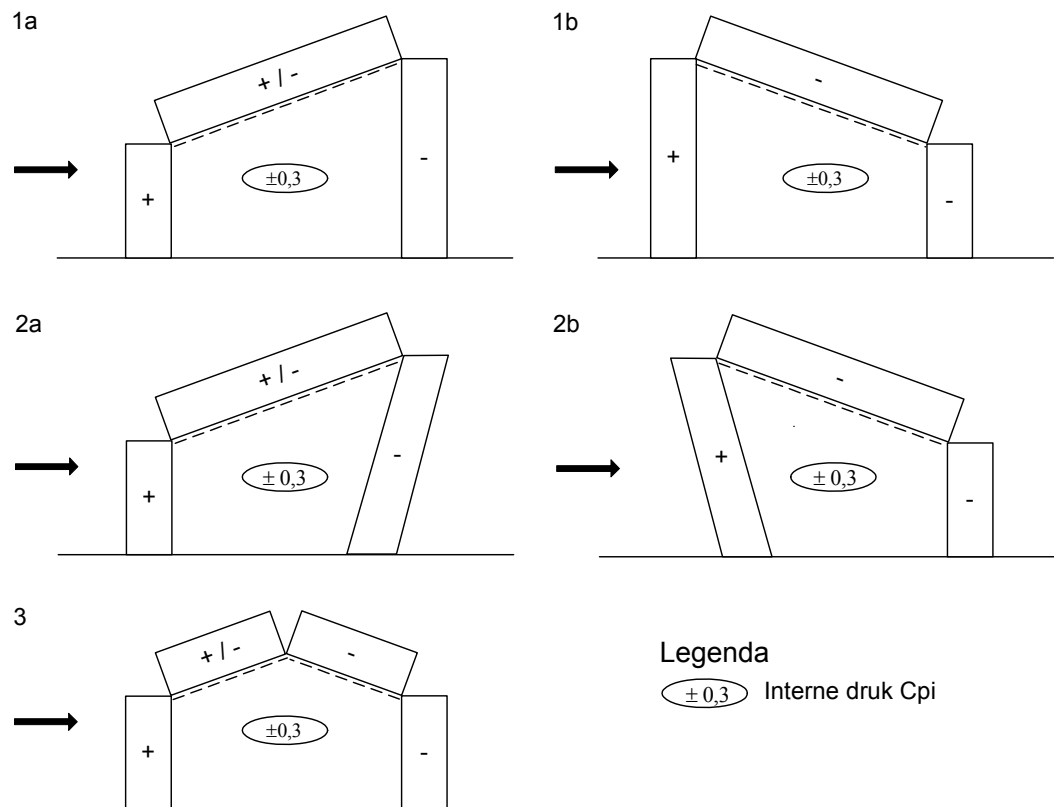
- Voor tussenliggende waarden van de dakrand dient lineair geïnterpoleerd te worden.
- De neerwaartse belasting is inclusief een verhoging van $C_p = -0,3$ om de interne druk van de ondersteuningsconstructie in rekening te brengen.

Tabel 10 Vormfactoren voor verticale vlakken van gesloten ondersteuningsconstructies met een hellingshoek tussen 10 en 40 graden

Dakzone	Dakrand < 100 mm		Dakrand > 200 mm	
	Onderdruk	Overdruk	Onderdruk	Overdruk
c (hoekzone)	-1,2	0,7	-1,2	0,7
r (randzone)	-1,1	0,5	-1,0	0,5
t (middenzone)	-1,0	0,3	-1,0	0,3
t (middenzone) afgeschermd	-0,5	0,3	-0,5	0,3

OPMERKING Voor tussenliggende waarden van de dakrand dient lineair geïnterpoleerd te worden.

Bij zonne-energiesystemen met gesloten ondersteuningsconstructies moeten bij de ballastberekening twee situaties worden bekeken: de helling van zonne-energiesysteem is stroomopwaarts gericht of de helling van zonne-energiesysteem is stroomafwaarts gericht (zie figuur 14). Een ondersteuningsconstructie is gesloten indien alle verticale delen, en hiermee ook de kopse zijken van de ondersteuningsconstructie, volledig gesloten zijn. Wanneer de kopse zijken van de ondersteuningsconstructie open zijn, dan gelden de vormfactoren voor open zonne-energiesystemen.



Figuur 14 - Bepaling windbelasting op gesloten ondersteuningsconstructie

OPMERKING: In situatie 2b dient de positieve waarde van de vormfactor met 0,2 verhoogd te worden vanwege de extra druk die onder de schuine zijde ontstaat.

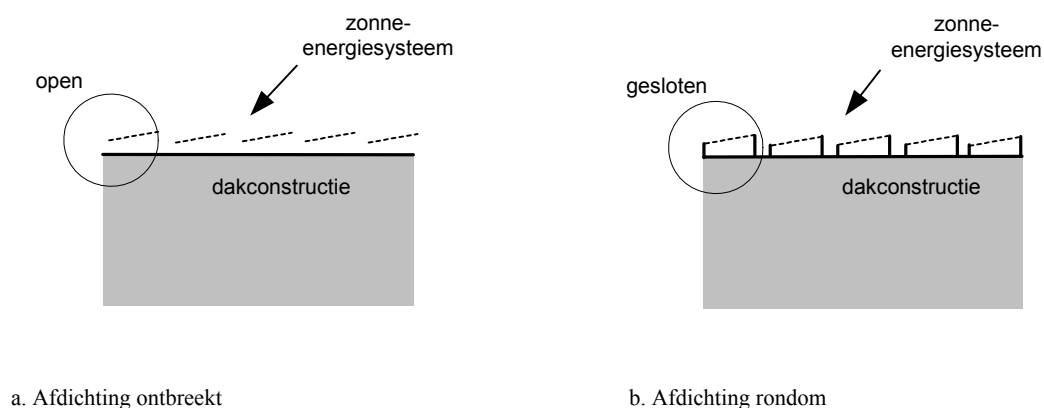
Voor open zonne-energiesystemen met een hellingshoek tussen de 40 en 70 graden wordt aanbevolen de volgende veilige waarden te gebruiken:

- Voor systemen in de middenzones van het dak: $C_t = -2,0$
- Voor systemen in de rand-, en hoekzones van het dak: $C_t = -3,0$

6.4.3 Drukvereffening

Een drukvereffeningsfactor $C_{eq} < 1$ kan worden toegepast voor permeabele zonne-energiesystemen met een hellingshoek kleiner dan 10 graden die evenwijdig aan het dak zijn gemonteerd en die voldoen aan alle volgende voorwaarden:

- De afstand tussen het systeem en het luchtdichte onderdak is maximaal 200 mm.
- De zonne-energiesystemen zijn zodanig opgesteld dat geen luchtinstroming van opzij kan plaatsvinden (zie figuur 4b).
- De ruimte tussen individuele componenten van de systemen is minder dan 20 mm.
- Permeabiliteit van het zonne-energiesysteem is groter dan 10^{-3} . De onderconstructie moet luchtdicht zijn, oftewel een permeabiliteit bezitten van maximaal 10^{-5} .



Figuur 15 - Afdichting van de randen van de ruimte tussen het zonne-energiesysteem en de dakconstructie

Voor systemen in de middenzone van het dak wordt $C_{eq} = 0,5$ aanbevolen. Voor systemen in de rand- en hoekzone van het dak wordt $C_{eq} = 0,8$ aanbevolen. De waarden zijn afkomstig uit [8]. Indien de afdichting ontbreekt kan geen drukvereffening worden toegepast: de waarden van de drukvereffeningsfactoren zijn dan $C_{eq} = 1,0$ en $C_{eq} = 1,3$ voor respectievelijk de middenzone en de hoekzone.

De drukvereffeningsfactor C_{eq} voor open en gesloten zonne-energiesystemen met een hellingshoek tussen 10 en 40 graden is gelijk aan 1.

6.4.4 *Invloed afmetingen van het bouwwerk*

De factor C_{dim} is gelijk aan 1.

6.4.5 *Dynamische vergrotingsfactor*

Indien voor de eigenfrequentie f_e van het zonne-element en de daartoe behorende draagconstructie geldt dat $f_e > 3$ Hz, dan geldt: $\phi_1 = 1$. Deze eigenfrequentie is bijvoorbeeld via een EEM berekening te bepalen. Voor lagere waarden van f_e dient ϕ_1 te worden vastgesteld conform de bepalingmethode uit de achtergronden van NEN 6702:2001.

Opmerking: Zonne-energiesystemen waarvoor $f_e < 3$ Hz worden als een slappe constructie beschouwd. Deze zijn om meerdere redenen niet aan te bevelen. In dat geval zal verstijving van de constructie eerder voor de hand liggen dan het uitvoeren van een additionele berekening van de dynamische vergrotingsfactor.

6.5 **Zonne-energiesystemen gecombineerd met flexibele dakbedekkingssystemen (montagewijze 4)**

6.5.1 *Referentiehoogte stuwdruk*

Voor de stuwdruk moet worden uitgegaan van de stuwdruk op referentiehoogte. De referentiehoogte voor locale vormfactoren is gelijk aan de gebouwhoogte.

6.5.2 *Vormfactor*

Voor zonne-elementen (bijv. PV-folies) die gecombineerd zijn met flexibele dakbedekkingssystemen of die als flexibele dakbedekking zijn toegepast, wordt de windbelasting (vormfactor) bepaald volgens figuur A.1, figuur A.2, figuur A.3 of figuur A.4. Zie voor de bepaling van de windweerstand 11.1.2.

6.5.3 *Drukvereffening*

De drukvereffeningsfactor C_{eq} is gelijk aan 1.

Opmerking: In EN 1991-1-4, is voor flexibele dakbedekking op luchtdichte, stijve, onderconstructies een procedure gegeven hoe met drukvereffening omgegaan kan worden. Deze procedure is aan strikte voorwaarden gebonden. In NPR 6708 is deze procedure niet overgenomen voor flexibele dakbedekkingen. Derhalve wordt ook voor NVN 7250 de waarde $C_{eq} = 1$ aangehouden.

6.5.4 *Invloed afmetingen van het bouwwerk*

De factor C_{dim} is gelijk aan 1.

6.5.5 *Dynamische vergrotingsfactor*

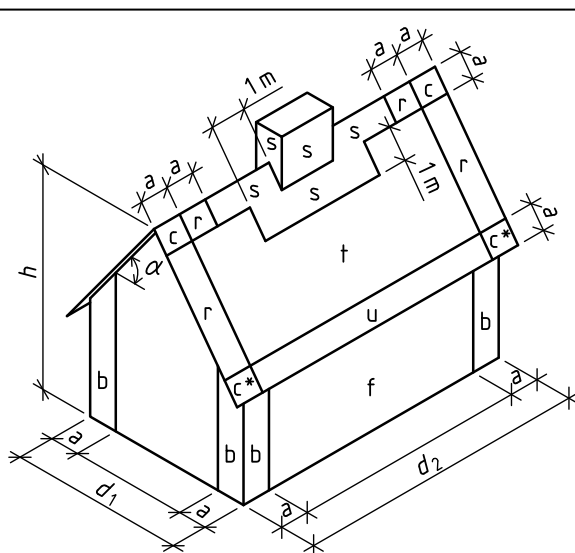
Indien voor de eigenfrequentie f_e van het zonne-element en de daartoe behorende draagconstructie geldt dat $f_e > 3$ Hz, dan geldt: $\phi_1 = 1$. Deze eigenfrequentie is bijvoorbeeld via een EEM berekening te bepalen. Voor lagere waarden van f_e dient ϕ_1 te worden vastgesteld conform de bepalingmethode uit de achtergronden van NEN 6702:2001.

Opmerking: Zonne-energiesystemen waarvoor $f_e < 3$ Hz worden als een slappe constructie beschouwd. Deze zijn om meerdere redenen niet aan te bevelen. In dat geval zal verstijving van de constructie eerder voor de hand liggen dan het uitvoeren van een additionele berekening van de dynamische vergrotingsfactor.

Bijlage A (voor NVN 7250)

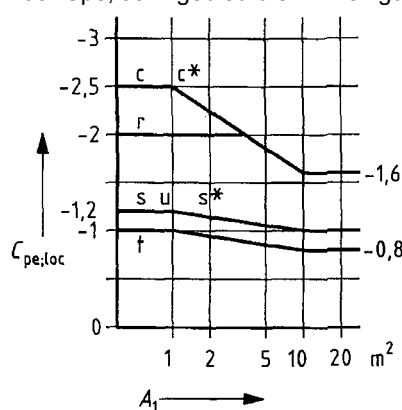
(informatief)

Figuren met vormfactoren voor wind

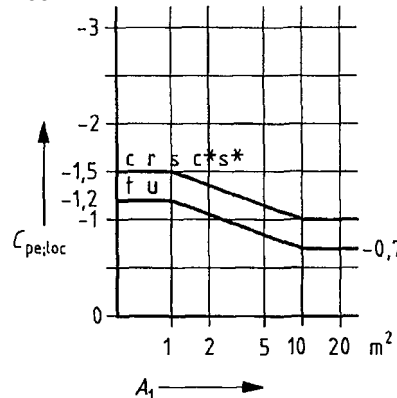


$d1 \leq 3h$ $d1 \leq d2$	$a = 0,1 d1$ $a \geq 1 \text{ m}$
$d2 \leq 3h$ $d2 < d1$	$a = 0,1 d2$ $a \geq 1 \text{ m}$
$d1 \text{ en } d2 > 3h$ $d1 \leq d2$	$a = 0,45 h$ $a \geq 0,04 d1$ $a \geq 1 \text{ m}$
$d1 \text{ en } d2 > 3h$ $d2 < d1$	$a = 0,45 h$ $a \geq 0,04 d2$ $a \geq 1 \text{ m}$

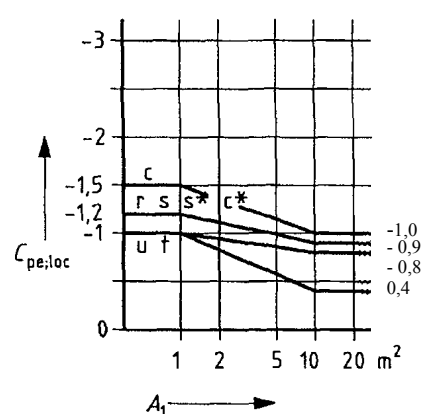
Voor $C_{pe,loc}$ in gebied b en f: zie figuur A.9a.



A.10a — Daken met flauwe helling
($15^\circ \leq \alpha \leq 25^\circ$)



Figuur A.10b — Daken met
grote helling ($30^\circ \leq \alpha \leq 50^\circ$)³⁾



Figuur A.10c — Daken met zeer grote
helling ($\alpha \geq 55^\circ$)

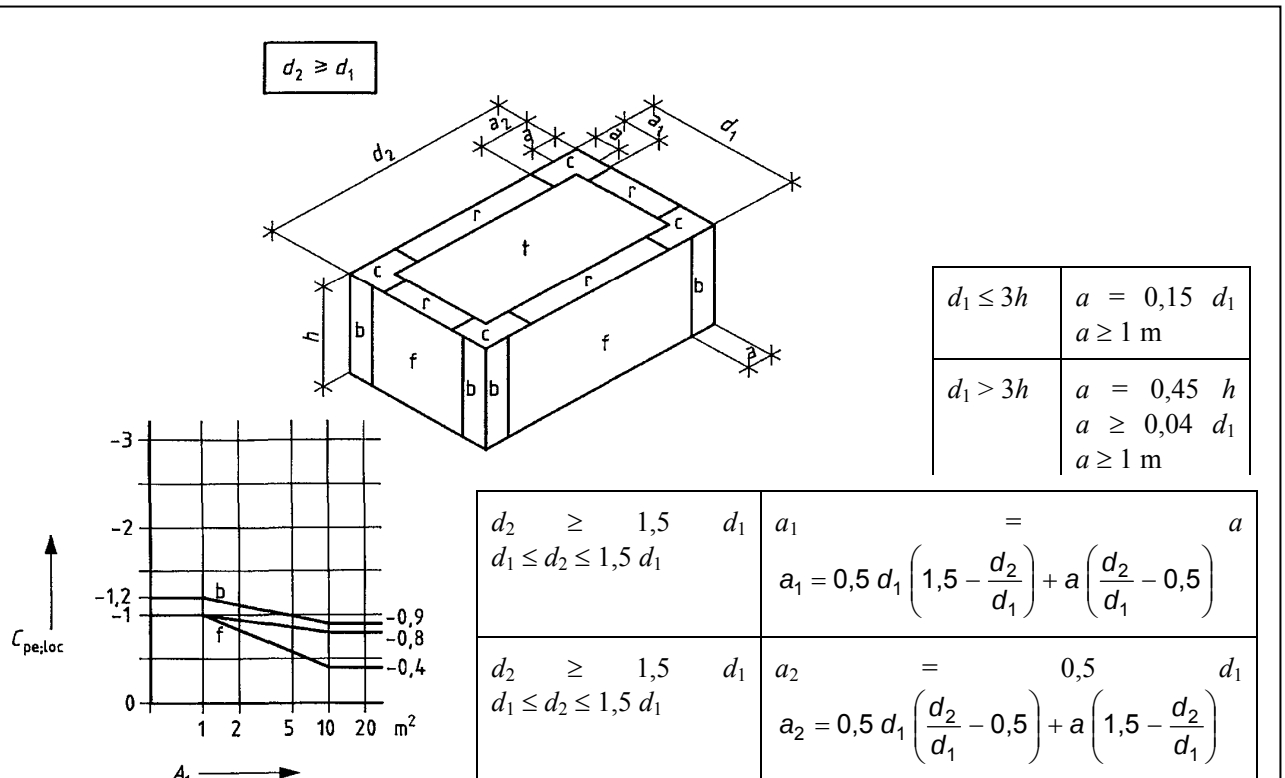
Voor $10^\circ \leq \alpha \leq 15^\circ$ moet lineair zijn geïnterpoleerd tussen de waarden volgens figuur A.9b of A.9c en A.10a;
voor $25^\circ \leq \alpha \leq 30^\circ$ moet lineair zijn geïnterpoleerd tussen de waarden volgens figuur A.10a en A.10b;
voor $50^\circ \leq \alpha \leq 55^\circ$ moet lineair zijn geïnterpoleerd tussen de waarden volgens figuur A.10b en A.10c.

De referentiehoogte voor de bepaling van de stuwdruk volgens tabel 10 is de hoogte tussen de nok en het aansluitend terrein. Voor A_1 zie figuur A.9.

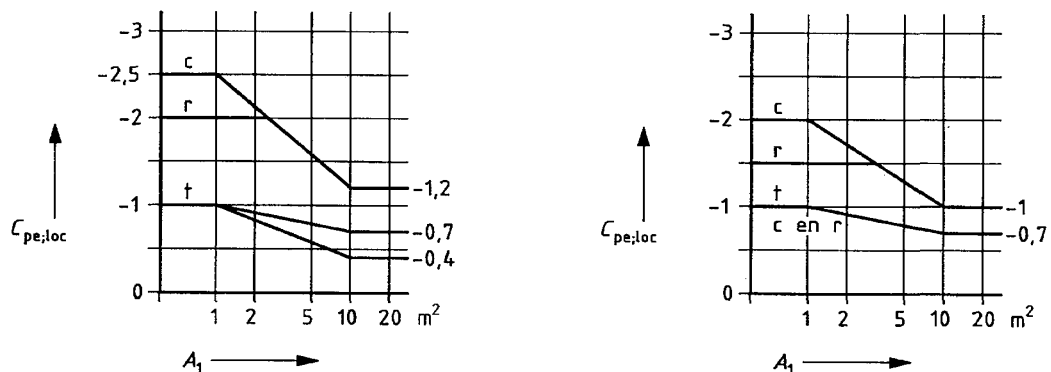
3) In gebied u en t bij $A_1 \geq 10 \text{ m}^2$ en $\alpha > 55^\circ$ moet $C_{pe,loc}$ zijn bepaald volgens figuur A.4. Bij $1 \text{ m}^2 \leq A_1 \leq 10 \text{ m}^2$ moet $C_{pe,loc}$ zijn bepaald door interpolatie tussen de betreffende waarden bij $A_1 = 1 \text{ m}^2$ en $A_1 = 10 \text{ m}^2$ volgens figuur A.10c.

OPMERKING Deze figuur is gelijk aan figuur A.10 van NEN 6702:2001.

Figuur A.1 — Lokale windvormfactoren $C_{pe,loc}$ voor hellende daken ($\alpha > 10^\circ$) en gevels



Figuur A.9a — Lokale windvormfactor $C_{pe;loc}$ voor gevels ²⁾



Figuur A.9b — Lokale windvormfactor $C_{pe;loc}$ voor $h/d_2 \leq 1$ ²⁾ **Figuur A.9c — Lokale windvormfactor $C_{pe;loc}$ voor $h/d_2 \geq 2$**

Voor $1 < h/d_2 < 2$ moet lineair zijn geïnterpoleerd tussen de waarden volgens figuur A.9b en A.9c. A_1 is de oppervlakte van het dak- of gevelelement, voor zover dat binnen het betreffende gebied valt.

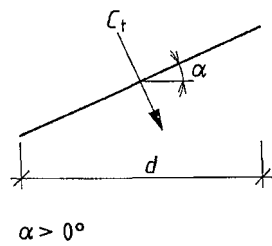
Voor de invloed van borstweringen zie figuur A.12.

²⁾ In gebied f en t bij $A_1 \geq 10 \text{ m}^2$ moet $C_{pe;loc}$ zijn bepaald volgens figuur A.4 respectievelijk A.6.

Bij $1 \text{ m}^2 \leq A_1 \leq 10 \text{ m}^2$ moet $C_{pe;loc}$ zijn bepaald door interpolatie tussen de betreffende waarden bij $A_1 = 1 \text{ m}^2$ en $A_1 = 10 \text{ m}^2$ volgens figuur A.9b.

OPMERKING Deze figuur is gelijk aan figuur A.9 van NEN 6702:2001.

Figuur A.2 — Lokale windvormfactoren $C_{pe;loc}$ voor daken met een hellingshoek kleiner dan 10° en voor gevels



α	C_t	
0°	+ 0,2	- 1,3
5°	+ 0,4	- 1,4
10°	+ 0,5	- 1,4
15°	+ 0,7	- 1,3
20°	+ 0,8	- 1,4
25°	+ 1,0	- 1,6
30°	+ 1,2	- 1,8

Voor tussengelegen waarden mag lineair worden geïnterpoleerd.

Figuur A.8a — Windvormfactoren C_t voor eenzijdig hellende overkappingen

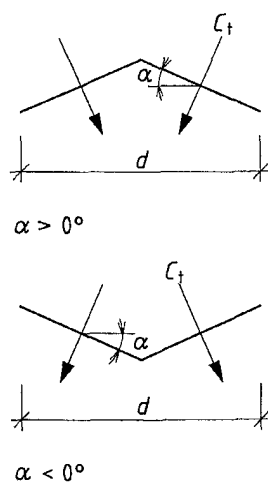
C_t is de sommatie van de vormfactoren onder en boven de overkapping. De stuwdruk moet zijn bepaald op het hoogste punt van het dakvlak.

Voor eenzijdig hellende overkappingen moet zijn aangenomen dat het aangrijpingspunt van de resulterende windkracht ligt op 1/4 van de overspanning vanaf de loefzijde. De positieve windvormfactoren treden op bij wind van links, ten opzichte van de in figuur A.8a geschetste situatie; de negatieve windvormfactoren bij wind van rechts.

OPMERKING Bij de windvormfactoren C_t volgens de figuren A.8a en A.8b is rekening gehouden met het feit dat de doorstroming van de wind onder de overkapping geblokkeerd kan zijn (bijvoorbeeld bij hooibergen, perronoverkappingen van stations e.d.).

OPMERKING Deze figuur is gelijk aan figuur A.8a van NEN 6702:2001.

Figuur A.3 – Windvormfactoren C_t voor eenzijdig hellende overkappingen



α	C_t	
- 20°	+ 0,7	- 1,3
- 15°	+ 0,5	- 1,4
- 10°	+ 0,4	- 1,4
- 5°	+ 0,3	- 1,3
0°	+ 0,2	- 1,3
5°	+ 0,3	- 1,3
10°	+ 0,4	- 1,3
15°	+ 0,4	- 1,3
20°	+ 0,6	- 1,3
25°	+ 0,7	- 1,3
30°	+ 0,9	- 1,3

Voor tussengelegen waarden mag lineair worden geïnterpoleerd.

Figuur A.8b — Windvormfactoren C_t voor tweezijdig hellende overkappingen

OPMERKING Een positieve waarde van C_{pe} levert een belasting naar het vlak toegericht (druk); een negatieve waarde C_{pe} levert een belasting van het vlak afgericht (zuiging).

C_t is de sommatie van de vormfactoren onder en boven de overkapping.

De referentiehoogte voor de bepaling van de stuwdruk volgens tabel A.1 is de hoogte tussen het aansluitend terrein en het laagste punt van het dakvlak indien $\alpha > 0^\circ$ of het hoogste punt van het dakvlak indien $\alpha < 0^\circ$.

Voor tweezijdig hellende overkappingen moet zijn aangenomen dat het aangrijpingspunt van de resulterende windkracht, op elk dakschild, ligt in het midden van het desbetreffende dakschild. De volgende drie gevallen moeten zijn onderscheiden:

beide vlakken van de tweezijdig hellende overkapping ondervinden een neerwaartse belasting ($C_t > 0$);

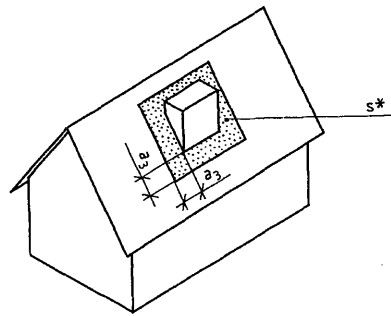
beide vlakken van de tweezijdig hellende overkapping ondervinden een opwaartse belasting ($C_t < 0$);

indien $\alpha > 0^\circ$ ondervindt het dakvlak aan de loefzijde een neerwaartse belasting en het dakvlak aan de lijzijde een opwaartse belasting. Indien $\alpha < 0^\circ$ ondervindt het dakvlak aan de loefzijde een opwaartse belasting en het dakvlak aan de lijzijde een neerwaartse belasting.

Voor $\alpha = 0^\circ$ geldt hetgeen in figuur A.8a is gesteld voor $\alpha = 0^\circ$.

OPMERKING Deze figuur is gelijk aan figuur A.8b van NEN 6702:2001.

Figuur A.4 – Windvormfactoren C_t voor tweezijdig hellende overkappingen



Figuur A.11 — Lokale windvormfactor $C_{pe;loc}$ voor hellende daken rondom een dakdoorbreking

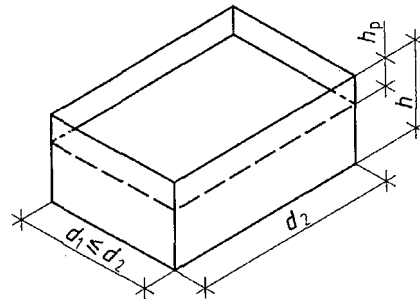
Er is sprake van een dakdoorbreking indien de hoogte ten opzichte van het dakvlak groter is dan 0,2 m en de grootste dwarsafmeting eveneens groter is dan 0,2 m. De breedte van de zone rondom de dakdoorbreking is gelijk aan de kleinste van de volgende twee waarden:

- 1) de hoogte van de dakdoorbreking;
- 2) de helft van de grootste dwarsafmeting (bij een rechthoek de diagonaal) met een minimum van 1 m.

De waarde van de lokale vormfactor in de zone s^* wordt bepaald volgens de figuren A.10a, A.10b en A.10c.

OPMERKING Deze figuur is gelijk aan figuur A.11 van NEN 6702:2001.

Figuur A.5 – Lokale windvormfactor $C_{pe;loc}$ voor hellende daken rondom een dakdoorbreking



Figuur A.12 — Invloed van borstweringen op de lokale vormfactoren voor daken met een hellingshoek kleiner dan 10°

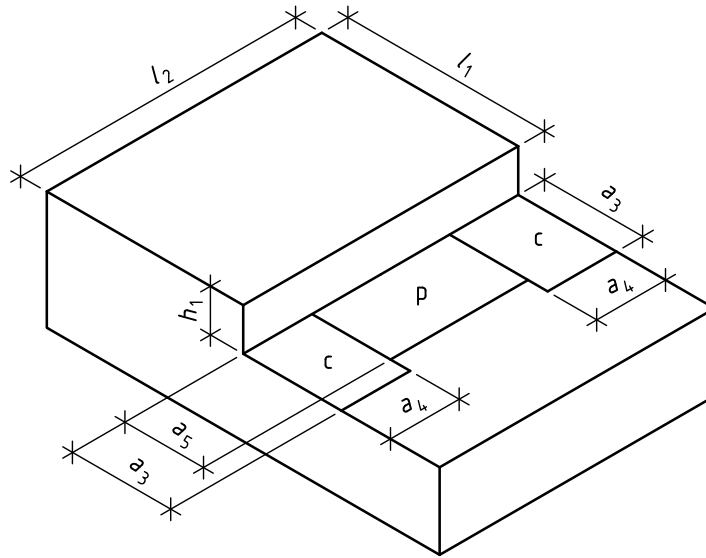
Voor de invloed van borstweringen op de lokale vormfactor voor daken met een hellingshoek kleiner dan 10° geldt het onderstaande:

- indien $h/d_2 < 1$ en $h_p/h \leq 0,1$ heeft de borstwering geen invloed op de lokale vormfactoren. De vormfactoren van figuur A.9 veranderen niet;
- indien $h/d_2 < 1$ en $h_p/h \geq 0,2$ geldt voor de lokale vormfactor in de gebieden r en c: $C_{pe;loc} = -1$. De vormfactor $C_{pe;loc}$ in gebied t wijzigt niet;
- indien $h/d_2 > 2$ en $h_p/d_1 < 0,01$ veranderen de vormfactoren $C_{pe;loc}$ van figuur A.9 niet;
- indien $h/d_2 > 2$ en $h_p/d_1 > 0,05$ geldt voor de lokale vormfactor in de gebieden r en c: $C_{pe;loc} = -1$. De vormfactor $C_{pe;loc}$ in gebied t wijzigt niet;
- voor tussengelegen waarden van h/d_2 , h_p/h en h_p/d_1 moet lineair zijn geïnterpoleerd;
- de hierboven aangegeven waarden voor $C_{pe;loc}$ moeten ook zijn toegepast op de naar het dak gekeerde zijde van de borstwering.

OPMERKING Deze figuur is gelijk aan figuur A.12 van NEN 6702:2001.

Figuur A.6 – Invloed van borstweringen op de lokale vormfactoren voor daken met een hellingshoek kleiner dan 10°

Indien sprake is van een hoogteverschil op het dakvlak, hetzij veroorzaakt door het dak zelf, hetzij door een opbouw op het dak, dan moet rekening worden gehouden met een gewijzigde zone-indeling rond het hoogteverschil. Voor zone p dient de vormfactor, bepaald door de zone van het platte dak, met 1,2 vermenigvuldigd te worden. De stuwdruk voor zone p wordt bepaald met een referentiehoogte die gelijk is aan de hoogte van het hoogste dakvlak, dus inclusief hoogteverschil.

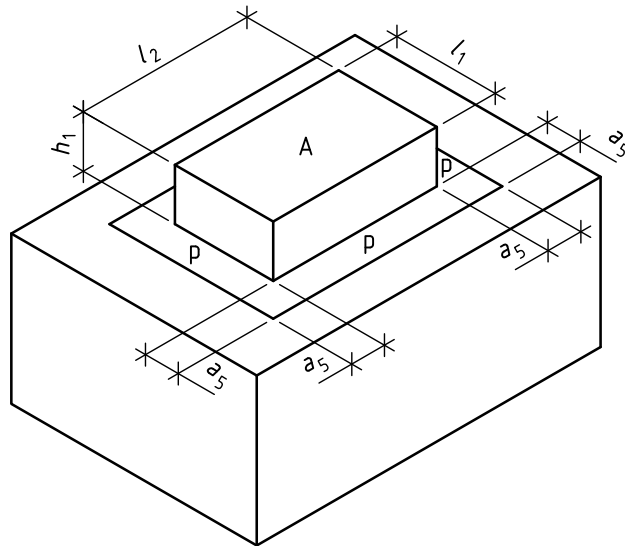


Voor de figuur geldt het volgende:

- De afmeting a_3 is de kleinste waarde van l_1 of h_1
- De afmeting a_4 is de kleinste waarde van $0,25 l_2$ of h_1
- De afmeting a_5 is de kleinste waarde van $0,5\sqrt{l_1^2 + l_2^2}$, of h_1
- Indien uit het bovenstaande voor a_3 of a_4 een afmeting volgt kleiner dan 1,00 m, moet voor de desbetreffende afmeting 1,00 m worden aangehouden.

Figuur A.7 – Zone-indeling voor een rechthoekig gebouw met een hoogteverschil tussen twee dakvlakken

Van een opbouw op een plat dak of een dakdoorbreking is sprake indien de hoogte van de opbouw of dakdoorbreking ten opzichte van het dakvlak groter is dan 1 m en de grootste dwarsafmeting eveneens groter dan 1 m. Voor zone p dient de vormfactor, bepaald door de zone van het platte dak, met 1,2 vermenigvuldigd te worden. De stuwdruk voor zone p wordt bepaald met een referentiehoogte die gelijk is aan de hoogte van het hoogste dakvlak, dus inclusief opbouw.



De waarde van a_5 is als volgt bepaald:

- De afmeting a_5 is de kleinste waarde van $0,5\sqrt{l_1^2 + l_2^2}$ of h_1 .
- Indien uit het bovenstaande voor a_5 een afmeting kleiner dan 1 m volgt, moet voor a_5 1 m worden aangehouden.

Figuur A.8 – Zone-indeling rond een opbouw of een dakdoorbreking op een plat dak

Bijlage D (voor NVN 7250)

(informatief)

In rekening brengen van windrichtingafhankelijkheid

De windbelasting wordt per windrichting als volgt bepaald:

$$p(\theta) = C_p(\theta) \frac{1}{2} \rho v_{12,5\text{yr}}^2 (1 + 7I(z)) C_\theta^2$$

De factor C_θ brengt de afwijking in herhalingstijd in rekening. Per windrichting moet worden uitgegaan van de stuwdruk met een herhalingstijd van 50 jaar. Dit is afwijkend van het uitgangspunt van de stuwdruk in NEN 6702:2001, waar uit wordt gegaan van een herhalingstijd van 12,5 jaar, waarbij het effect van windrichting niet wordt beschouwd. In tabel D.1 zijn voor de 3 windgebieden de factoren C_θ van 24 windrichtingen opgenomen.

$$C_\theta = \frac{v_{50\text{yr}}(\theta)}{v_{12,5\text{yr}}}$$

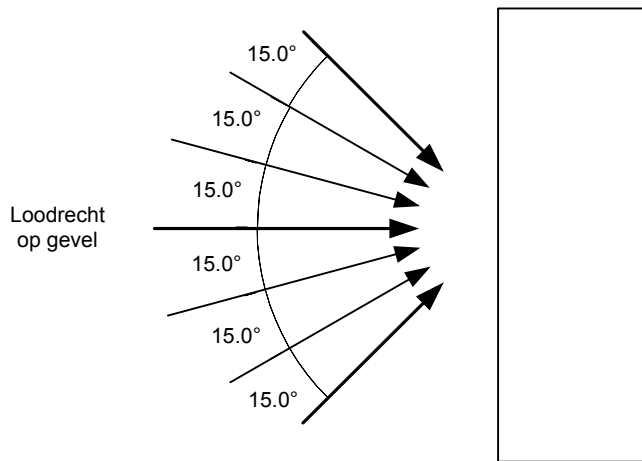
Tabel D.1 Factor C_θ voor windgebied I, II en III

θ	gebied I	gebied II	gebied III
0	0.78	0.73	0.68
15	0.75	0.71	0.67
30	0.72	0.69	0.66
45	0.73	0.70	0.68
60	0.75	0.71	0.70
75	0.74	0.70	0.68
90	0.73	0.69	0.66
105	0.71	0.67	0.64
120	0.69	0.65	0.61
135	0.71	0.66	0.62
150	0.73	0.67	0.63
165	0.79	0.73	0.70
180	0.84	0.80	0.77
195	0.91	0.89	0.87
210	0.98	0.97	0.97
225	1.02	1.01	1.02
240	1.05	1.06	1.07
255	1.06	1.07	1.08
270	1.07	1.08	1.09
285	1.05	1.05	1.04
300	1.02	1.02	1.00
315	0.96	0.94	0.91
330	0.90	0.87	0.83
345	0.84	0.80	0.75

OPMERKING: $\theta=0$ is noordenwind

De windrichtingafhankelijke vormfactoren $C_p(\theta)$ kunnen met behulp van windtunnelonderzoek bepaald worden (zie ook TNO Rapport 2002-BS-R0061, ref. 2)

De windbelastingen loodrecht op het aangestroomde oppervlak, de windbelastingen onder 45 graden en de tussenliggende richtingen met een interval van 15 graden dienen te worden beschouwd. Dit is geïllustreerd in figuur D.2



Figuur D.2 - Te beschouwen windrichtingen bij windrichtingsafhankelijke vormfactoren

7 Relatie met andere normbladen

Dit rapport is opgesteld voor de bepaling van de windbelasting op zonne-energiesystemen in Nederland. Derhalve is uitgegaan van de rekenregels in NEN 6702:2001, NEN 6707 en NVN 7250. Hieronder wordt kort ingegaan op een aantal Europese normen die betrekking hebben op hetzelfde onderwerp.

7.1 EN 61215

In (NEN-)EN 61215 is een bepalingmethode gegeven voor de windweerstand van PV modules. PV modules dienen een drukverschil van 2400 Pa gedurende 1 uur te kunnen weerstaan. De rekenwaarde van de windbelasting kan in Nederland, afhankelijk van gebouwhoogte, geografische locatie en invloed van de gebouwworm, hoger zijn dan deze waarde. Deze windbelasting is echter niet als een uurgemiddelde, maar als een kortstondig optredende belasting gedefinieerd. Een PV module die een uurgemiddeld drukverschil van 2400 Pa kan weerstaan zal waarschijnlijk een hogere piekbelasting kunnen opnemen. De grootte van die piekbelasting kan echter niet zonder meer worden bepaald.

Het verdient aanbeveling voor de bepaling van de windweerstand van PV modules eventuele resultaten aan de hand van EN 61215 met enige voorzichtigheid te beschouwen. Indien de ontwerp-windbelasting lager is dan 2400 Pa, dan kan worden aangenomen dat het paneel voldoet. Bij hogere ontwerp-windbelastingen is een nadere beoordeling noodzakelijk. Hiervoor zijn tot op heden geen bepalingsmethoden beschikbaar.

EN 61215 geeft overigens geen bepalingsmethoden voor de sterkte van het bevestigingssysteem.

7.2 EN 1991-1-4

De Eurocode voor windbelasting, (NEN-)EN 1991-1-4 zal op korte termijn de huidige NEN 6702:2001 vervangen. Volgens planning van de EU, zal in 2010 over de hele EU alleen nog maar met de Eurocodes gerekend mogen worden.

In TNO Rapport 2002-BS-R0048 is ingegaan op de verschillen en overeenkomsten tussen de huidige NEN en komende EN regelgeving. De Europese regelgeving biedt een aantal mogelijkheden om zaken nationaal te regelen. In dit rapport is gebruik gemaakt van de regels die betrekking hebben op:

- Drukvereffening;
- Invloed van hellingen;
- Invloed van hogere gebouwen;
- Windrichtingafhankelijkheid,

De volgende aspecten verschillen in de Eurocode in vergelijking tot de NEN normen:

- De wijze van bepaling van de stuwdruk;
- De vorm en afmetingen van de zones op daken en gevels.

7.3 Overige Europese ontwikkelingen

De Eurocode voor de bepaling van windbelasting op constructies is niet toegesneden op de inpassing van zonne-energiesystemen aan gebouwen. NVN 7250 is de eerste voornorm in Europa waarin expliciet op deze systemen wordt ingegaan. Daarnaast is door BRE een BRE Digest 489 opgesteld waarin de windbelasting op zonne-energiesystemen wordt behandeld.

In Europees verband zal in 2005 een project starten in het Collective Research programma van de EU, waarin onder meer Europese bepalingsmethoden voor de windbelasting en de windweerstand worden vastgesteld. De in deze rapportage genoemde onderzoeken en referenties zullen in dit project een belangrijke rol spelen.

Naast de bepaling van de windbelasting is een bepalingmethode voor de windweerstand noodzakelijk voor een beoordeling van de systemen.

8 Samenvatting

De laatste jaren heeft de toepassing van zonne-energie een snelle ontwikkeling doorgemaakt. Echter uit de praktijk blijkt dat ca. 20% van de systemen onvoldoende wind- en waterbestendig zijn zodat er schade kan ontstaan zoals vermoeiing van het bevestigingssysteem waardoor panelen opwaaien of zelfs van het dak af waaien en lekkages en vochtproblemen optreden. Dit leidt ook tot aanzienlijke economische schade (schatting voor NL: ca. 2 miljoen Euro). Bij gebrek aan adequate regelgeving op dit punt, is het voor leveranciers van zonne-energiesystemen moeilijk om garanties af te geven. Dit maakt vervolgens de vraagkant huiverig om PV systemen aan te schaffen.

Om deze risico's in te dammen is in 2003 de NVN 7250 'Zonne-energiesystemen – Integratie in daken en gevels – Bouwkundige aspecten' verschenen. Deze voornorm geeft eisen en bepalingenmethoden van een groot aantal bouwkundige aspecten. Echter, voor een aantal bouwkundige aspecten van zonne-energiesystemen, waaronder ook de windbelasting op zonne-energiesystemen, is in NVN 7250 aangegeven nog dat specifiek onderzoek noodzakelijk is om regels te formuleren. Inmiddels is een groot deel van dit onderzoek met betrekking tot de windbelasting uitgevoerd en zijn de resultaten beschikbaar. Doel van dit project is om op basis hiervan adequate rekenregels te ontwikkelen en vervolgens beschikbaar te stellen (in de vorm van tekstvoorstellen) voor opname in NVN 7250 (Zonne-energiesystemen – Integratie in daken en gevels – Bouwkundige aspecten, juli 2003). Dit rapport beschrijft de belangrijkste resultaten van dit onderzoek en geeft een voorstel voor een normtekst die in NVN 7250 kan worden geïmplementeerd. Daarnaast is het mogelijk (delen van) deze tekst in andere normbladen op te nemen, zoals NEN 6702:2001 en NEN 6707.

De concepttekst voor deze aanpassingen is besproken in de normcommissie "Bouwkundige aspecten van zonne-energiesystemen" en met enkele aanpassingen in orde bevonden. De aangepaste tekst is weergegeven in Hoofdstuk 6 van dit rapport en zal in de eerstvolgende aanpassing van de NVN 7250 (voorzien in 2006) worden opgenomen.

Met deze kennis die bovendien verankerd wordt in normalisatie, is een belangrijk knelpunt bij de dimensionering van zonne-energiesystemen weggenomen. Omdat nu bekend is met welke windbelastingen (zowel op het hellend en platte dak als aan de gevel) rekening moet worden gehouden kan het zonniesysteem nauwkeurig worden berekend op haar taak en wordt overdimensionering (en daarmee materiaalverlies) voorkomen. Bovendien is het potentieel aan daken dat voor zonne-energie-toepassingen geschikt is vergroot omdat met deze specifieke en situatiegerelateerde windbelastingregels lichtere ondersteuningsconstructies kunnen worden ontwikkeld. Dit geeft een nieuwe impuls aan productinnovatie en kostenreductie.

De in dit project ontwikkelde kennis was zowel in Nederland als op Europees vlak nog niet beschikbaar. Er is dus sprake van een kennisdoorbraak die leidt tot een beter onderbouwde garantiestelling voor aanbieders van systemen, zoals ook door de bij dit project betrokken marktpartijen is aangegeven. Ook geeft deze nieuwe kennis een concurrentievoordeel voor Nederlandse partijen ten opzichte van buitenlandse partijen zodat de concurrentiepositie van het Nederlandse bedrijfsleven binnen Europa wordt versterkt.

Tot slot een woord van dank voor de marktpartijen⁴ die hebben deelgenomen aan het projectteam. Zij hebben door middel van het doorgeven van hun praktijkervaringen en het aangeven van hun wensen met betrekking tot de windbelasting, een waardevolle bijdrage geleverd aan dit project.

⁴ Aan het project hebben de volgende bedrijven deelgenomen: Stroomwerk Energy, Oskomera, Techneco Energiesystemen, Ecostream en Lafarge Roofing Benelux

9 Referenties

Basisdocumentatie

- [1] TNO Rapport 2002-BS-R0048: Windbelasting op zonnecollectoren en zonnepanelen op plat-dak opstellingen: Deelrapport: Nederlandse en Europese Regelgeving (C.P.W. Geurts), april 2002
- [2] TNO rapport BS-2002-R0061: Windbelasting op zonnecollectoren en zonnepanelen op plat-dak opstellingen: Deelrapport: Experimentele bepaling van de ontwerp-windbelasting (C.P.W. Geurts, G.J.P. Ravenshorst en D.R. Donkervoort), december 2002.
- [3] TNO rapport 2004-DEG-R0022: Regendichtheid van zonne-energiesystemen (P.W. Bouma en W.A. Borsboom), februari 2004.
- [4] TNO Rapport 2003-CI-R0101: Windbelasting volgens TGB en Eurocode, ontwerpgrondslagen (A.C.W.M. Vrouwenfelder en M.S. de Wit), augustus 2003.
- [5] TNO Rapport B90-0483: Achtergronden van de windbelasting volgens NEN 6702 (P.C. van Staalduinen), september 1993.
- [6] BRE Digest 489: Wind loads on roof-based photovoltaic systems (P.A Blackmore), Augustus 2004.
- [7] Tieleman, H.W., Akins, R.E. & Sparks, P.R., An investigation of wind loads on solar collectors, Report VPI-E-80-1, 1980, Virginia Polytechnic Institute and State University.
- [8] Wood, G.S., Denoon, R.O., Kwok K.C.S., Wind loads on industrial solar panel arrays and supporting roof structure, Wind and Structures, vol. 4, no 6 (2001) p. 481-494.
- [9] TNO memorandum 2005-BCS-M0023: Stuwdruk in kustgebieden (C.A. van Bentum), april 2005.

Overzicht van eerdere richtlijnen die met dit rapport komen te vervallen

- [10] TNO rapport 1999-G&I-R0115: Generieke beoordelingsrichtlijn voor het toepassen van fotonvoltaïsche zonne-energiesystemen in de bouw, hoofdstuk 3.1.1 (B.J.M. van Kampen, A.J. Koelemij en J. Oldengarm), oktober 1999.
- [11] TNO rapport 2000-G&I-R065: Richtlijnen voor de bouwkundige inpassing van zonnecollectoren, hoofdstuk 3.1.1 (J.Oldengarm, C.P.W. Geurts en H.P. Oversloot), augustus 2000.

Lijst van normen en richtlijnen waarnaar in dit document wordt verwezen

- [12] NEN 6702 Technische grondslagen voor bouwconstructies – TGB 1990 – Belastingen en vervormingen, december 2001.
 - [13] NEN 6707 Bevestiging van dakbedekkingen – Eisen en bepalingsmethoden, december 2001.
-

- [14] NPR 6708 Bevestiging van dakbedekkingen – Richtlijnen 2005.
- [15] NVN 7250 Zonne-energiesystemen – Integratie in daken en gevels – Bouwkundige aspecten, juli 2003.
- [16] EN 1991-1-4: Eurocode 1: Actions on structures, Part 1-4: General actions – wind actions’, January 2004.
- [17] CUR Aanbeveling 103: Windtunnelonderzoek voor de bepaling van ontwerp-windbelastingen op (hoge) gebouwen en onderdelen ervan, februari 2005.

Delft, 4 juli 2005
KNB068.SEN.(knca)

ir. W.A. Borsboom
Hoofd afdeling Binnenmilieu, Bouwfysica en Energie

Ir. B.J.M. van Kampen
Projectleider

Bijlagen

A Originele tekst van artikel 5.1.1 van NVN 7250 (versie juli 2003)

Artikel 5.1.1: Windbelasting

Met betrekking tot windbelasting geldt het volgende:

De totale windbelasting is volgens NEN 6702:2001 te bepalen uit de stuwdruk, vermenigvuldigd met een vormfactor. De in NEN 6702:2001 opgenomen uitwerking voor de in rekening te brengen windbelasting is onvoldoende toegesneden op alle toepassingsvormen van zonne-elementen. Wat betreft de montagewijzen van zonne-elementen worden in het algemeen de volgende situaties onderscheiden.

OPMERKING In bijlage A zijn de figuren A.8, A.9 en A.10 uit NEN 6702:2001 overgenomen.

Zonne-elementen geïntegreerd in de gebouwschil (montagewijze 1)

Voor zonne-elementen die op een hellend dak (bijvoorbeeld in plaats van schubvormige dakbedekkingen zoals dakpannen) worden aangebracht, moeten voor de vormfactoren de waarden voor $C_{pe,loc}$ worden gehanteerd voor de situaties volgens figuur A.1. Voor zonne-elementen die in de gevel worden aangebracht, gelden de lokale vormfactoren $C_{pe,loc}$ volgens figuur A.2.

OPMERKING Voor drukvereffenende systemen (dichte onderconstructie, geventileerde spouw) kan afhankelijk van het systeem met een drukvereffeningsfactor C_{eq} worden gerekend die kleiner is dan 1. Dit geldt zowel voor zonne-elementen geïntegreerd in het dak als voor elementen die zijn geïntegreerd in de gevel. Hierbij moet worden opgemerkt dat de in 11.2 van NEN 6707:2001 genoemde waarden zijn afgeleid voor dakpannen, en dat toepassing van deze waarden voor de bepaling van de belasting op zonne-elementen niet geoorloofd is, als niet aan de in NEN 6707:2001 gestelde voorwaarden voor de permeabiliteit wordt voldaan. Voor de drukvereffening over gevelelementen zijn in NEN 6702:2001 geen expliciete waarden opgenomen. Hiervoor is een afzonderlijke beoordeling noodzakelijk. De mate van drukvereffening hangt af van de afmetingen van de panelen, de ruimte tussen de panelen, de spouw achter de panelen, en van de detaillering aan met name de uiteinden van dak en gevel. Afhankelijk van deze detaillering kunnen lokaal situaties ontstaan waarbij met een in vergelijking tot de waarden in figuren A.1 en A.2 verhoogde windbelasting moet worden gerekend.

Zonne-elementen aan gebouwschil (montagewijze 2)

Voor zonne-elementen die boven, respectievelijk voor de dak- of gevelbekleding worden gemonteerd, is de bepaling van de totale vormfactor voor de windbelasting niet af te leiden uit de figuren A.1 en A.2. Dit, omdat de lokale omstroming door de wind essentieel anders is dan bij systemen die in het vlak van de dak- en gevelbekleding worden aangebracht. Een veilige waarde voor de totale vormfactor van dergelijke systemen is $-1,0$ bij toepassing in de middenzones (zone t in figuur A.1, en zone f in figuur A.2). Voor toepassing in de rand- en hoekzones, zoals gedefinieerd in de figuren A.1 en A.2, hangt de toe te passen waarde voor de vormfactor af van detaillering en dimensies van het zonne-element en de dak- of gevelbekleding.

OPMERKING 1 De totale vormfactoren van zonne-elementen evenwijdig aan de gebouwschil kunnen experimenteel worden bepaald. Een dergelijke beoordeling zal bestaan uit de uitvoering van een in-situ proef op ware grootte waarbij gedurende een meetperiode, waarin een aantal stormen valt, de drukverschillen en resulterende krachten op de constructie worden geregistreerd. Uit een statistische analyse van de extremen kan dan, conform de eisen gesteld in NEN 6700, een waarde voor de in rekening te brengen representatieve waarden voor de windbelasting worden vastgesteld. Een gevoeligheidsstudie naar de invloed van de dimensies

van zonne-elementen, de afstand tot het dak of de gevel en de detaillering kan tot universeel toepasbare waarden leiden voor de vormfactoren.

OPMERKING 2 Voor de rand- en hoekzones van een dak zullen de waarden voor de vormfactoren hoger uitvallen dan in NEN 6702:2001 wordt vermeld voor de buitenschil. Er is op dit moment niets te zeggen over de waarde van de factoren. Hiervoor is nader onderzoek benodigd.

Zonne-elementen die los worden geplaatst op een plat dak (montagewijze 3)

Voor zonne-elementen die op een plat dak worden geplaatst moet rekening worden gehouden met een totale vormfactor voor de elementen, die is te bepalen met behulp van de figuren A.3 en A.4. Voorwaarde voor het mogen hanteren van deze figuren is dat de zonne-elementen niet in de rand- of hoekzones, zoals gedefinieerd in figuur A.2, worden gemonteerd. In bijlage B is hiervoor een rekenmethode gegeven.

OPMERKING 1 Afhankelijk van de dimensies van de zonne-elementen en de afstand tot het dak of de gevel, kan een nadere beoordeling worden uitgevoerd met betrekking tot de totale vormfactoren voor bovengenoemde verschijningsvormen. Voor een dergelijke beoordeling is een uitvoering van een in-situ proef op ware grootte noodzakelijk, waarbij gedurende een meetperiode, waarin een aantal stormen valt, de drukverschillen en resulterende krachten op de constructie worden geregistreerd. Uit een statistische analyse van de extremen kan dan, conform de eisen gesteld in NEN 6700, een waarde voor de in rekening te brengen representatieve waarden voor de windbelasting worden vastgesteld.

OPMERKING 2 Voor de rand- en hoekzones van een dak zullen de waarden voor de vormfactoren hoger uitvallen dan in NEN 6702:2001 wordt vermeld voor de buitenschil. Er is op dit moment niets te zeggen over de waarde van de factoren. Hiervoor is nader onderzoek benodigd.

Zonne-elementen gecombineerd met flexibele dakbedekkingssystemen (montagewijze 4)

Voor zonne-elementen (bijv. PV-folies) die gecombineerd zijn met flexibele dakbedekkingssystemen of die als flexibele dakbedekking worden toegepast, wordt de windbelasting bepaald volgens figuur A.1, figuur A.2, figuur A.3 of figuur A.4. Zie voor de bepaling van de windweerstand 11.1.2.

B Stuwdruk in kustgebieden

Vergelijking tussen de stuwdruk in kustgebieden in EN 1991-1-4 en NEN 6702

De EN 1991-1-4 hanteert wat hogere waarden voor de stuwdruk in kustgebieden dan de NEN6702. In Tabel 11 en Tabel 12 is een vergelijking gemaakt tussen de stuwdrukken.

Tabel 11 Stuwdruk volgens EN-1991-1-4

Hoogte [m]	z_0 [m]	Stuwdruk [N/m ²]
10	0,003	1411
	0,1	1005
20	0,003	1601
	0,1	1225

Bij de bepaling van de stuwdruk volgens de EN-1991-1-4 is gebruik gemaakt van:

$$z_{0,II} = 0,05 \text{ m};$$

$$k_I = 1,0;$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3;$$

$$v_b = 27,5 \text{ m/s}.$$

Op 10 m hoogte is de stuwdruk in een kustgebied volgens de EN 1991-1-4 1,40 maal zo hoog dan in onbebouwd gebied. Op 20 m hoogte is de factor 1,31. Gemiddeld is dit een factor van ongeveer 1,35.

Tabel 12 Stuwdruk volgens NEN6702

Hoogte [m]	z_0 [m]	Stuwdruk [kN/m ²]
10	0,1 (gebied I)	1,06
	0,2 (gebied II)	0,88
20	0,1 (gebied I)	1,29
	0,2 (gebied II)	1,10

De stuwdruk volgens NEN 6702 is gebaseerd op tabel A.1. Deze is gebaseerd op:

$$u^* = 2,25 \text{ m/s voor gebied I en } 2,30 \text{ m/s voor gebied II};$$

$$d_w = 0;$$

$$\rho = 1,25 \text{ kg/m}^3;$$

$$k = 1.$$

Op 10 m hoogte is de stuwdruk in een kustgebied volgens de NEN6702 1,17 maal zo hoog dan in onbebouwd gebied. Op 20 m hoogte is de factor 1,31. Gemiddeld is dit een factor van ongeveer 1,19.

Aanbevolen wordt om de waarde voor de stuwdruk in kustgebieden bepaald volgens tabel A.1 van 6702 te verhogen met een factor 1,15.

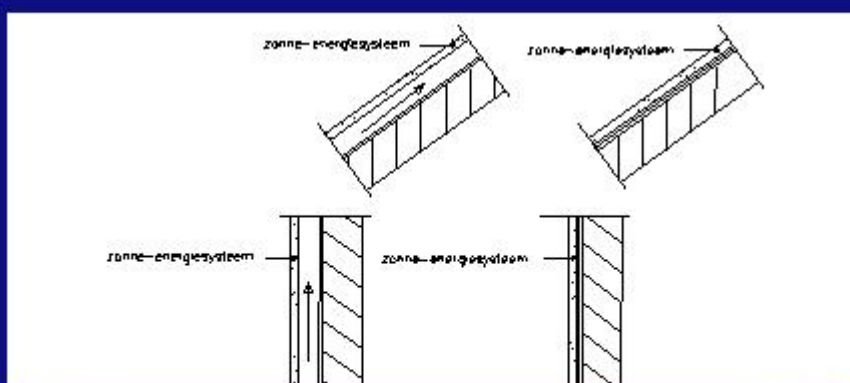
C Presentatie Windbelasting op Zonne-energiedaken

(gepresenteerd voor normcommissie “Bouwkundige aspecten van zonne-energiesystemen” op 16 juni 2005)



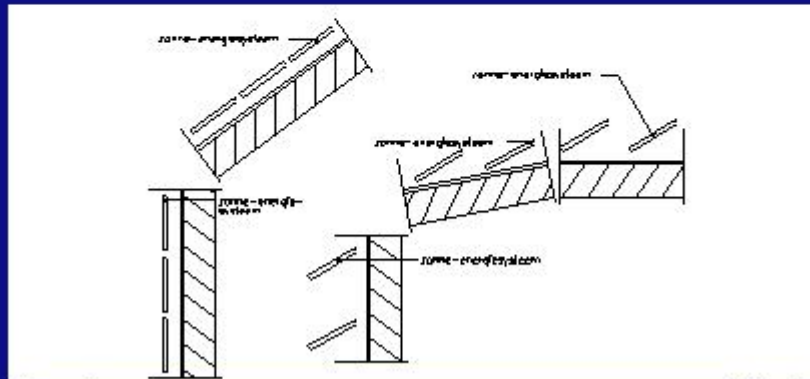
Stand van zaken NVN 7250 (1)

- Montagewijze 1
(geïntegreerd in bouwschil)
- NVN: nader onderzoek nodig



Stand van zaken NVN 7250 (2)

- Montagewijze 2
Gemonteerd aan gebouwschil
- NVN: nader onderzoek nodig



3

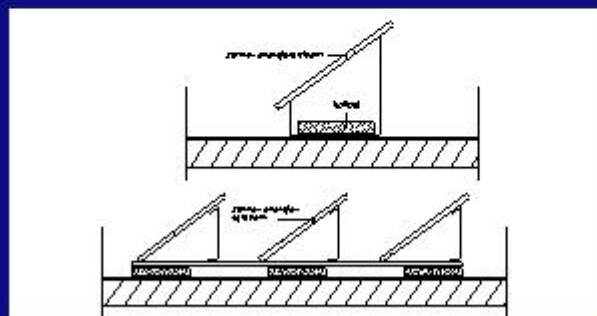
KEN presentatie

16 juni 2005



Stand van zaken NVN 7250 (3)

- Montagewijze 3
Los geplaatst op plat dak / voor
een gevel
- NVN: nader onderzoek nodig



4

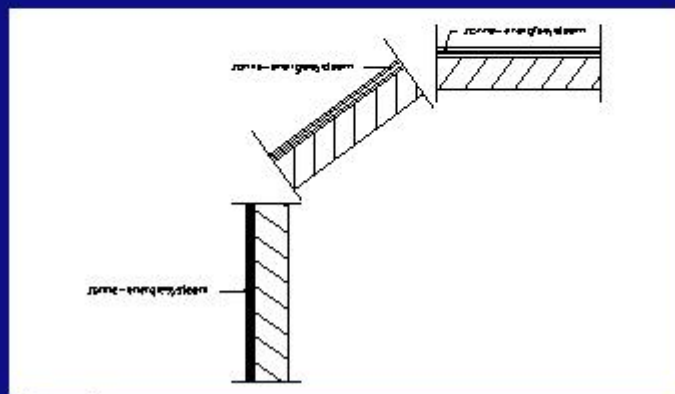
KEN presentatie

16 juni 2005



Stand van zaken NVN 7250 (4)

- Montagewijze 4
Folie-achtige bekleding
- NVN: verwijst naar NEN 6702/6707



5

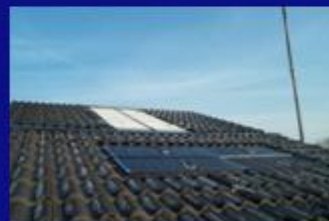
NEN presentatie

16 juni 2005



Onderzoek 2000 - 2004

- Windbelasting plat dakopstellingen
 - Ware grootte onderzoek
 - Windtunnelonderzoek (2 opdrachten)
 - Wrijvingscoëfficiënten (NVN 7250)
- Regendichtheid hellend dak
 - Geïntegreerde systemen
 - Onder meer drukken gemeten
 - Ware grootte meting
- Onderzoek elders
 - Windtunnelresultaten
 - BRE digest



6

NEN presentatie

16 juni 2005



Resultaten

- Plat dakopstellingen
 - Open en gesloten systemen
 - Plat dak met en zonder dakrand
- Vormfactoren afhankelijk van:
 - Positie op dak
 - Oriëntatie systeem tov gebouw



7

KEN presentatie

16 juni 2005



Resultaten

- Geïntegreerde systemen hellend dak
 - Drukverschillen dakpannen / zonne-energiesystemen
 - Analyse uitgewerkt voor overdruk (regen)
 - Heranalyse extreme belastingen



8

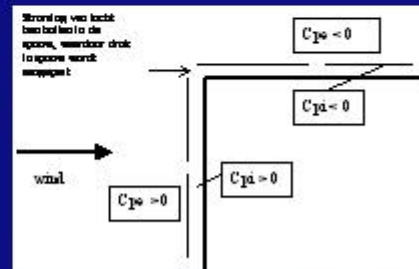
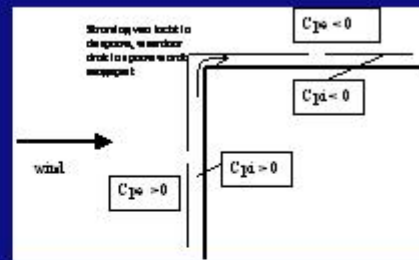
KEN presentatie

16 juni 2005



Overige bronnen

- Drukvereffening gevelelementen (Cement 2003 – 5)
- BRE Digest
- Onderzoek Australië
- Wijzigingsvoorstel NEN 6702
- EN 1991-1-4



9

NEN presentatie

16 juni 2005



Ontwikkelingen in Europa

- Europese regelgeving
 - EN 1991-1-4
 - Gereed 2004
 - Gewijzigde regels in vergelijking tot NEN voor:
 - Berekening stuwdruk
 - Definitie dakzones
 - Grootte vormfactoren
 - Drukvereffening
 - Invloed omgevingsbebouwing
- EN 14437 voor pannen
 - Geaccepteerd eind 2004
 - Implementatie in NEN normen
 - Wellicht implementatie zonne-energiesystemen



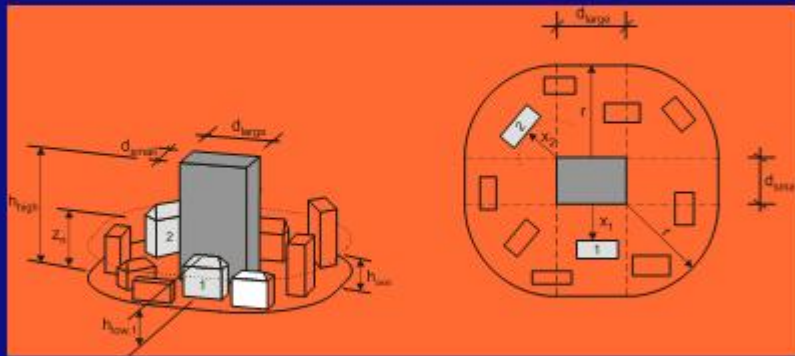
10

NEN presentatie

16 juni 2005



Ontwikkelingen in Europa

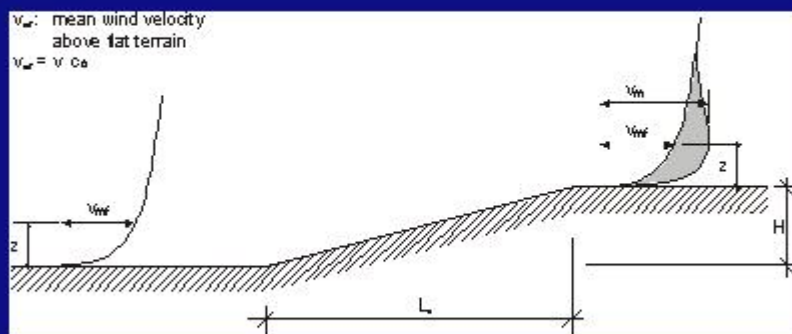


11 KEN presentatie

16 juni 2005



Ontwikkelingen in Europa



12 KEN presentatie

16 juni 2005



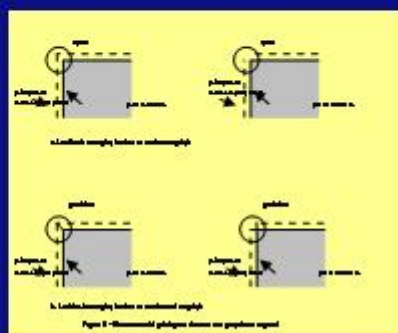
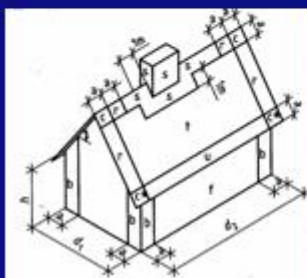
Implementatie NVN 7250

- Stuwdruk en referentiehoogte
 - Invloed hellingen
 - Invloed nabije gebouwen
 - Invloed windroosafhankelijkheid
 - Extra bepaling kuststrook
- Factor $C_{dim} = 1$
- Dynamische vergrotingsfactoren
- Specifieke invulling per montagewijze
 - Vormfactoren
 - Drukvereffeningsfactor



Implementatie NVN 7250

- Montagewijze 1
 - Daken en gevels
 - Drukvereffeningsfactoren
 - Invloed zones
 - Invloed randbe-eindiging



Implementatie NVN 7250

- Montagewijze 2
 - Daken en gevels
 - Veilig aangenomen waarden voor vormfactoren
 - Invloed afstand tot dak



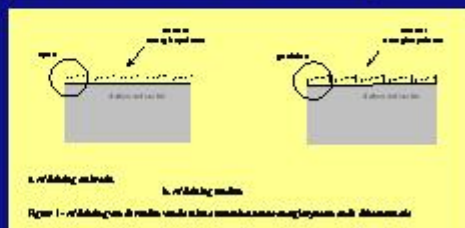
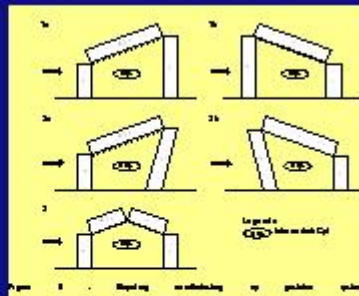
15 NEN presentatie

16 juni 2005



Implementatie NVN 7250

- Montagewijze 3
 - Vormfactoren uit onderzoek
 - Invloed van:
 - dakzone (NEN 6702)
 - Helling systeem
 - Wel/geen dakrand



16 NEN presentatie

16 juni 2005



Implementatie NVN 7250

- Montagewijze 4
 - Vormfactoren NEN 6702
 - Drukvereffening NEN 6707

Conclusie

- NVN 7250 voor windbelasting ingevuld
 - Onderzoeksresultaten
 - Extra bepalingen toegevoegd
 - Waar nodig veilige aannamen
- Indien buiten toepassingsgebied
 - Terugvallen op NEN 6702, artikel 8.6.1