

# De windbelasting

## van zonne-energiesystemen op platte daken - deel 3

Met NEN 7250 kan de windbelasting op zonne-energiesystemen op platte daken worden bepaald. In het eerste artikel over de windbelasting op zonne-energiesystemen op platte daken in oktober 2014 is ingegaan op de bepalingsmethode voor de dakzoning bij het toepassen van zonne-energiesystemen op platte daken. Dit artikel is een vervolg op deel 2, dat in *Roofs* april 2015 werd gepubliceerd.

Dr. ir. Chris C.P.W. Geurts, TNO Delft  
ir. Chris W. van der Meijden, BDA Dak- en Geveladvies B.V.



Figuur 8, Voorbeeld gekleefde bevestigingspunten aan dakbedekking

### Zonne-element evenwijdig aan het dakvlak

In de huidige markt zijn systemen beschikbaar waarbij de zonne-elementen evenwijdig aan het dakvlak worden gepositioneerd en met een daarbij behorend montagesysteem worden bevestigd aan de dakconstructie. Deze systemen worden toegepast voor platte en licht hellende daken, afgewerkt met een gesloten dakbedekkingssysteem. Voor de bevestiging kan onderscheid worden gemaakt in systemen waarbij de bevestigingspunten worden gemonteerd op de onderconstructie, via mechanische bevestiging en systemen waarbij de bevestigingspunten worden gekleefd aan de dakbedekking, als voorbeeld zie figuur 8.

Voor het bepalen van de  $c_{p,net}$ -waarde kan gebruik worden gemaakt van NEN 7250. In NEN 7250 wordt voor dit systeem onderscheid gemaakt in hellende daken en platte daken waarbij de grens ligt op 5°.

Voor het platte dak waarbij de panelen parallel aan het oppervlak worden gemonteerd, zijn in ieder geval de belangrijkste voorwaarden dat de onderlinge afstand tussen de zonne-elementen minimaal 10 mm en maximaal 20 mm is, dat de afstand tussen het zonne-element en het dakvlak maximaal 100 mm is en dat het zonne-element zo is opgesteld, dat geen luchtstroming van opzij kan optreden. Dat wil zeggen dat of de zonne-elementen moeten aansluiten tegen de dakrand met een ruimte ertussen van minimaal 10 mm, of dat bij plaatsing in het midden van het dak de zijanten zijn afgesloten, bijvoorbeeld door het maken van

een opstand die ook weer een naad van minimaal 10 mm heeft ten opzichte van de zonne-elementen. Er is geen maximum gegeven aan deze afstand, hier wordt een maximale afstand van 50 mm geadviseerd.

NEN 7250 geeft bij deze situatie een verwijzing naar NEN-EN 1991-1-4+NB en geeft specifieke drukvereffeningsfactoren die horen bij de hierboven genoemde voorwaarden. Als het systeem zo is uitgevoerd dat geen luchtstroming van opzij kan optreden, dan wordt voor de rand- en hoekzones een drukvereffeningsfactor gegeven van 1 en dan geldt een drukvereffeningsfactor in de middenzone (zone H en I) van 0,5. Dat wil zeggen dat in de middenzone de externe windbelasting (zuiging)  $C_{pe1}$  mag worden vermenigvuldigd met de factor  $C_{eq} = 0,5$ .

Het afsluiten van de zijkanten wordt bij plaatsing in het midden van het dak normaliter niet gedaan. Voor dakpositionering van de zonne-elementen in de middenzone zonder zijafsluiting worden in NEN 7250 geen drukcoëfficiënten gegeven maar kan dan worden uitgegaan van de waarden van  $c_{pe}$  zoals deze volgen uit NEN-EN 1991-1-4 en de drukvereffeningsfactor  $C_{eq} = 1$ . Plaatsing in een rand- of hoekzone zonder zijafsluiting wordt door ons afgeraden.

Bij een voorbeeldproject met een referentiehoogte van 10 m in windgebied II, onbebouwd, een paneeloppervlak van 1,6 m<sup>2</sup> geplaatst in zone H en I en twee bevestigingspunten per paneel, en geen reductie voor drukvereffening, wordt de belasting op het paneel:

$$W_d = \gamma_{\Omega} \times C_{pe,1} \times C_{eq} \times q_p \times A_{ref}$$

waarin:

$$W_d = 1,275 \times 1,2 \times 1 \times 850 \times 1,6$$

$$W_d = 2080 \text{ N}$$

Hierbij is ervan uitgegaan dat het gewicht van het paneel kleiner dan 0,15 kN.m<sup>-2</sup> is en er is geen gebruik gemaakt van de reductie die mag worden toegepast omdat  $A_{ref}$  is groter dan 1 m<sup>2</sup>. Als twee bevestigingspunten per zonne-element zijn toegepast, dan wordt de rekenwaarde voor de belasting per bevestigingspunt 1040 N.

Bij een mechanische bevestiging aan de onderconstructie kan dit rekenkundig worden gecontroleerd. Daarnaast moet van het bevestigingssysteem zijn aangetoond dat de rekenwaarde van de sterkte voldoende is. Bij de gekleefde systemen aan de dakbedekking kan de sterkte worden getoetst via prototype-onderzoek in de windkist, bijvoorbeeld volgens het principe van NEN 6707/EN 16002.

Als het ontwerp zodanig wordt aangepast dat aan de zijkant van het bedekte oppervlak een afsluiting wordt gemaakt, dan mag worden gerekend met  $c_{eq} = 0,5$  bij positionering in de middenzone (H en I zone) hetgeen betekent dat de belasting op het zonne-element en de bevestigingspunten halveert, ten opzichte van de situatie zonder zijafsluiting. Bij een mechanische bevestiging aan de onderconstructie

moet naast de sterkte van de bevestiging aan de onderconstructie ook worden beoordeeld of de onderconstructie zelf voldoende sterkte heeft. Dit kan met name bij hogere belastingen en een reductie van het aantal bevestigingspunten per zonne-element relevant worden. Onderconstructies zijn normaliter getoetst op de veranderlijke belasting die volgen uit NEN-EN 1991-1-1. Eén van de belastingen waarop getoetst moet worden is de puntbelasting van 1,5 kN. Zolang de rekenwaarde van de kracht in de ondersteuning volgend uit de windbelasting niet hoger is dan de rekenwaarde voor de puntbelasting kan worden aangenomen dat de onderconstructie voldoende sterkte heeft in relatie tot dit aspect. Als dat niet het geval is, zal dit aanvullend moeten worden getoetst.

### Zonne-elementen onder een hoek gepositioneerd op een plat dak

Een groot deel van de markt voor zonnepanelen bestaat uit platdak opstellingen, waarbij soms grote dakoppervlaktes bedekt zijn met zonnepanelen.

Een voorbeeld van een dergelijke toepassing is gegeven in figuur 9.



Figuur 9, Zonne-element onder een hoek gepositioneerd en mechanisch bevestigd

Voor het vaststellen van de windbelasting kan weer worden uitgegaan van de eerder genoemde formule. De waarde van  $c_{p,net}$  kan worden ontleend aan NEN 7250, paragraaf 6.2.4. Wanneer voor het project weer wordt uitgegaan van een referentiehoogte van 10 m en een gebouw geplaatst in gebied II, onbebouwd, en wordt uitgegaan van een systeem dat met een hellingshoek van 25° ten opzichte van het dakvlak wordt aangebracht, dan geldt tabel 4 van NEN 7250 (zie kader). De waarden in tabel 1 zijn gebaseerd op windtunnelonderzoeken, waarover eerder is geschreven in *Roofs* (oktober 2014). De zones in deze tabel zijn in hetzelfde artikel behandeld.

Tabel 1 - Nettodrukcoëfficiënt,  $C_{p,net}$  montage 3,  $\beta = 25^\circ$

Zone volgens 6.2.4.4 en 6.2.4.5	Dakrandhoogte $h_p < h_s$		Dakrandhoogte $h_p > h_s$		Vermenigvuldigingsfactor bij toepassing achterpaneel	
	Opwaartse belasting	Neerwaartse belasting	Opwaartse belasting	Neerwaartse belasting	Opwaartse belasting	Neerwaartse belasting
F, hoge zijde	-2,4	0,9	-1,2	1,1	1	1
F, lage zijde	-1,1	0,9	-1,4	1,1	1	1
G	-0,8	0,7	-0,7	0,7	0,5	1
P	-0,8	0,7	-0,7	0,6	1	1
Z1	-1,5	1,2	-1,5	1,2	0,66	1
Z2	-1,1	1,0	-1,1	1,0	0,66	1
Z3	-1,1	1,4	-1,1	1,4	0,66	1
Z4	-0,8	0,7	-0,8	0,7	0,66	1
Z5	-0,6	0,5	-0,6	0,5	0,5	0,66

**OPMERKING 1** Voor de definitie van hoge en lage zijde, zie hoofdstuk 3.

**OPMERKING 2** Voor de waarde van  $h_p$  en  $h_s$  zie figuur 12b

**OPMERKING 3** Indien een achterpaneel is toegepast mag de nettodrukcoëfficiënt,  $C_{p,net}$  worden vermenigvuldigd met de vermenigvuldigingsfactor, mits:

- het achterpaneel impermeabel is;
- het achterpaneel is bevestigd aan het hoogste punt van het zonne-element, met een maximale opening tussen het achterpaneel en zonne-element van 20 mm en doorloopt tot maximaal 50 mm boven het dakvlak, zie figuur 11;
- de hoek van het achterpaneel ten opzichte van het dakvlak ligt tussen  $30^\circ$  en  $90^\circ$ .

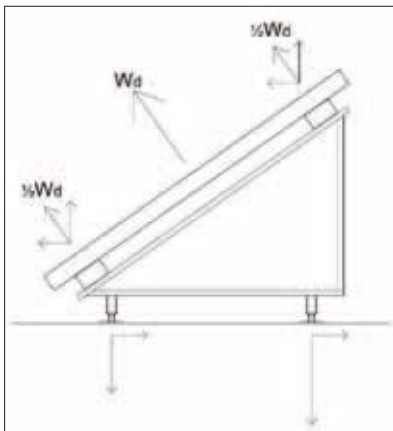
Voorbeeld: Voor een paneel met een oppervlakte van  $1,6 \text{ m}^2$  en een positionering in de middenzone en belastingzone Z1 (zie hiervoor ook artikel Roofs oktober 2014) wordt de windbelasting als volgt bepaald:

$$W_d = \gamma_q \times C_{p,net} \times q_p \times A$$

$$W_d = 1,275 \times 1,5 \times 0,85 \times 1,6$$

$$W_d = 2601 \text{ N}$$

In figuur 10 is een schematische doorsnede van het systeem gegeven.



Figuur 10, Schematische doorsnede montagesysteem.

De krachten die optreden in de bevestigingspunten moeten volgens de leer der mechanica worden bepaald ( $\sum M = 0$ ). Omdat er een grote diversiteit aan systemen op de markt is, is dit in dit artikel rekenkundig verder niet uitgewerkt. Bij een beoordeling/toetsing van zo'n montagesysteem moeten alle onderdelen in een dergelijk systeem worden getoetst.

Dit geldt voor de bevestiging van het

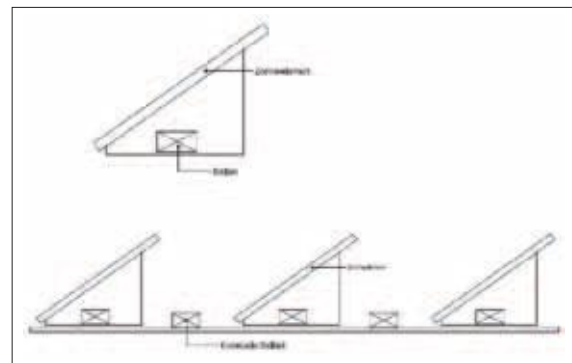
zonne-element, de verschillende aluminium profielen en bevestigingsmiddelen in het montagesysteem en uiteindelijk de bevestigingspunten aan de dakconstructie. Ook hiervoor geldt dat onderscheid gemaakt kan worden in de mechanisch bevestigde systemen en de systemen gekleefd aan de dakbedekking. Hierbij valt dan ook onderscheid te maken in de zonne-energiesystemen die zijn geplaatst in losse rijen en de zonne-energiesystemen die zijn geplaatst als volledig gekoppeld systeem, waarbij de profielen evenwijdig aan het

dakvlak doorlopende profielen zijn. Zeker bij de systemen in rijen zal de kracht bij het bevestigingspunt aan de hoge zijde van het zonne-element hoger zijn. Naast de verticale kracht in het systeem moet ook rekening worden gehouden met de horizontale krachten in het systeem. Bij de mechanisch bevestigde systemen moeten de bevestigingen aan de onderconstructie rekenkundig worden bepaald. Bij de aan de dakbedekking gekleefde systemen zal dit altijd via prototypeonderzoek moeten worden vastgesteld.

Ook bij dit systeem geldt zoals aangegeven bij het parallel aan het dak gemonteerde systemen dat een toets op de sterkte van de onderconstructie moet worden uitgevoerd.

### Losgeplaatste en eventueel geballaste systemen

In de huidige markt is een zeer grote verscheidenheid aan systemen die geleverd worden vallend onder dit montagesysteem (volgens NEN 7250 montagewijze 3). Ook hierbij moet weer onderscheid worden gemaakt in gekoppelde systemen en niet-gekoppelde systemen. In figuur 11 zijn deze schematisch weergegeven.



Figuur 11, Schema gekoppelde systemen en niet-gekoppelde systemen.

Bij deze montagewijze kunnen drie bezwijkmechanismen optreden (zie figuur 12):

- 1 opwaaien van het zonne-energiesysteem;
- 2 kantelen van het zonne-energiesysteem;
- 3 verschuiven van het zonne-energiesysteem.

Welke van deze maatgevend is, hangt af van de geometrie van het montagesysteem, en de wijze waarop deze op het platte dak is geplaatst.



Figuur 12, Bezwijkmechanismen.

De belasting op het zonne-element wordt bepaald zoals in het vorige voorbeeld is gegeven. Deze systemen worden tegenwoordig vaak gekoppeld, waardoor de belasting zich verdeelt over de constructie, en een reductie op de windbelasting op de zonne-elementen in rekening kan worden gebracht, die bij een  $A_{\text{ref}} \geq 10$  m kan oplopen tot 30% (bij positionering in de middenzone van het dak).

De toetsing op voldoende windweerstand, waarbij de afzonderlijke bezwijkmechanismen moeten worden gecontroleerd, kan via de regels van de mechanica worden uitgevoerd.

Enkele aandachtspunten hierbij zijn:

- conform NEN-EN 1990/NB moet het eigen gewicht van de ballast worden vermenigvuldigd met de factor 0,9;
- het eigen gewicht (ook vermenigvuldigd met 0,9) van het zonne-energiesysteem mag in de berekening worden meegenomen;
- vooral bij niet-gekoppelde systemen blijkt uit berekeningen dat het verschuiven in veel gevallen maatgevend is. Dit is echter sterk afhankelijk van de te rekenen wrijvingscoëfficiënt, die in veel gevallen niet bekend is. Een veilige waarde voor de wrijvingscoëfficiënt is 0,3. In de praktijk volgen bij toepassing van deze waarde veel situaties waarbij grote hoeveelheden ballast nodig zijn. Deze wrijvingscoëfficiënt is afhankelijk van:
  - het oppervlak van de dakbedekking;
  - vochtigheid van het oppervlak;
  - oppervlak van het montagesysteem;
  - tussenmaterialen zoals bijvoorbeeld rubbergranulaat etc.Het is mogelijk specifieke waarden te bepalen, waarbij wel alle ongunstige situaties (bijvoorbeeld m.b.t. de vochtigheid) moeten worden beschouwd.

### Dakconstructie

Bij het plaatsen van zonne-energiesystemen op platte daken moet natuurlijk ook de geschiktheid van de dakconstructie worden beoordeeld. In het ISSO Handboek *HBZE - Bouwkundige en installatietechnische richtlijnen voor zonne-energiesystemen* wordt hier ook nader op ingegaan. Belangrijke aspecten zijn:

- sterkte van de draagconstructie van het gebouw, zeker bij

de toepassing van ballast bij het zonne-energiesysteem is controle ook hier van belang, maar ook bij zonne-energiesystemen zonder ballast;

- waterafvoer; het zonne-energiesysteem mag de hemelwaterafvoer niet belemmeren.
- Beoordeling van risico van vervuiling onder profielen in relatie tot de afvoer van regenwater;
- begaanbaarheid van de dakbedekking en isolatie.

### Bevestiging dakbedekking

Bij de toepassing van zonne-energiesystemen komt regelmatig de vraag naar voren hoe de windbelasting op de dakbedekking moet worden bepaald en in hoeverre de zonne-energiesystemen als ballast kunnen worden toegepast. De gedachte is dan dat bij de losgeplaatste en eventueel geballaste zonne-energiesystemen deze ook automatisch de bevestiging van de dakbedekking verzorgen.

De gegeven methode in NEN 7250 voor het bepalen van de windbelasting op zonne-energiesystemen geldt voor de windbelasting op het zonne-energiesysteem en niet voor de belasting op de dakbedekking.

In het algemeen geldt dat bij het plaatsen van zonne-energiesystemen op platte daken de windbelasting op de dakbedekking en daarmee ook de bevestiging van de dakbedekking op de gebruikelijke manier volgens EN-1991-1-4, NEN 6707 en NPR 6708 moet worden bepaald. De windweerstand van het zonne-energiesysteem houdt dus alleen het systeem op zijn plaats, waarbij afzonderlijk de windweerstand van de dakbedekking moet worden verzorgd. In enkele situaties zal dit wellicht een conservatieve aanname zijn, er zijn op dit moment echter geen waarden bekend, die een reductie voor de windbelasting op de dakbedekking rechtvaardigen bij toepassing van zonne-energiesystemen op de dakbedekking.

Literatuur:

- NEN-EN 1991-1-4 Eurocode 1, belastingen op constructies – Deel 1-4: Algemene belastingen – windbelasting
- NEN 7250 zonne-energiesystemen – Integratie in daken en gevels – bouwkundige eisen
- Geurts, C.P.W. en Bentum, C.A. van 'A novel guideline for windloads on solar energy systems' ICBEST 2014, June-12, 2014, Aachen, Germany
- ISSO Handboek HBZE Bouwkundige- en installatietechnische richtlijnen voor zonne-energiesystemen, januari 2012
- Geurts, C.P.W. en Meijden, C.W. van der 'De windbelasting van zonne-energiesystemen op platte daken in *Roofs* april 2015
- NEN 6707 'Bevestiging van dakbedekkingen – Eisen en bepalingsmethoden en NPR 6708 'Bevestiging van dakbedekkingen – Richtlijnen
- Geurts, C.P.W. en Van der Meijden, C.W.: De windbelasting van zonne-energiesystemen op platte daken. In: *Roofs* oktober 2014.
- 'Onderzoek naar windbelasting en waterdichtheid zonne-energiesystemen' In: *Roofs* februari 2014. ●

Dit artikel kunt u lezen op [www.roofs.nl](http://www.roofs.nl)