

Impactstudie zonnepanelen op daken

concept

Projectgegevens

Project	Impactstudie zonnepanelen op daken
Onderdeel	Klik hier als u tekst wilt invoeren.
Code	18330
Datum	15 november 2021
Calculatie deel	A
Tekeningen	-
Samengesteld door Adviseur	Ir. H.G. Krijgsman Ir. R.H.G. Roijackers
Opdrachtgever	Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties
Data	
Eindverantwoording	Ir. R.H.G. Roijackers

Paraaf

Datum	Versie	Omschrijving	verificatie
20-09-2021	V0.1	concept	wtg; blh
15-11-2021	V0.2	concept	krq; rkk
15-11-2021	V1.0	Definitief	krq; rkk

INHOUDSOPGAVE

1	Inleiding	4
2	Oriëntering en opstelling van de zonnepanelen	5
2.1	Eenzijdige noord/zuid opstelling op een plat dak	5
2.2	Dubbelzijdige oost/west opstelling op een plat dak	5
2.3	Vlakke opstelling op een schuin dak	6
2.4	Zonnelolie	6
3	Zonnepanelen op platte daken	7
3.1	Belasting door zonnepanelen op platte daken	7
3.1.1	Permanente belasting door eigen gewicht	7
3.1.2	Permanente belasting door ballast	7
3.1.3	Windbelasting	14
3.1.4	Sneeuwbelasting	17
3.1.5	Hemelwaterbelasting	20
3.1.6	Toetsing bestaande bouw	20
3.2	Impact zonnepanelen op bestaand plat dak	23
3.2.1	Uitgangspunten impact zonnepanelen op bestaand plat dak	23
3.2.2	Resultaten vergelijkende studie impact zonnepanelen op bestaand plat dak	24
3.2.3	Conclusies impact zonnepanelen op bestaand plat dak	24
3.3	Kostenimpact zonnepanelen op nieuw plat dak	25
3.3.1	Uitgangspunten impact zonnepanelen op nieuw plat dak	26
3.3.2	Constructieve consequenties impact zonnepanelen op nieuw plat dak	27
3.3.3	Conclusies impact zonnepanelen op nieuw plat dak	28
4	Zonnepanelen op schuine daken	29
4.1	Belastingen door zonnepanelen op schuine daken	29
4.1.1	Permanente belastingen	29
4.1.2	Permanente belasting door ballast	29
4.1.3	Windbelastingen	29
4.1.4	Sneeuwbelastingen	30
4.1.5	Hemelwaterbelasting	30
4.1.6	Toetsing bestaande bouw	30
4.2	Impact zonnepanelen op bestaand schuin dak	32
4.2.1	Uitgangspunten impact zonnepanelen op bestaand schuin dak	32
4.2.2	Belastingcombinaties zonnepanelen op bestaand schuin dak	32
4.2.3	Conclusies impact zonnepanelen op bestaand schuin dak	33
4.3	Kostenimpact zonnepanelen op nieuw schuin dak	33
5	Samenvatting/conclusies	34
5.1	Belasting door zonnepanelen	34
5.2	Impact zonnepanelen bij bestaande bouw	34
5.3	Kostenimpact zonnepanelen bij nieuwbouw	35

1 Inleiding

Om te zorgen dat Nederland in 2050 een duurzaam energiesysteem heeft, speelt zonne-energie een grote rol. Zonnepanelen zetten de straling van de zon om in elektriciteit zonder dat er CO₂ bij vrij komt. Het is samen met windenergie de belangrijkste vorm van energie die Nederland wil inzetten om een duurzaam energiesysteem te krijgen. Om tijdig voldoende duurzame energie op te wekken, zijn zowel zonnepanelen op de grond (zonneparken) als op daken nodig.

Het geschikt maken van bestaande daken voor zonnepanelen is niet in alle gevallen mogelijk. Het is eenvoudiger om, afhankelijk van het type gebouw, bij nieuwbouw daken geschikt te maken voor zonnepanelen.

Doelstelling:

In deze notitie wordt getoond wat de economische impact is van het verplicht rekening houden met de belastingen die zonnepanelen geven op daken van nieuwbouw. De studie geeft inzicht in de verhoging van de bouwkosten bij het voorbereiden van nieuwbouwdaken voor zonnepanelen bij verschillende typen gebouwen.

Vraagstelling:

“Wat is de toename in bouwkundige kosten als bij het ontwerp van een nieuw gebouw rekening wordt gehouden met latere plaatsing van zonnepanelen?”

“Wat is de (constructieve) ruimte voor het toepassen van zonnepanelen in de bestaande gebouwenvoorraad?”

Om op bovenstaande vragen antwoord te kunnen geven wordt in deze notitie gekeken naar enkele deelaspecten:

- De oriëntering en opstelling van de zonnepanelen
- De (constructieve) belastingen van en door zonnepanelen
- De impact van de toegevoegde belastingen op de bouwkosten

2 Oriëntering en opstelling van de zonnepanelen

In Nederland worden de zonnepanelen vooral in de volgende configuraties toegepast:

- eenzijdige noord/zuid opstelling op een plat dak;
- dubbelzijdige oost/west opstelling op een plat dak;
- vlakke opstelling op een schuin dak.

2.1 Eenzijdige noord/zuid opstelling op een plat dak

Een veel gebruikte opstellingen is de eenzijdige opstelling in de richting van de meeste zonbelasting. De zonnepanelen worden in rijen tegen elkaar gelegd en tussen de rijen is een tussenruimte aanwezig om schaduw beïnvloeding van de panelen onderling te voorkomen.

Een voorbeeld van een dergelijke opstelling is weergegeven in figuur 1. De rechthoekige zonnepanelen liggen met de kortste zijde onder een helling, gemonteerd op een frame dat vaak wordt voorzien van ballast om opwaaien te voorkomen. De lengte van deze zijde bedraagt over het algemeen ongeveer 1,0 meter.



figuur 1, voorbeeld zonnepanelen in eenzijdige noord/zuid opstelling

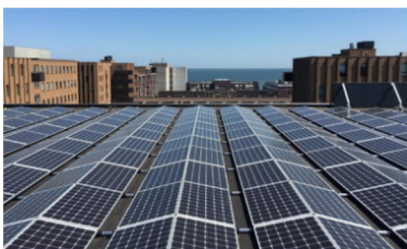
De eenzijdige opstelling werkt optimaal bij een hellingshoek van 35 graden. Maar vaak wordt een geringere hellingshoek van ca. 15 graden toegepast. Dit levert wel een rendementsverlies op (tabel 1), maar daarentegen kan de ballast voor wind worden gereduceerd.

Hellingshoek	Rendementsverlies
35 graden	Geen
30 graden	1%
25 graden	2%
20 graden	3%
15 graden	5%

tabel 1 Rendementsverlies t.g.v. hellingshoek

2.2 Dubbelzijdige oost/west opstelling op een plat dak

Een alternatieve opstelling is de zogenaamde oost/west opstelling. De zonnepanelen worden daarvoor als zadeldak in rijen tegen elkaar gelegd. Een voorbeeld van een dergelijke oost/west opstelling is weergegeven in figuur 2. De rechthoekige zonnepanelen liggen met de kortste zijde onder een helling. De lengte van deze zijde bedraagt over het algemeen ongeveer 1,0 meter.



figuur 2, voorbeeld zonnepanelen in een dubbelzijdige oost/west opstelling

Bij de oost/west opstelling worden de panelen bij voorkeur met een hellingshoek van ca. 10 graden opgesteld. Het rendement van een oost/west opstelling ligt ongeveer 10% lager t.o.v. een zuivere zuid opstelling met een opstellingshoek van 35 graden. De energieopbrengst is daarentegen bij een oost/west opstelling veel gelijkmatiger over de dag verdeeld.

Omdat de onderlinge beïnvloeding door schaduw gering is, kan de tussenruimte tussen de rijen klein zijn en kunnen er dus meer panelen op dezelfde oppervlakte worden geplaatst.

2.3 *Vlakke opstelling op een schuin dak*

Op schuine daken worden de zonnepanelen direct aan de onderconstructie van het dak bevestigd, zonder ballast. De panelen volgen de hoek en oriëntatie van het dak. De panelen worden geplaatst zonder tussenruimte en kunnen zowel in "landscape-" als in "portrait-" richting geplaatst worden. Een voorbeeld van zonnepanelen op een schuin dak (in "portrait"-richting) is weergegeven in figuur 3.



figuur 3, voorbeeld zonnepanelen op schuin dak

2.4 *Zonnesfolie*

Een nieuwe ontwikkeling is de toepassing van "zonnesfolie" op daken. Dit is nog geen wijdverbreide toepassing. De prijs is hoger dan de traditionele systemen en de opbrengst is lager. Maar het is de verwachting dat de prijs van deze panelen concurrerender wordt de komende jaren. Dan wordt dit een interessante optie voor bestaande (platte) daken, aangezien de gewichts- en belastingtoename met dit systeem marginaal is.



figuur 4, zonnefolie op plat dak

3 Zonnepanelen op platte daken

3.1 *Belasting door zonnepanelen op platte daken*

Het plaatsen van zonnepanelen op een dak betekent dat de belasting op het gebouw verhoogd wordt. De volgende verhogingen in belastingen worden onderscheiden:

1. van de permanente belasting door het eigengewicht van de zonnepanelen;
2. van de permanente belasting door het eigengewicht van mogelijke ballast;
3. van de horizontale windbelasting door het frontaal oppervlak van de zonnepanelen;
4. van de sneeuwbelasting door lokale sneeuwophoping rondom de zonnepanelen.

De grootte van deze belastingverhogingen hangen af van veel aspecten, waaronder:

- de (wind-)locatie in Nederland;
- de vorm van het dak;
- het type van zonnepanelen;
- het type montage, met ballast of gefixeerd aan de onderconstructie.

De verschillende belastingen worden in onderstaande paragrafen besproken. Van iedere belasting is een parameterstudie opgezet. Het doel van het uitvoeren van deze parameterstudies is tweeledig.

- Met deze parameterstudie wordt inzicht verkregen in welke parameters veel en welke weinig invloed hebben op de verhoging van de belastingen.
- Tevens gebruiken we de parameterstudie om een indicatie te geven met welke belastingtoename op voorhand rekening gehouden kan worden om in de toekomst het plaatsen van zonnepanelen mogelijk te maken.
 - o Dit zal een conservatieve belastingaansname zijn, die met voldoende mate van zekerheid met de genoemde aspecten rekening houdt;
 - o Het is ook mogelijk dat een opdrachtgever of constructeur ervoor kiest de toekomstige situatie met zonnepanelen zelf volledig in beeld te brengen ten einde scherper te kunnen ontwerpen;
 - o Uitgangspunt voor alle studies in NEN 7250. Het staat leveranciers vrij om middels (prototype) onderzoek andere belastingen aan te tonen. Dit is niet meegenomen in deze studie!

3.1.1 *Permanente belasting door eigen gewicht*

Het gewicht van zonnepanelen inclusief aluminium montageframe bedraagt 10-20 kg/m². Vaak wordt ook nog gebruik gemaakt van een ballast met tegels. Zie hiervoor paragraaf 3.1.2.

3.1.2 *Permanente belasting door ballast*

Zonnepanelen worden bij platte daken over het algemeen los op het dak opgesteld. Naast het eigen gewicht van de panelen wordt er dan ook nog een ballast aangebracht om afwaaien te voorkomen. Dit ballasten kan deels voorkomen worden door de panelen onderling door te koppelen middels een frame zodat de hefboomsarm voor ballast vergroot wordt en er met minder ballast kan worden volstaan.

De ballastberekeningen van de zonnepanelen kunnen worden uitgevoerd volgens de volgende normen:

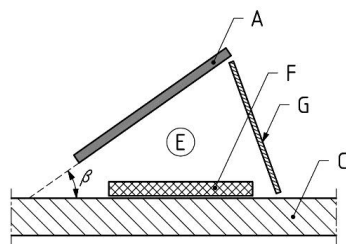
- NEN-EN 1991-1-4
- NEN 7250

NB Er zijn systemen waarbij het montageframe mechanisch aan de onderconstructie wordt bevestigd, maar die hebben het nadeel dat de dakbedekking moet worden opengemaakt en weer waterdicht worden afgesloten. Deze methode is bewerkelijker en geeft een kans op lekkage, waardoor er vaak wordt gekozen voor ballast.

3.1.2.1 Ballastberekening volgens NEN 7250

Aangenomen wordt dat de montage van de zonnepanelen volgens montagewijze 3 wordt uitgevoerd (zie figuur 5).

De NEN 7250 art. 3.13 montagewijze 3 beschrijft deze als volgt: "montagewijze waarbij het zonne-energiesysteem los op het platte dak wordt geplaatst en al dan niet door ballast op zijn plaats wordt gehouden, waarbij de waterdichtheid wordt verzorgd door de onderliggende constructie".

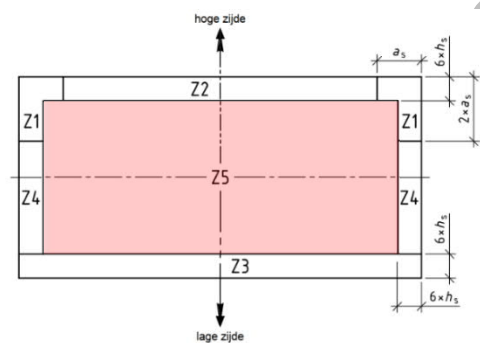


figuur 5, montagewijze 3 met ballast

Legenda

- A zonne-element
- C onderliggende constructie
- E open of gesloten ondersteuningsconstructie
- F eventuele ballast
- G eventueel achterpaneel

De norm geeft in detail aan, voor verschillende zones van een dakvlak, hoe groot de ballast voor individuele elementen moet zijn. Deze ballast moet groter zijn in de randstroken van het dak dan in het midden van het dak, aangezien aan de rand de windzuiging groter is. De hoeveelheid ballast die nodig is voor de panelen in de rode zone van figuur 6 is maatgevend voor de dimensionering van het dak. De panelen in de randzones buiten dit gebied behoeven weliswaar meer ballast, maar dit betreft slechts een beperkt gebied en heeft gezien de ligging nabij de opleggingen van de draagstructuur in het algemeen geen grote invloed op de dimensionering van de hoofdstructuur.



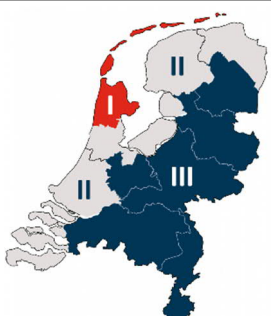
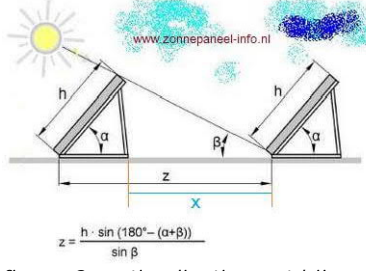
figuur 6, NEN 7250 artikel 6.2.4.4 (figuur 11)

Conform bijlage A van NEN 7250 wordt er op drie bezwijkmechanismes getoetst:

1. het kantelen van het zonne-energiesysteem, onder invloed van een opwaarts gerichte windbelasting;
Bij de ballastberekening wordt gekeken dat er per zijde genoeg neerwaarts gewicht is (uit het zonnepaneel met ballast) om het opwaaien door wind te voorkomen:
$$p_{k,ballast} = (1,3 * p_{k,opw} - 0,9 * p_{k,eg}) / 0,9$$
2. het verschuiven van het zonne-energiesysteem, door de horizontale component van de windbelasting;
Bij de schuifberekening wordt getoetst dat de neerwaartse belasting voldoende schuifweerstand kan oproepen om de horizontale component van de windbelasting op te nemen.
$$p_{k,ballast} = (F_{Ed,schuif} / \mu_f - F_{Ed,uplift} - G_{Ed}) / 0,9$$
3. het opgetild worden van het zonne-energiesysteem, door de verticale component van de windbelasting.
Het opgetild worden van het zonne-energiesysteem door de verticale component van de windbelasting is nooit maatgevend.

3.1.2.2 Uitgangspunten parameterstudie ballastberekening

In tabel 2 staan de parameters benoemd die van belang zijn bij het bepalen van de benodigde ballast voor de zonnepanelen.

Parameter	Symbol	Variatie in parameterstudie	Opmerkingen
Gebouwhoogte	z	<ul style="list-style-type: none"> 1 – 15 meter 	
Windgebied (volgens figuur 7)		<ul style="list-style-type: none"> I II III (niet in combinatie met terreincategorie 0) 	 <p>figuur 7, windgebieden in Nederland, NEN-EN 1991-1-4, figuur NB.1</p>
Terreincategorie		<ul style="list-style-type: none"> 0 (zee of kustgebied) II (onbebouwd gebied) III (bebouwd gebied) 	
Gevolgklasse zonnepanelen		<ul style="list-style-type: none"> CC1 	Voor de berekening van de ballast wordt uitgegaan van CC1. Bij de berekening van de impact van de ballast op het dak dient de gevolgklasse van het gebouw aangehouden te worden.
Type opstelling		<ul style="list-style-type: none"> eenzijdige noord/zuid opstelling dubbelzijdige oost/west opstelling 	
Achterwand		<ul style="list-style-type: none"> achterwand aanwezig achterwand niet aanwezig 	Door de achterwand krijgt de wind minder vat op het paneel, dat gunstig is voor de hoeveelheid ballast.
Hoek zonnepaneel ten opzichte van het horizontale vlak	β	<ul style="list-style-type: none"> 10° - 30° bij noord/zuid opstelling 10° - 20° bij oost/west opstelling 	Gebruikelijk is 15° bij noord/zuid opstelling en 10° bij oost/west opstelling
Hoek achterwand ten opzichte van het horizontale vlak	α	<ul style="list-style-type: none"> 60° - 90° 	Indien achterwand aanwezig
Lengte zonnepaneel	L	<ul style="list-style-type: none"> 1000 	Uitgaande van standaard panelen in "landscape" positie
Breedte goot	b_{goot}	<ul style="list-style-type: none"> geoptimaliseerd op zoninval bij noord/zuid opstelling volgens figuur 8 500 / 750 / 1000 mm bij oost/west opstelling 	 <p>figuur 8, optimalisatie goot bij noord/zuid opstelling</p>
Breedtegraad locatie	γ	<ul style="list-style-type: none"> 50,75° - 53,5° 	Ten behoeve van geoptimaliseerde zoninval volgens figuur 8
Eigengewicht installatie	G	<ul style="list-style-type: none"> 20 kg/m² 	Bij de resultaten wordt de totale massa van ballast inclusief het eigen gewicht van de installatie getoond.

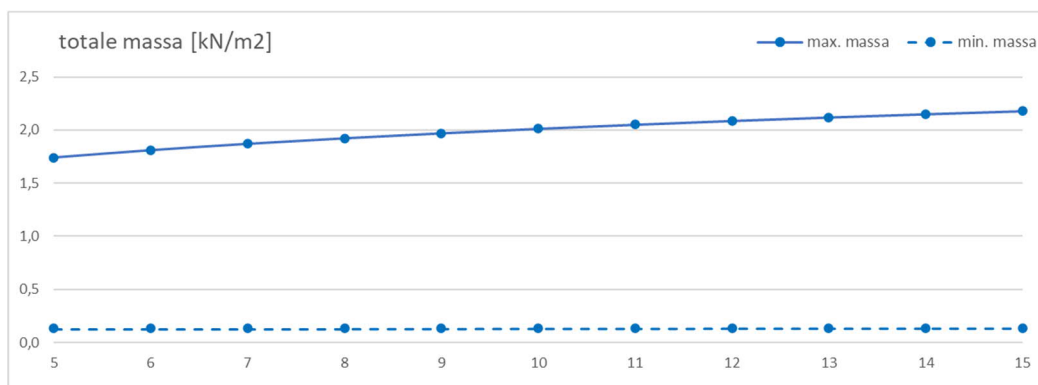
tabel 2, parameters ballastberekening

3.1.2.3 Resultaten parameterstudie ballastberekening

In onderstaande grafieken wordt de totale massa van de zonnepanelen inclusief ballast getoond.

Minimale en maximale massa, over alle resultaten

Zoals te zien is in figuur 9 is er een grote spreiding in resultaten. De benodigde totale massa varieert van ~0,2 kN/m² (waarbij het eigen gewicht van het paneel al voldoende is om opwaaien te voorkomen) tot 2,2 kN/m². De hoogte van het gebouw is in enige mate bepalend in de grootte van de benodigde ballast.

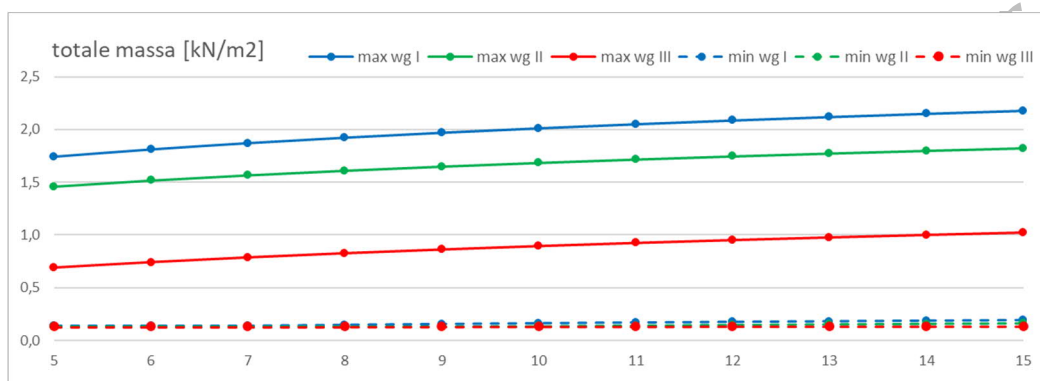


figuur 9, totale massa per gebouwhoogte (horizontale as [m])

Minimale en maximale massa, gegroepeerd per windgebied

Zoals te zien is in figuur 10 heeft het windgebied een redelijke invloed op de grootte van de totale massa. De minimaal benodigde massa is voor alle drie de windgebieden nagenoeg gelijk, maar de maximale massa varieert van 1,0 kN/m² tot 2,2 kN/m². De lage benodigde massa in windgebied III komt overigens door het ontbreken van terreincategorie 0 (kust) in dit windgebied.

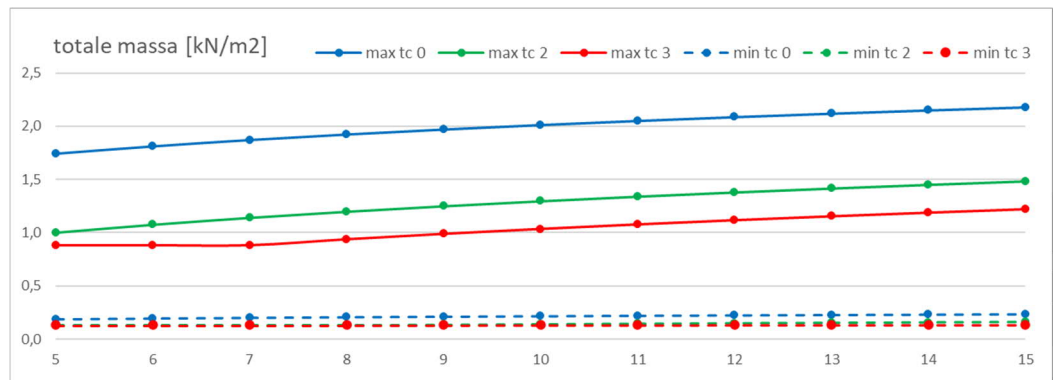
Aangezien het windgebied voor een specifiek ontwerp bekend is, heeft het zin om in voorbereiding op de belasting door zonnepanelen hier rekening mee te houden.



figuur 10, totale massa per gebouwhoogte per windgebied

Minimale en maximale massa, gegroepeerd per terreincategorie

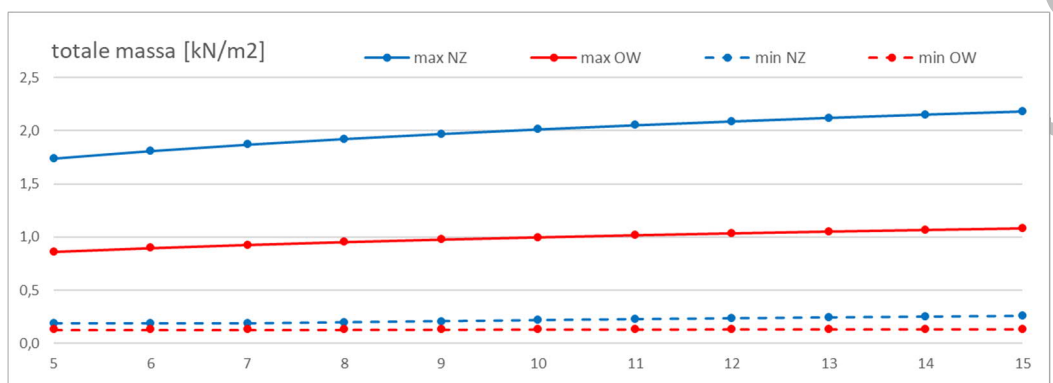
Zoals te zien is in figuur 11 heeft de terreincategorie een grote invloed op de grootte van de totale massa. De minimaal benodigde massa is voor alle drie de terreincategorieën nagenoeg gelijk, maar de maximale massa varieert van 0,8 kN/m² tot 2,2 kN/m². Aangezien de terreincategorie voor een specifiek ontwerp bekend is, heeft het zin om in voorbereiding op de belasting door zonnepanelen hier rekening mee te houden.



figuur 11, totale massa per gebouwhoogte en per terreincategorie

Minimale en maximale massa, gegroepeerd per oriëntatie

Zoals te zien is in figuur 12 heeft de oriëntatie van de zonnepanelen een grote invloed op de grootte van de totale massa. De minimaal benodigde massa is voor beide oriëntaties nagenoeg gelijk, maar de maximale massa varieert van 0,8 kN/m² tot 2,2 kN/m². De oost/west georiënteerde panelen behoeven aanmerkelijk minder ballast dan de noord/zuid georiënteerde panelen. De gewenste oriëntatie van de later te plaatsen zonnepanelen is niet altijd ten tijde van het ontwerp bekend. Het lijkt aangewezen om met de maatgevende van beide opties rekening te houden, tenzij op voorhand de keuze al gemaakt kan worden.



figuur 12, totale massa per gebouwhoogte en per oriëntatie

3.1.2.4 *Te rekenen maximale massa*

Bij het ontwerpen van een gebouw zijn een aantal van de in tabel 2 genoemde parameters bekend. Dit zijn:

- de gebouwhoogte
- het windgebied
- de terreincategorie
- de gevolgklasse van de zonnepanelen

Door in het ontwerp rekening te houden met de maximaal benodigde ballast kan op een later tijdstip te allen tijde het dak met zonnepanelen worden belast. De totale massa, bestaande uit het eigen gewicht van de panelen en de benodigde ballast, kan uit onderstaande tabel 3 en tabel 4 gehaald worden. Dit betreffen conservatieve tabellen. Een ontwerper kan echter zuiniger rekenen als deze, in plaats van de tabellen toe te passen, een eigen berekening maakt, rekening houdend met alle variabelen.

De getoonde waarden gelden voor oppervlakken van 1 vierkante meter. Door het onderling koppelen van de panelen op frames ontstaan grotere oppervlakken waardoor een reductie mag worden toegepast.

Tot slot dient nog opgemerkt te worden dat dit theoretische waarden zijn en dat uit uitgevoerde experimenten is gebleken dat deze waarden ongunstig zijn. De NEN 7250 laat de weg open om deze waarden te bepalen op basis van experimenteel onderzoek. Uiteraard dient dat door de leverancier onderbouwd te worden. Dit levert vaak lagere dan ondergenoemde waarden op.

oriëntatie	noord / zuid								
windgebied terreincategorie	I			II			III		
	0	2	3	0	2	3	0	2	3
gebouwhoogte z	benodigde totale massa incl. paneel [kg/m ²]								
5 m	175	100	90	150	85	75	-	70	65
6 m	185	110	90	155	95	75	-	75	65
7 m	190	115	90	160	100	75	-	80	65
8 m	195	120	95	165	105	80	-	85	65
9 m	200	130	100	170	105	85	-	90	70
10 m	205	130	105	170	110	90	-	90	75
11 m	210	135	110	175	115	95	-	95	75
12 m	210	140	115	175	120	95	-	100	80
13 m	215	145	120	180	120	100	-	100	80
14 m	220	150	120	185	125	100	-	105	85
15 m	220	150	125	185	125	105	-	105	85

tabel 3, benodigde totale massa bij noord/zuid georiënteerde panelen

oriëntatie	oost / west								
windgebied terreincategorie	I			II			III		
	0	2	3	0	2	3	0	2	3
gebouwhoogte z	benodigde totale massa incl. paneel [kg/m ²]								
5 m	90	50	45	75	45	40	-	35	35
6 m	90	55	45	80	45	40	-	40	35
7 m	95	60	45	80	50	40	-	40	35
8 m	100	60	50	80	50	40	-	45	35
9 m	100	65	50	85	55	45	-	45	35
10 m	100	65	55	85	55	45	-	45	40
11 m	105	70	55	90	60	45	-	50	40
12 m	105	70	60	90	60	50	-	50	40
13 m	110	75	60	90	60	50	-	50	40
14 m	110	75	60	90	65	50	-	50	45
15 m	110	75	65	95	65	55	-	55	45

tabel 4, benodigde totale massa bij oost/west georiënteerde panelen

3.1.3 Windbelasting

Wind werkt zowel in verticale als horizontale richting op de panelen. Het effect van beide richtingen op het dak en het gebouw wordt hieronder toegelicht.

3.1.3.1 Verticale windbelasting

In verticale richting verandert het dakoppervlak niet door het aanbrengen van de zonnepanelen. Dus in deze richting wordt de invloed van de windbelasting op het gebouw niet beïnvloed. Aandachtspunt is wel de verankering of belasting van de panelen zelf. Door de winddruk en windzuiging kunnen de panelen gaan verplaatsen of omhoog gezogen worden. Dit aspect dient door de leverancier te worden geborgd. In paragraaf 3.1.2 is dit reeds beschouwd bij de bepaling van de benodigde ballast.

3.1.3.2 Horizontale windbelasting

Plaatsing van zonnepanelen op het dak heeft twee gevolgen voor de horizontale windbelasting:

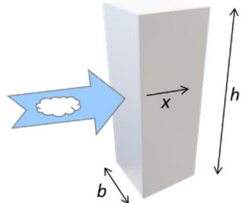
- Het gebouw vangt beperkt meer wind in frontaal oppervlak door de toegenomen hoogte van het gebouw.
- De windwrijving op het dak neemt toe door plaatsing van panelen achter elkaar.

De effecten zijn groter bij de eenzijdig georiënteerde panelen (N/Z) dan bij de dubbelzijdig georiënteerde panelen (O/W). Bij éénzijdig georiënteerde panelen zal een windzuiging (door de helling van het paneel) leiden tot een horizontale belasting. Bij een dubbelzijdig georiënteerd paneel heffen beide horizontale componenten elkaar op.

Om de toename in de windbelasting te bepalen hebben is het frontaal oppervlak in deze studie vergroot en de wrijvingscoëfficiënt c_{fr} van het dak vergroot naar 0,04.

3.1.3.3 Uitgangspunten parameterstudie windberekening

In tabel 5 staan de parameters benoemd die van belang zijn bij het bepalen van de relatieve toename in windbelasting door de zonnepanelen.

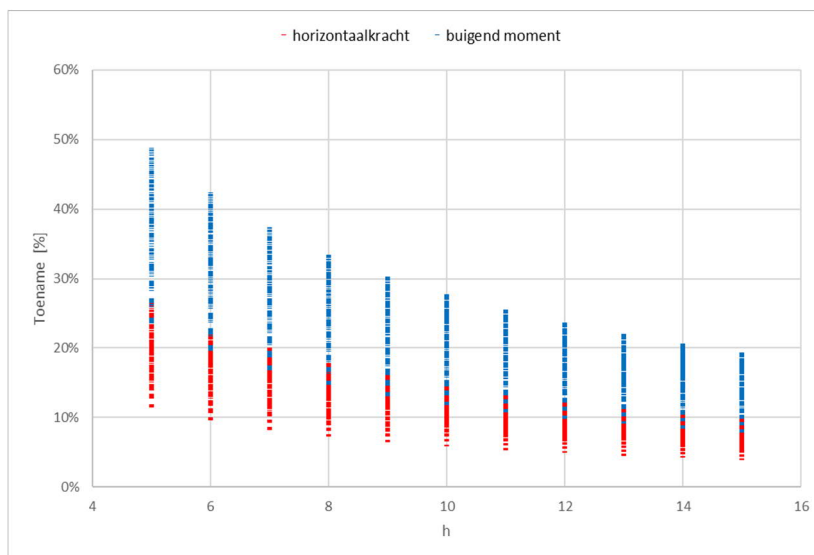
Parameter	Symbool	Variatie in parameterstudie	Opmerkingen
breedte van het gebouw, loodrecht op de windrichting	b	▪ 15 – 75 meter	 <p>figuur 13, wind op een gebouw</p>
breedte van het gebouw, evenwijdig aan de windrichting	d	▪ 15 – 75 meter	
Gebouwhoogte	z	▪ 1 – 15 meter	
wrijvingscoëfficiënt dak zonder zonnepanelen	c_{fr}	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0,01 (Glad, bijvoorbeeld staal, glad beton) ▪ 0,02 (Ruw, bijvoorbeeld ruwe beton, beteerde boorden) ▪ 0,04 (Zeer ruw, bijvoorbeeld rimpels, ribben, kronkelingen) 	
Type opstelling		<ul style="list-style-type: none"> ▪ eenzijdige noord/zuid opstelling ▪ dubbelzijdige oost/west opstelling 	
Hoek zonnepaneel ten opzichte van het horizontale vlak	β	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 10° - 30° bij noord/zuid opstelling ▪ 10° - 20° bij oost/west opstelling 	Gebuikelijk is 15° bij noord/zuid opstelling en 10° bij oost/west opstelling
Lengte zonnepaneel	L	▪ 1000	Uitgaande van standaard panelen in "landscape" positie

tabel 5, parameters windberekening

De toename in de windbelasting zorgt ervoor dat de resulterende horizontaalkracht op het gebouw groter wordt, maar ook dat het resulterend buigend moment van de stabiliteitsconstructies toeneemt.

3.1.3.4 Resultaten parameterstudie windberekening

Zoals te zien is in figuur 14 kan voor de beschouwde gevallen de horizontaalkracht tot zo'n 25% toenemen, het buigend moment tot zo'n 50%. Maar de spreiding in resultaten is groot.



figuur 14, toename windbelastingen door zonnepanelen

De toename wordt met name beïnvloed door de lengte, breedte en hoogte van het oorspronkelijke gebouw. De invloed van de afmetingen op de toename in de belastingen is getoond in tabel 6 en tabel 7.

gebouwlengte	15 m	20 m	25 m	30 m	35 m	40 m	45 m	50 m	55 m	60 m	65 m	70 m	75 m
gebouwhoogte z	maximale toename horizontaalkracht [%]												
5 m	12%	13%	15%	16%	17%	19%	20%	21%	22%	23%	24%	25%	26%
6 m	10%	11%	12%	14%	15%	16%	17%	18%	19%	20%	21%	22%	23%
7 m	8%	10%	11%	12%	13%	14%	15%	16%	16%	17%	18%	19%	20%
8 m	7%	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%	15%	16%	17%	18%
9 m	7%	8%	8%	9%	10%	11%	12%	12%	13%	14%	15%	15%	16%
10 m	6%	7%	8%	8%	9%	10%	11%	11%	12%	13%	13%	14%	14%
11 m	5%	6%	7%	8%	8%	9%	10%	10%	11%	11%	12%	13%	13%
12 m	5%	6%	6%	7%	8%	8%	9%	9%	10%	11%	11%	12%	12%
13 m	5%	5%	6%	6%	7%	8%	8%	9%	9%	10%	10%	11%	11%
14 m	4%	5%	5%	6%	7%	7%	8%	8%	9%	9%	10%	10%	11%
15 m	4%	5%	5%	6%	6%	7%	7%	8%	8%	9%	9%	10%	10%

tabel 6, maximale toename horizontaalkracht door zonnepanelen

gebouwlengte	15 m	20 m	25 m	30 m	35 m	40 m	45 m	50 m	55 m	60 m	65 m	70 m	75 m
gebouwhoogte z	maximale toename buigend moment [%]												
5 m	24%	27%	30%	32%	34%	37%	39%	40%	42%	44%	46%	47%	49%
6 m	20%	23%	25%	27%	29%	31%	33%	35%	36%	38%	39%	41%	42%
7 m	17%	19%	21%	23%	25%	27%	29%	30%	32%	33%	35%	36%	37%
8 m	15%	17%	19%	21%	22%	24%	25%	27%	28%	30%	31%	32%	33%
9 m	13%	15%	17%	18%	20%	21%	23%	24%	25%	27%	28%	29%	30%
10 m	12%	14%	15%	17%	18%	19%	21%	22%	23%	24%	25%	26%	28%
11 m	11%	12%	14%	15%	16%	18%	19%	20%	21%	22%	23%	24%	25%
12 m	10%	11%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	20%	21%	22%	23%	23%
13 m	9%	11%	12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	19%	20%	21%	22%
14 m	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	19%	20%	20%
15 m	8%	9%	10%	11%	12%	13%	14%	15%	16%	17%	18%	18%	19%

tabel 7, maximale toename buigend moment door zonnepanelen

Door in het ontwerp rekening te houden met bovenstaande toename in belasting kan op een later tijdstip te allen tijde het dak met zonnepanelen worden belast. Dit betreffen conservatieve tabellen. Een ontwerper kan echter zuiniger rekenen als deze, in plaats van de tabellen toe te passen, een eigen berekening maakt rekening houdend met alle variabelen.

3.1.4 Sneeuwbelasting

Doordat de panelen een hindernis tegen stuifsnieuw vormen, zal er sneeuwophoping gaan plaatsvinden. Dat wordt nog eens versterkt als de panelen onder een hellingshoek komen te staan. In dat geval kan er ook nog afschuivende sneeuw optreden. Indien de ruimte onder de panelen open is, kan deze zich theoretisch ook vullen met sneeuw.

De sneeuwbelasting is door de ophoping mede afhankelijk van de vorm waarin de opstelling gerealiseerd wordt. Een oost-west opstelling vormt een "goot" en een éézijdige opstelling een "wand". Daarom worden de twee typen opstelling hierna apart beschouwd.

3.1.4.1 Plat dak zonder obstakels

- Sneeuwbelastingsvormcoëfficiënt conform tabel 5.2 van NEN-EN 1991-1-3: $\mu_1 = 0,8$
- $s = \mu_1 * s_k = 0,8 * 0,7 = \underline{0,56 \text{ kN/m}^2}$

3.1.4.2 Uitgangspunten parameterstudie sneeuwlastberekening met zonnepanelen

In tabel 8 staan de parameters benoemd die van belang zijn bij het bepalen van de optredende sneeuwbelasting voor de zonnepanelen.

Parameter	Symbol	Variatie in parameterstudie	Opmerkingen
Type opstelling		<ul style="list-style-type: none"> ▪ eenzijdige noord/zuid opstelling ▪ dubbelzijdige oost/west opstelling 	
Hoek zonnepaneel ten opzichte van het horizontale vlak	β	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 10° - 30° bij noord/zuid opstelling ▪ 10° - 20° bij oost/west opstelling 	Gebruikelijk is 15° bij noord/zuid opstelling en 10° bij oost/west opstelling
Lengte zonnepaneel	L	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 1000 	Uitgaande van standaard panelen in "landscape" positie
Breedte goot	b_{goot}	<ul style="list-style-type: none"> ▪ geoptimaliseerd op zoninval bij noord/zuid opstelling volgens figuur 8 ▪ 500 / 750 / 1000 mm bij oost/west opstelling 	zie figuur 8
Hoogte t.p.v. goot	h_{laag}	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 0,1 m – 0,2 m 	
Breedtegraad locatie	γ	<ul style="list-style-type: none"> ▪ 50,75° - 53,5° 	Ten behoeve van geoptimaliseerde zoninval volgens figuur 8

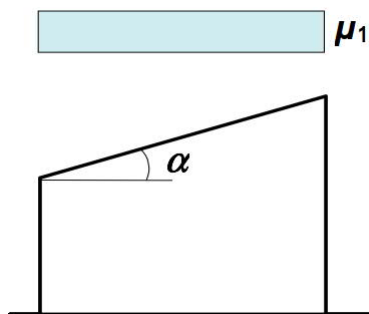
tabel 8, parameters berekening sneeuwbelasting

3.1.4.3 Eenzijdige N/W-opstelling

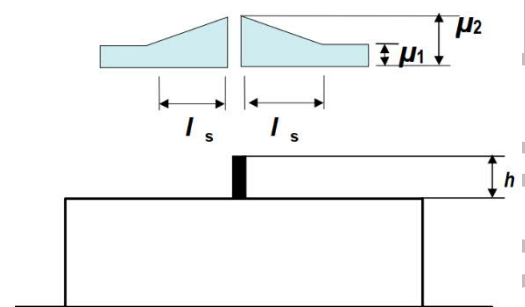
De rijen zonnepanelen worden op korte afstand van elkaar gemonteerd voor onderhoud en om de schaduwinvloed te beperken. Door deze opstelling gecombineerd met de paneelhelling ontstaan tussen de paneelrijen "goten" die zich kunnen vullen met sneeuw. Ook kan zich onder de panelen (indien geen verticale afdichting aangebracht) sneeuw ophopen. Hierdoor zal de sneeuwbelasting op het dak toenemen ten opzichte van een vlak dak zonder obstakels, waar de wind de sneeuw vanaf blaast.

De sneeuwbelastingen ($s = \mu_i * s_k$) worden bepaald aan de hand van de Eurocode NEN-EN 1991-1-3 Algemene belastingen – Sneeuwbelasting.

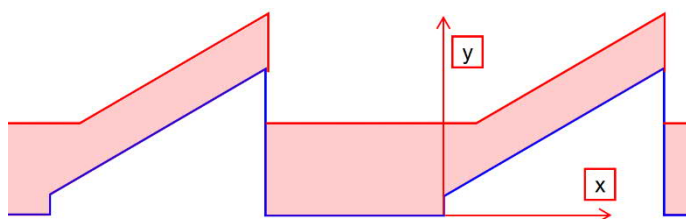
- Artikel 5.3.2. beschrijft de sneeuwbelasting op een éénzijdig hellende constructie: $\mu_1 = 0,8$ en $\mu_2 = 0,8 * (60 - \alpha) / 30 = 0,8 * (60-30) / 30 = 0,8$ (zie figuur 16).
- Artikel 5.3.6. beschrijft de sneeuwbelasting door opwaaien en afglijden bij hoogteverschillen van gebouwen. Maar het artikel is niet bedoeld voor kleine obstakels.
- Artikel 6.2 beschrijft de sneeuwbelasting voor de door de zonnepanelen veroorzaakte obstakels op het dak: $\mu_1 = 0,8$ en $\mu_2 = \gamma h_{\text{hoog}} / S_{kf} \rightarrow \mu_2 = 2,0 * 0,50 / 0,70 = 1,4$ (zie figuur 17).



figuur 16, Sneeuwbelastingsvormcoëfficiënt – lessenaarsdak volgens NEN-EN 1991-1-3, fig. 5.2



figuur 17, Sneeuwbelastingsvormcoëfficiënten ter hoogte van uitspringende delen en obstakels volgens NEN-EN 1991-1-3, fig. 6.1

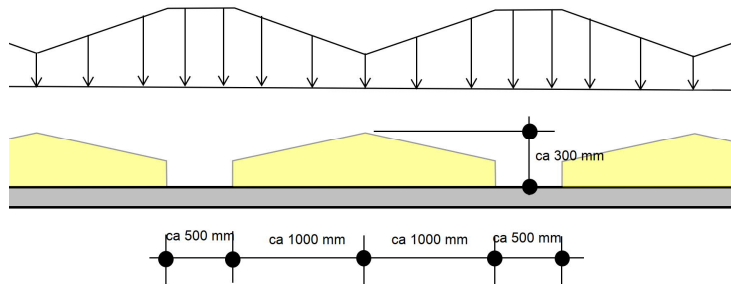


figuur 15, belastingschema sneeuw op zonnepanelen

Uit voorgaande schema's kan de gemiddelde sneeuwbelasting bepaald worden aan de hand van de waarden voor μ .

3.1.4.4 Oost/west opstelling

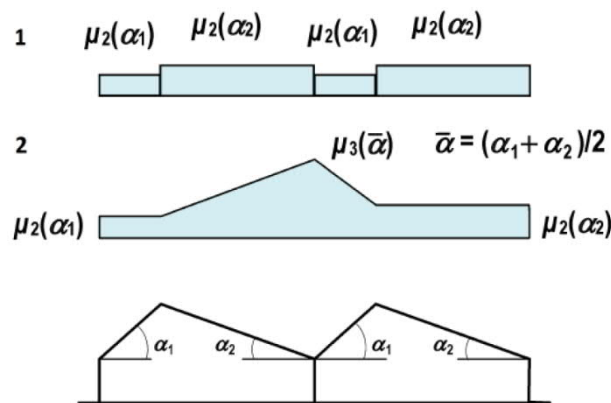
De rijen zonnepanelen worden op korte afstand van elkaar gemonteerd voor onderhoud en om de schaduwinvloed te beperken. Door deze opstelling gecombineerd met de paneelhelling ontstaan tussen de paneelrijen "goten" die zich kunnen vullen met sneeuw. Hierdoor zal de sneeuwbelasting op het dak toe nemen.



Figuur 18 Belastingeschema sneeuw en uitgangspunten maatvoering.

De sneeuwbelastingen ($s = \mu_i \cdot s_k$) worden bepaald aan de hand van de Eurocode NEN-EN 1991-1-3 Algemene belastingen – Sneeuwbelasting.

- Artikel 5.3.2 en 5.3.4 beschrijven de sneeuwbelasting door ophoping tussen aansluitende hellende vlakken. Hierin wordt de gemiddelde sneeuwbelasting berekend.

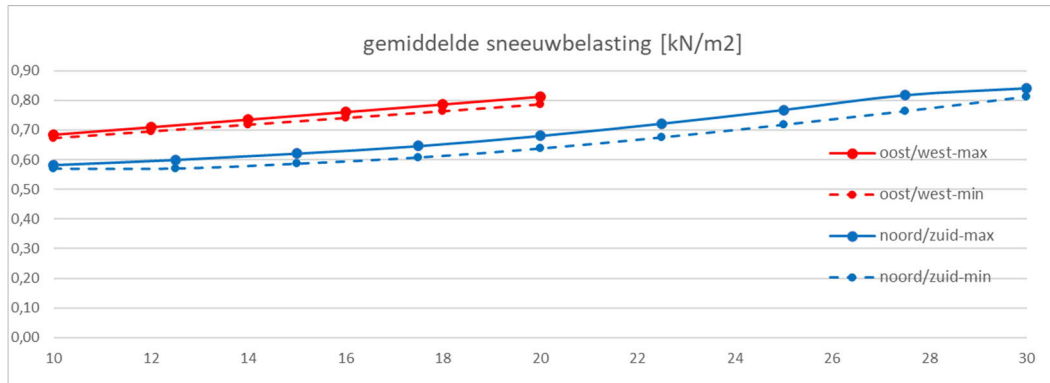


figuur 19, sneeuwbelastingsvormcoëfficiënten voor daken met meer dan één overspanning volgens NEN-EN 1991-1-3, fig. 5.3

Uit voorgaande schema's kan de sneeuwbelasting bepaald worden aan de hand van de waarden voor μ voor aansluitende hellende dakvlakken.

3.1.4.5 Resultaten parameterstudie sneeuwberekening

Zoals te zien is in figuur 20 kan voor de beschouwde gevallen de gemiddelde sneeuwbelasting toenemen tot 0,84 kN/m². Dit is een toename van 50% ten opzichte van een plat dak zonder obstakels. De spreiding tussen de minimale en maximale waarden is niet groot. Dat wil zeggen dat variabelen zoals de gootbreedte en hoogte slechts een beperkte invloed op de sneeuwbelasting hebben.



figuur 20, gemiddelde sneeuwbelasting bij verschillende opstellingen en hellingshoek van de panelen

3.1.5 Hemelwaterbelasting

Het dakoppervlak wijzigt door het aanbrengen van de zonnepanelen niet in oppervlak. De hemelwaterlast zal dus ook niet wijzigen. Indien de zonnepanelen, zoals gebruikelijk, worden opgesteld op frames, kan het hemelwater vrijelijk onder de panelen weglopen. Er zal dus geen gewijzigde ophoping van hemelwater ontstaan anders dan aangenomen in bestaande situatie. Dus er zal ook geen wijziging in hemelwaterbelasting plaatsvinden. Aandachtspunt is wel dat door het aanbrengen van de panelen het afschot van het bestaande dak niet wijzigt en dat het dak niet te slap is (stalen dak) waardoor "zakvorming" kan optreden.

3.1.6 Toetsing bestaande bouw

Indien een bestaand dak van een gebouw of woning wordt getoetst voor de plaatsing van zonnepanelen, dient conform het Bouwbesluit de constructieve veiligheid getoetst te worden aan NEN 8700.

- De inleiding van NEN 8700, opmerking 1 meldt: "Bij verbouw gaat het om een fysieke bouwkundige ingreep aan een bouwwerk. Onder verbouw valt dus niet een verandering van belasting zonder dat dit gepaard gaat met een bouwkundige ingreep aan het bouwwerk. Een verandering van belasting kan wel aanleiding zijn om de bestaande constructie opnieuw te beoordelen. Publiekrechtelijk gezien mag in dat geval het afkeurniveau niet zijn onderschreden."

Dit betekent dat een bestaand dak waarbij de belasting verhoogd wordt door het plaatsen van zonnepanelen, maar waar géén bouwkundige ingrepen voorzien zijn, beoordeeld dient te worden op het niveau van afkeur. Als het niveau van afkeur onderschreden wordt, dan dient de versterkte constructie minstens het niveau van verbouw te halen.

concept

- Volgens art. 1.5.2.8a geldt voor de gevolklassen CC1b, CC2 en CC3 een referentieperiode van 15 jaren voor de bepaling van de grootte van de veranderlijke belastingen.
In onze studie naar de impact op bestaande bouwen wordt nu enkel CC1b beschouwd. Strikt genomen kan voor CC1a gebouwen een iets lagere referentieperiode van één jaar worden aangehouden. De impact op de uitkomsten en de algemene conclusies is echter beperkt.
- Volgens art. 2.3.2 (1Ab) moet voor de bepaling van de referentieperiode van veranderlijke belastingen bij de beoordeling of het prestatieniveau van een bouwwerk al dan niet het afkeurniveau onderschrijft voor de gevolklassen CC1b, CC2 en CC3 minimaal een referentieperiode van 15 jaar zijn gebruikt, ook al is voor de beoordeling van de sterkte van de constructie de (aangenomen) restlevensduur 1 jaar.

In de parametrische toetsing van paragraaf 3.2 kijken we naar de impact van het aanbrengen van zonnepanelen op bestaande gebouwen van gevolklasse CC1b. Hierbij gaan we ervan uit dat deze volledig voldeden aan de ten tijde van de bouwvergunning van toepassing zijnde norm (waarbij is aangehouden NEN-EN-1990 of NEN 6702), maar zonder de belasting uit zonnepanelen.

De belasting in deze toestand wordt vergeleken met afkeurniveau volgens NEN 8700. Voor de toetsing nemen we als ondergrens een referentieperiode van 15 jaar. Dit wordt ook gebruikt bij de vaststelling van de variabele belastingen. Gunstiger dan dit zal het voor de te rekenen variabele belastingen niet worden.

3.1.6.1 Reductie belastingen ten gevolge van restlevensduur

De veranderlijke belasting door zowel wind als sneeuw mag worden gereduceerd voor de hiervoor benoemde restlevensduur.

- De reductiefactor op de sneeuwbelasting is bepaald conform bijlage D van NEN-EN 1991-1-3:

$$s_n = s_k \left\{ \frac{1 - V \frac{\sqrt{6}}{\pi} [\ln(-\ln(1 - P_n)) + 0,57222]}{(1 + 2,5923V)} \right\}$$

Waarin:
V=0,8

Volgens tabel NB.2 van NEN-EN 1991-1-3 geldt voor de sneeuwbelasting voor een referentieperiode van 15 jaar: $s_{k15} = 0,75 s_{k50}$.

- De reductiefactor op de windbelasting is bepaald conform opmerking 4 bij 4.2 van NEN-EN 1991-1-4:

$$C_{prob} = \left(\frac{1 - K \cdot \ln(-\ln(1 - p))}{1 - K \cdot \ln(-\ln(0,98))} \right)^n$$

Voor een referentieperiode van 15 jaar met $P = 1/15 = 0,0667$ geeft dit:

Windgebied	K	n	C_{prob}
I	0,2	0,5	0,93
II	0,234	0,5	0,92
III	0,281	0,5	0,91

3.1.6.2 Belastingcombinaties

Bij de aan te houden belastingcombinaties wordt gekeken naar een nieuw gebouw dat initieel volgens Eurocode NEN-EN 1990 (gevolgklasse CC1) of volgens NEN 6702 (veiligheidsklasse 2) berekend is geweest met een referentieperiode van 50 jaar. Dit wordt vergeleken met een berekening volgens NEN 8700 (gevolgklasse CC1, niveau afkeur), waarbij een referentieperiode van 15 jaar wordt aangehouden.

NEN-EN 1990:

$$6.10a: \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$6.10b: \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Belasting	Symbol	CC1
Blijvende belasting, ongunstig (6.10a)	$\gamma_{Gj,sup}$	1,20
Blijvende belasting, ongunstig (6.10b)	$\xi_j \gamma_{Gj,inf}$	1,10
Veranderlijke belasting (6.10a&b)	$\gamma_{Q,1}$	1,35

Tabel 9, combinaties NEN-EN 1990

NEN6702:

$$(1): F_{\Sigma f.u.d} = \gamma_{f.g.u} \times G_{rep} + \gamma_{f.q.u} \times \psi_t \times Q_{1,rep} + \sum_{i \geq 2}^n \gamma_{f.q.u} \times \psi_i \times Q_{i,rep}$$

$$(2): F_{\Sigma f.u.d} = \gamma_{f.g.u} \times G_{rep}$$

Belasting	Symbol	VK2
blijvende belasting, ongunstig (1)	$\gamma_{f.g.u,sup}$	1,20
blijvende belasting, ongunstig (2)	$\gamma_{f.g.u,sup}$	1,35
veranderlijke belasting	$\gamma_{f.q.u}$	1,30

Tabel 10, combinaties 6702

NEN 8700:

$$6.10a: \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$6.10b: \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Belasting	Symbol	CC1
Blijvende belasting, ongunstig (6.10a)	$\gamma_{Gj,sup}$	1,10
Blijvende belasting, ongunstig (6.10b)	$\xi_j \gamma_{Gj,inf}$	1,00
Wind maatgevende veranderlijke belasting (6.10a&b)	$\gamma_{Q,1}$	1,10
Anders dan wind overheersende veranderlijke belasting (6.10a&b)	$\gamma_{Q,1}$	1,05

Tabel 11, combinaties NEN 8700

3.2 *Impact zonnepanelen op bestaand plat dak*

Om de impact van het plaatsen van zonnepanelen op een bestaand plat dak te bepalen, is een vergelijkende studie gedaan naar de toename van de rekenwaarde van de belasting. Zie de uitgangspunten in paragraaf 3.1.6. De verhouding van de rekenwaarde van het niveau afkeur van een dak mét zonnepanelen ten opzichte van het niveau nieuwbouw van een dak zonder zonnepanelen zegt iets over de impact die dat heeft.

Zodra de verhouding groter dan 1 à 1,05 is wordt de aangehouden veiligheid verminderd, hetgeen niet toegestaan is. Er zal dan bekeken moeten worden of er een versterking van de constructie nodig is of een andere opstelling van de zonnepanelen. De verhouding kan nagenoeg 1 zijn, omdat getoetst is op afkeur volgens NEN 8700, waarbij een reductie op sneeuw en wind mogelijk is, afhankelijk van de aan te houden referentieperiode (3.1.6.1).

3.2.1 *Uitgangspunten impact zonnepanelen op bestaand plat dak*

De volgende uitgangspunten zijn gebuikt voor een vergelijking van rekenwaarden van de belastingen:

Parameter	Symbool	Variatie in parameterstudie	Opmerkingen
Gevolgklasse		▪ CC1	
Eigen gewicht bestaand dak	p_{eg}	▪ 0,20 kN/m ² licht dak ▪ 2,55 kN/m ² zwaar dak	Stalen dak Kanaalplaten dak
Eigen gewicht zonnepanelen	p_{zp}	▪ 0,20 kN/m ²	Zonder ballast
Nokhoogte gebouw		▪ 5 - 15 m	
Windgebied	h_{laag}	▪ I-II-III	De windgegevens zijn gebruikt om de benodigde ballast te bereken
Terreincategorie	γ	▪ 0 - 2 - 3	0 niet in windgebied III
Opstelling		▪ NZ ▪ OW	Deze wordt ook gebruikt om de sneeuwbelasting mee te bepalen
Hellingshoek	β	▪ 10 - 30 graden	▪ Max 20 graden bij OW-opstelling
Referentieperiode		▪ 15 jaar	

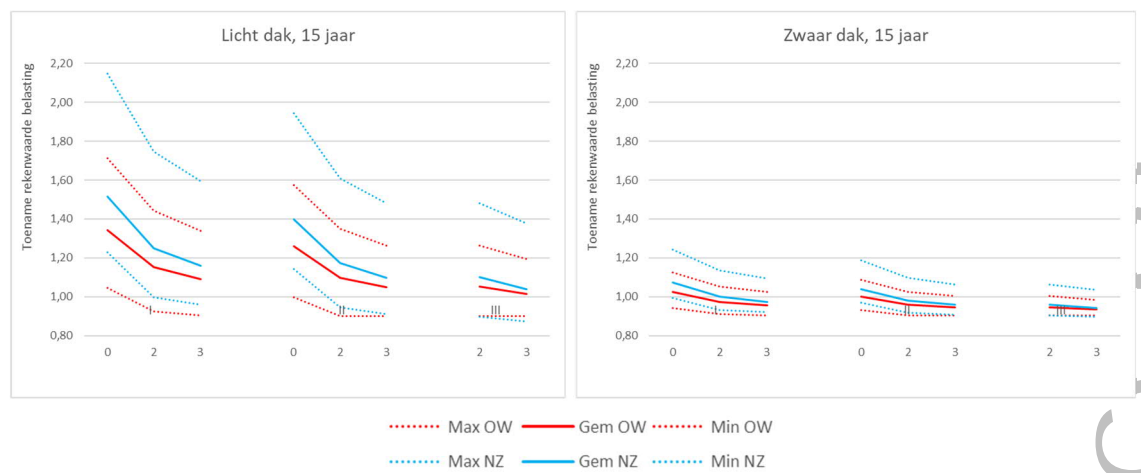
Tabel 12, parameters ten behoeve van vergelijking rekenwaarde afkeur t.o.v. nieuwbouw

Voor de belastingscombinaties en de reductiefactor t.a.v. de referentieperiode zie paragraaf 3.1.6.1 resp. 3.1.6.2.

3.2.2 *Resultaten vergelijkende studie impact zonnepanelen op bestaand plat dak*
De toename van de rekenwaarde van de belasting is uitgedrukt in een verhoudingsfactor, bepaald met de volgende uitdrukking:

$$\text{Verhouding} = \frac{\text{rekenwaarde belasting mét zonnepanelen (afkeur, NEN 8700)}}{\text{rekenwaarde belasting zónder zonnepanelen (nieuwbouw, NEN 6702/NEN-EN 1990)}}$$

In de navolgende figuur 21 is deze factor weergegeven:



figuur 21, toename rekenwaarde belasting door zonnepanelen voor O/W- en N/Z-opstellingen, voor:

- a) Licht dak, referentieperiode 15 jaar
- b) Zwaar dak, referentieperiode 15 jaar

3.2.3 *Conclusies impact zonnepanelen op bestaand plat dak*
Uit de figuren kunnen de volgende conclusies getrokken worden:

- De rekenwaarde van de belasting op lichte daken neemt in bijna alle gevallen toe;
- De impact op een zwaar dak is veel lager dan op een licht dak;
- De rekenbelasting neemt meer toe voor noord/zuid georiënteerde zonnepanelen dan voor oost/west georiënteerde zonnepanelen;
- Bij een licht dak varieert de gemiddelde toename van 1,02 tot 1,52;
- Bij een zwaar dak varieert de gemiddelde toename van 0,94 tot 1,07;

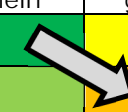
Zonder een gedetailleerde constructieve beoordeling van de (rest-)capaciteit van de constructie, is op voorhand niet te zeggen dat een bestaande platdakconstructie belast kan worden met zonnepanelen.

3.3 *Impact zonnepanelen op nieuw plat dak*

De toevoeging van zonnepanelen op het dak van een hoog gebouw heeft nauwelijks impact op de bouwkosten. Dit omdat de toename van belasting laag is ten opzichte van de reeds te rekenen belastingen van alle verdiepingen. Voor een laag gebouw kan dat anders uitvallen.

In Tabel 13 tonen we de impact van de overspanning en het gewicht van het dak op de bouwkosten. De impact wordt met name groot als de initiële belastingen laag zijn. Dit is zeker het geval bij éénlaags gebouwen met grote overspanningen en lichte daken.

impact		overspanning	
		klein	groot
gewicht dak	zwaar		
	licht		



Tabel 13, impact belasting zonnepanelen op bouwkosten

In Tabel 14 is voor een aantal typen gebouwen opgegeven in welk kwadrant ze zich gebruikelijk bevinden. Bij de in het oranje vlak benoemde gebouwen zal de impact op de bouwkosten het grootst zijn. Zowel door de toename in de kosten van het dak zelf, als ook in de ondergelegen constructiedelen en de fundering.

impact		Overspanning	
		Klein	groot
gewicht dak	zwaar	CC3 <ul style="list-style-type: none"> • hoogbouw • >4-laags ziekenhuizen • >4-laags celgebouwen CC2 <ul style="list-style-type: none"> • woongebouwen • hotels • kantoorgebouwen • ziekenhuizen meerlaags: <ul style="list-style-type: none"> • industriegebouwen • onderwijsgebouwen • winkels CC1 Eengezinswoningen 	CC2 <ul style="list-style-type: none"> • eenlaags: <ul style="list-style-type: none"> • winkels • parkeergebouwen
	licht	CC2 <ul style="list-style-type: none"> • eenlaags: <ul style="list-style-type: none"> • onderwijsgebouwen • winkels 	CC3 <ul style="list-style-type: none"> • stadions • concerthallen • tribunes CC2 <ul style="list-style-type: none"> • eenlaags winkels CC1 <ul style="list-style-type: none"> • landbouwbedrijfsgebouwen • industriegebouwen

Tabel 14, bouwtypen gerangschikt naar overspanning en gewicht dak

Vergelijkende studie impact zonnepanelen op nieuw plat dak

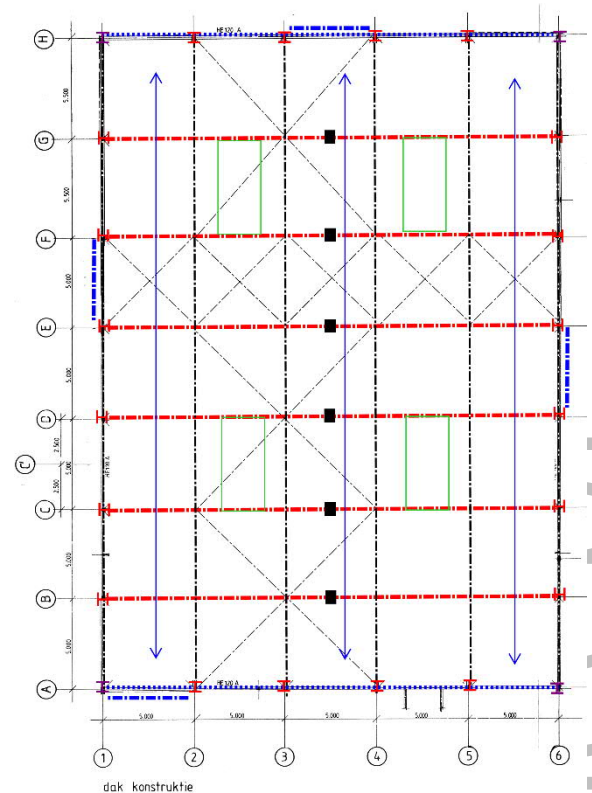
Om de invloed van het voorbereiden van een nieuw gebouw op de plaatsing van zonnepanelen op de bouwkosten in beeld te brengen is een vergelijkende studie gemaakt.

3.3.1 *Uitgangspunten impact zonnepanelen op nieuw plat dak*

Uitgangspunt voor deze studie is het ontwerp van een stalen hal van 35x25x5,5 m. Deze hal is berekend in een situatie zónder zonnepanelen en in een situatie mét zonnepanelen. De verschillen in de hoofdconstructie zijn in beeld gebracht.

Vervolgens zijn variaties aangebracht in de basis opzet van de hal en wederom de verschillen in de hoofdconstructie in beeld gebracht. De verschillende berekende varianten zijn benoemd in Tabel 15.

- basisvariant
- als basis, maar aan de kust gepositioneerd
- als basis, maar met een zwaarder dak uit kanaalplaten
- als basis, maar met een grotere overspanning
- als basis, maar met zonnepanelen noord/zuid georiënteerd



figuur 22, dak constructie

Parameter	Symbol	Var 2A	Var 2B	Var 2C	Var 2D	Var 2E
Gevolgklasse		CC1				
Eigen gewicht zonnepanelen	p_{zp}	0,20 kN/m ²				
Hoek zonnepaneel ten opzichte van het horizontale vlak	β	15°				
Lengte zonnepaneel	L	1000 mm landscape				
Breedte goot	b_{goot}	500 mm				
Windgebied		III	I	III	III	III
Terreincategorie		III (bebouwd)	0 (kust)	III (bebouwd)	III (bebouwd)	III (bebouwd)
Ballast	$P_{ballast}$	0,29 kN/m ²	0,62 kN/m ²	0,29 kN/m ²	0,29 kN/m ²	0,29 kN/m ²
Type dak		licht: stalen dakplaat	licht: stalen dakplaat	zwaar: kanaalplaat	licht: stalen dakplaat	licht: stalen dakplaat
Eigen gewicht zonder zonnepanelen	p_{eg}	0,20 kN/m ²	0,20 kN/m ²	2,55 kN/m ²	0,20 kN/m ²	0,20 kN/m ²
Hoofdoverspanning		2x12,5 m	2x12,5 m	2x12,5 m	1x25 m	2x12,5 m
Type opstelling		oost/west	oost/west	oost/west	oost/west	noord/zuid

Tabel 15, constructieve parameters van de ontwerpvarianten

3.3.2

Constructieve consequenties impact zonnepanelen op nieuw plat dak

Van bovengenoemde varianten zijn in Tabel 16 de constructieve consequenties in beeld gebracht. Dit betreft met name een impact op:

- de staalhoeveelheid
- het type stalen dakplaten
- de zwaarte van de kanaalplaten

Parameter	Symbool	Var 2A	Var 2B	Var 2C	Var 2D	Var 2E
Staalhoeveelheid zonder voorbereiding zonnepanelen		14500 kg	20400 kg	26300 kg	36400 kg	14500 kg
Staalhoeveelheid met voorbereiding zonnepanelen		17600 kg	25100 kg	28300 kg	41800 kg	19200 kg
Toename staalhoeveelheid		3100 kg	4700 kg	2000 kg	5400 kg	4700 kg
Toename staalhoeveelheid		+21%	+23%	+8%	+15%	+32%
Toename bouwkosten		€16,- /m ²	€22,- /m ²	€7,- /m ²	€20,- /m ²	€22,- /m ²

Tabel 16, constructieve impact

De toename in bouwkosten telt zwaarder door bij eenvoudige gebouwen zoals een stalen industriehal dan bij complexere gebouwen zoals scholen en kantoren. In Tabel 17 is de relatieve toename getoond bij eenvoudige industriële hallen en bij complexere een-laags gebouwen, afhankelijk van de basisbouwsom.

Parameter	Symbool	Var 2A	Var 2B	Var 2C	Var 2D	Var 2E
Eenvoudige industriële hal						
Bouwkosten ¹ zonder voorbereiding zonnepanelen		€917,- /m ²	€939,- /m ²	€1.023,- /m ²	€1.061,- /m ²	€917,- /m ²
Bouwkosten met voorbereiding zonnepanelen		€933,- /m ²	€961,- /m ²	€1.030,- /m ²	€1.081,- /m ²	€939,- /m ²
Toename bouwkosten		1,7%	2,3%	0,8%	1,8%	2,4%
Complexer een-laags gebouw						
Bouwkosten zonder voorbereiding zonnepanelen		€1.922,- /m ²	€1.944,- /m ²	€2.028,- /m ²	€2.066,- /m ²	€1.922,- /m ²
Bouwkosten met voorbereiding zonnepanelen		€1.938,- /m ²	€1.967,- /m ²	€2.035,- /m ²	€2.086,- /m ²	€1.944,- /m ²
Toename bouwkosten		0,8%	1,2%	0,4%	1,0%	1,1%

Tabel 17, impact op bouwkosten

¹ Exclusief btw, inclusief onvoorzien

3.3.3 *Conclusies impact zonnepanelen op nieuw plat dak*

- De toename in bouwkosten voor éénlaagse lichte (industriële) gebouwen zal gemiddeld €15,-/m² tot €25,-/m² bedragen. Dit is een toename van ~2% in bouwkosten.
- Voor éénlaagse zwaardere gebouwen zal de toename in bouwkosten gemiddeld €5,-/m² tot €10,-/m² bedragen. Dit is een toename van ongeveer 0,5% tot 1,0% in bouwkosten.
- Als direct een keuze voor een systeem wordt gemaakt kan de constructie daarop geoptimaliseerd worden. Als enkel een belastings-reservering voor alle mogelijke zonnepaneel-systemen wordt genomen, dan moet een veilige marge worden genomen. Dan zal de prijs wat hoger uitvallen.
- Voor de constructie is een oost/west oriëntering van de zonnepanelen gunstiger dan een noord/zuid oriëntering;
- Bij duurdere gebouwen zullen de voorbereidende investeringen relatief lager uitvallen;
- Gebouwen met zware daken hebben vaak al een hogere afwerkingsgraad, waardoor de bouwkosten vaak al hoger zijn. Dan zullen de meerkosten voor het voorbereiden op zonnepanelen zich beperken tot ~0,5%.
- Voor meerlaags gebouwen neemt bovenstaande investering per m² nog verder af, aangezien de meerkosten slechts op de bovenste laag geteld worden, maar de meerkosten ruwweg gedeeld kunnen worden door het aantal lagen dat het gebouw telt.

4 Zonnepanelen op schuine daken

4.1 Belastingen door zonnepanelen op schuine daken

4.1.1 Permanente belastingen

Bij het aanbrengen van zonnepanelen op een schuin dak worden de zonnepanelen direct, zonder ballast, op de onderconstructie bevestigd. Dit betekent dat alleen de permanente belasting op het dak van de woning verhoogd wordt door het eigen gewicht van de zonnepanelen met het bevestigingsframe. Zoals benoemd in paragraaf 3.1.1 bedraagt het gewicht van zonnepanelen inclusief aluminium montageframe 10-20 kg/m². Door de schuine helling neemt het gewicht per geprojecteerd oppervlak toe.

Zadeldak met dakhelling 30°

- Eigen gewicht dak $P_{e.g.dak\perp} = 0,65 / \cos 30^\circ = 0,750 \text{ kN/m}^2$
- Belastingen door eigen gewicht panelen $P_{e.g.zonpn\perp} = 0,15 / \cos 30^\circ = 0,173 \text{ kN/m}^2$

Zadeldak met dakhelling 45°

- Eigen gewicht dak $P_{e.g.dak\perp} = 0,65 / \cos 45^\circ = 0,919 \text{ kN/m}^2$
- Belastingen door eigen gewicht panelen $P_{e.g.zonpn\perp} = 0,15 / \cos 45^\circ = 0,212 \text{ kN/m}^2$

4.1.2 Permanente belasting door ballast

Er is geen ballast aanwezig op schuine daken. De zonnepanelen worden dóór de waterkerende dakhuid (dakpannen) verankerd op de onderconstructie.

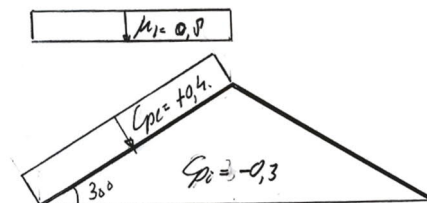
4.1.3 Windbelastingen

Het aanbrengen van de zonnepanelen heeft geen invloed op de windbelasting en de sneeuwbelasting op het dak. Ten behoeve van een vergelijkende toets van een dak met of zonder zonnepanelen wordt de belasting op het dak nader uitgewerkt.

Zadeldak met dakhelling 30°

De neerwaarts gerichte windbelasting op de loefzijde in zone H van het dak is maatgevend

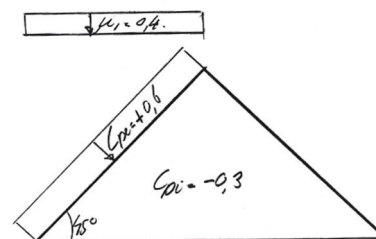
- Vormfactor uitwendige drukcoëfficiënt conform tabel NB.10 van NEN-EN 1991-1-4 : $C_{pe.10} = +0,4$
- Vormfactor Inwendige drukcoëfficiënt conform NEN-EN 1991-1-4 artikel 7.2.9 (5): $C_{pi} = -0,3$
- $P_w = (0,4 + 0,3) * 0,48 = 0,336 \text{ kN/m}^2$
- $P_{w\perp} = 0,336 * \cos 30^\circ = 0,291 \text{ kN/m}^2$



figuur 23, vormfactor uitwendige drukcoëfficiënten zadeldak 30°

Zadeldak met dakhelling 45°

- Vormfactor uitwendige drukcoëfficiënt conform tabel NB.10 van NEN-EN 1991-1-4 : $C_{pe.10} = +0,6$
- Vormfactor Inwendige drukcoëfficiënt conform NEN-EN 1991-1-4 artikel 7.2.9 (5): $C_{pi} = -0,3$
- $P_w = (0,6 + 0,3) * 0,48 = 0,432 \text{ kN/m}^2$
- $P_{w\perp} = 0,432 * \cos 45^\circ = 0,305 \text{ kN/m}^2$



figuur 24, vormfactor uitwendige drukcoëfficiënten zadeldak 45°

4.1.4 Sneeuwbelastingen

Zadeldak met dakhelling 30°

- Sneeuwbelastingsvormcoëfficiënt conform tabel 5.2 van NEN-EN 1991-1-3: $\mu_1 = 0,8$ (zie figuur 21)
- $s = \mu_1 * s_k = 0,8 * 0,7 = 0,56 \text{ kN/m}^2$

Zadeldak met dakhelling 45°

- Sneeuwbelastingsvormcoëfficiënt conform tabel 5.2 van NEN-EN 1991-1-3: $\mu_1 = 0,4$ (zie figuur 22)
- $s = \mu_1 * s_k = 0,4 * 0,7 = 0,28 \text{ kN/m}^2$

4.1.5 Hemelwaterbelasting

niet van toepassing bij schuine daken

4.1.6 Toetsing bestaande bouw

Indien een bestaand dak van een gebouw of woning wordt getoetst voor de plaatsing van zonnepanelen, dient conform het Bouwbesluit de constructieve veiligheid getoetst te worden aan NEN 8700.

Zie eerdere opmerkingen in paragraaf 3.1.6 omtrent het toetsniveau (afkeur) en de minimaal aan te houden referentieperiode (15 jaar).

In de parametrische toetsing van paragraaf 4.2.1 kijken we naar de impact van het aanbrengen van zonnepanelen op bestaande woningen in gevolgklasse CC1b. Hierbij gaan we ervan uit dat deze volledig voldeden aan de ten tijde van de bouwvergunning van toepassing zijnde norm (waarbij is aangehouden NEN-EN-1990 of NEN 6702), maar zonder de belasting uit zonnepanelen.

De belasting in deze oorspronkelijke nieuwbouwtoestand wordt vergeleken met afkeurniveau volgens NEN 8700. Voor de laatste toetsing nemen we als bovengrens een referentieperiode van 50 jaar. Deze referentieperiode wordt gebruikt bij de vaststelling van de variabele belastingen. Ongunstiger dan dit zal het voor de te rekenen variabele belastingen niet worden.

4.1.6.1 Reductie belastingen ten gevolge van restlevensduur

De veranderlijke belasting door zowel wind als sneeuw worden niet gereduceerd bij de referentieperiode van 50 jaar.

4.1.6.2 Belastingcombinaties

Bij de aan te houden belastingcombinaties wordt gekeken naar een nieuw gebouw dat initieel volgens Eurocode NEN-EN 1990 (gevolgklasse CC1) of volgens NEN 6702 (veiligheidsklasse 2) berekend is geweest met een referentieperiode van 50 jaar. Dit wordt vergeleken met een berekening volgens NEN 8700 (gevolgklasse CC1, niveau afkeur), waarbij een referentieperiode van 50 jaar wordt aangehouden.

NEN-EN 1990:

$$6.10a: \quad \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$6.10b: \quad \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Belasting	Symbool	CC1
Blijvende belasting, ongunstig (6.10a)	$\gamma_{Gj,sup}$	1,20
Blijvende belasting, ongunstig (6.10b)	$\xi_j \gamma_{Gj,inf}$	1,10
Veranderlijke belasting (6.10a&b)	$\gamma_{Q,1}$	1,35

Tabel 18, combinaties NEN-EN 1990

NEN6702:

$$(1): F_{\Sigma f:w,d} = \gamma_{f:g;u} \times G_{rep} + \gamma_{f;q;u} \times \psi_t \times Q_{1,rep} + \sum_{i \geq 2}^n \gamma_{f;q;u} \times \psi_i \times Q_{i,rep}$$

$$(2): F_{\Sigma f:w,d} = \gamma_{f:g;u} \times G_{rep}$$

Belasting	Symbol	VK2
blijvende belasting, ongunstig (1)	$\gamma_{f:g;u,sup}$	1,20
blijvende belasting, ongunstig (2)	$\gamma_{f:g;u,sup}$	1,35
veranderlijke belasting	$\gamma_{f;q;u}$	1,30

Tabel 19, combinaties 6702

NEN 8700:

$$6.10a: \sum_{j \geq 1} \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} \psi_{0,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

$$6.10b: \sum_{j \geq 1} \xi_j \gamma_{G,j} G_{k,j} + \gamma_P P + \gamma_{Q,1} Q_{k,1} + \sum_{i > 1} \gamma_{Q,i} \psi_{0,i} Q_{k,i}$$

Belasting	Symbol	CC1
Blijvende belasting, ongunstig (6.10a)	$\gamma_{G,j,sup}$	1,10
Blijvende belasting, ongunstig (6.10b)	$\xi_j \gamma_{G,j,inf}$	1,00
Wind maatgevende veranderlijke belasting (6.10a&b)	$\gamma_{Q,1}$	1,10
Anders dan wind overheersende veranderlijke belasting (6.10a&b)	$\gamma_{Q,1}$	1,05

Tabel 20, combinaties NEN 8700

4.2 Impact zonnepanelen op bestaand schuin dak

4.2.1 Uitgangspunten impact zonnepanelen op bestaand schuin dak

Om te bepalen wat de procentuele toename van de rekenwaarde van de belasting op het dak is met te plaatsen zonnepanelen in vergelijking met de rekenwaarde van de bestaande situatie, wordt een beschouwing gemaakt voor de hieronder benoemde situaties.

Parameter	Symbol	Variatie in parameterstudie	Opmerkingen
Gevolgklasse		▪ CC1	
Eigen gewicht bestaand dak	p_{eg}	▪ 0,65 kN/m ²	Uitgaande van regulier pannendak
Eigen gewicht zonnepanelen	p_{zp}	▪ 0,15 kN/m ²	
Nokhoogte woning		▪ < 7 m	
Windgebied	h_{aag}	▪ III	Deze is maatgevend voor procentuele toename
Terreincategorie	γ	▪ II	bebouwd
Stuwdruk	P_w	▪ 0,48 kN/m ²	
Dakhelling		▪ 30° ▪ 45°	Er worden twee, veel voorkomende, dakhellingen beschouwd, namelijk een dakhelling van 30° (waarvoor het belastinggeval sneeuw maatgevend is) en een dakhelling van 45° (waarvoor het belastinggeval wind maatgevend is).
Referentieperiode		▪ 50 jaar	

tabel 21, uitgangspunten vergelijkende studie

4.2.2 Belastingcombinaties zonnepanelen op bestaand schuin dak

4.2.2.1 Belastingcombinaties bestaand schuin dak zonder zonnepanelen

Met de belastingscombinaties zoals benoemd in paragraaf 3.1.6.2 wordt op basis van voornoemde uitgangspunten de rekenwaarden van de belastingen bepaald zonder zonnepanelen.

Zadeldak met dakhelling 30°

- Referentieperiode 50 jaar, NEN-EN-1990:
- $P_d = 1,2 * 0,75 = 0,9 \text{ kN/m}^2$
- $P_d = 1,1 * 0,75 + 1,35 * 0,56 = \underline{1,581 \text{ kN/m}^2}$

- Referentieperiode 50 jaar, NEN6702:
- $P_d = 1,35 * 0,75 = 1,013 \text{ kN/m}^2$
- $P_d = 1,2 * 0,75 + 1,3 * 0,56 = 1,628 \text{ kN/m}^2$

Zadeldak met dakhelling 45°

- Referentieperiode 50 jaar, NEN-EN-1990:
- $P_d = 1,2 * 0,919 = 1,103 \text{ kN/m}^2$
- $P_d = 1,1 * 0,919 + 1,35 * 0,305 = \underline{1,423 \text{ kN/m}^2}$

- Referentieperiode 50 jaar, NEN6702:
- $P_d = 1,35 * 0,919 = 1,24 \text{ kN/m}^2$
- $P_d = 1,2 * 0,919 + 1,3 * 0,305 = 1,499 \text{ kN/m}^2$

4.2.2.2 *Belastingcombinaties bestaand schuin dak met zonnepanelen*

Met de belastingscombinaties zoals benoemd in paragraaf 4.2.2 wordt op basis van voornoemde uitgangspunten de rekenwaarden van de belastingen bepaald met zonnepanelen.

Zadeldak met dakhelling 30°

- Referentieperiode 50 jaar, NEN 8700:
- $P_d = 1,10 * (0,75 + 0,173) = 1,015 \text{ kN/m}^2$
- $P_d = 1,00 * (0,75 + 0,173) + 1,05 * 0,56 = \underline{1,510 \text{ kN/m}^2}$

Zadeldak met dakhelling 45°

- Referentieperiode 50 jaar, NEN 8700:
- $P_d = 1,10 * (0,919 + 0,212) = 1,244 \text{ kN/m}^2$
- $P_d = 1,00 * (0,919 + 0,212) + 1,05 * 0,305 = \underline{1,451 \text{ kN/m}^2}$

4.2.3 *Conclusies impact zonnepanelen op bestaand schuin dak*

Zoals te zien is in Tabel 22 is de toename van de rekenwaarde van de belasting ten gevolge van het aanbrengen van zonnepanelen op een schuin dak maximaal 2% voor een dakhelling van 45° en -4,5% voor een dakhelling van 30°. De toename van rekenbelasting is zeer beperkt en zal in vele gevallen gecompenseerd worden door aanwezige reserves in de constructie.

Dakhelling	Referentieperiode	Rekenwaarde zonder zonnepanelen (nieuwbouw)	Rekenwaarde met zonnepanelen (afkeur)	verschil
30°	50 jaar	1,581 kN/m ²	1,510 kN/m ²	- 4,5 %
45°	50 jaar	1,423 kN/m ²	1,451 kN/m ²	+ 2,0 %

Tabel 22, vergelijking rekenwaarde van de belastingen

4.3 *Impact zonnepanelen op nieuw schuin dak*

Omdat de gewichtstoename van het plaatsen van zonnepanelen op een hellend dak zeer beperkt is, levert dit voor nieuwbouw geen noemenswaardige meerkosten op.

5 Samenvatting/conclusies

5.1 *Belasting door zonnepanelen*

De belastingtoename door het plaatsen van zonnepanelen is afhankelijk van vele factoren. De belangrijkste worden hieronder genoemd.

Platte daken

- De benodigde ballast voor onverankerde systemen geeft de grootste belastingtoename. Deze toename is met name afhankelijk van het gekozen systeem (noord/zuid of oost/west) en de locatie in Nederland (nabij de kust of in bebouwd gebied in het binnenland).
- Verder dient opgemerkt te worden dat uit experimenten is gebleken dat de berekende theoretische waarden van de benodigde ballast conservatief zijn. De NEN 7250 laat de weg open om deze waarden te bepalen op basis van experimenteel onderzoek. Uiteraard dient dat door de leverancier onderbouwd te worden. Dit levert vaak lagere dan eerder genoemde waarden op.
- De verhoogde windbelasting levert slechts een beperkte bijdrage aan de toename in bouwkosten op.
- De sneeuwbelasting valt hoger uit, met name bij noord/zuid georiënteerde zonnepanelen.

Schuine daken

- Bij schuine daken is de toename van belasting zeer beperkt. Enkel de permanente belasting neemt toe door het gewicht van de zonnepanelen. Door de verankering aan de onderconstructie is geen ballast noodzakelijk.

5.2 *Impact zonnepanelen bij bestaande bouw*

Om een indruk te verkrijgen van de impact van de toepassing van zonnepanelen op een bestaand dak, is gekeken naar de relatieve belastingtoename, uitgedrukt in de verhouding tussen de rekenwaarde van een dak met zonnepanelen ten opzichte van het dak zonder de panelen.

Zodra de verhouding groter dan 1 à 1,05 is wordt de aangehouden veiligheid verminderd, hetgeen niet toegestaan is.

Geconcludeerd kan worden dat bij lichte daken de rekenwaarden van de belastingen mét zonnepanelen op niveau afkeur in bijna alle gevallen toenemen ten opzichte van niveau nieuwbouw zonder zonnepanelen.

Platte daken

- Bij een licht dak varieert de gemiddelde toename van 1,02 tot 1,52;
- Bij een zwaar dak varieert de gemiddelde toename van 0,94 tot 1,07;
- Zonder een gedetailleerde constructieve beoordeling van de capaciteit van de bestaande constructie, is niet op voorhand te zeggen dat de constructie van een bestaand plat dak voldoende reserve heeft om een belastingtoename door zonnepanelen op te kunnen nemen;
- Vanwege de grote variëteit in constructies en de noodzaak en mogelijkheden van versterkingen en alternatieve opstellingen etc., is in deze studie niet gekeken naar de impact van de kosten van het plaatsen van zonnepanelen op bestaande bouw.

Schuine daken

- Voor schuine daken van woningen geldt dat de relatieve belastingtoename beperkt blijft tot ~2%. De toename van belasting is daarmee beperkt en zal in vele gevallen gecompenseerd worden door aanwezige reserves in de constructie.

5.3 *Kostenimpact zonnepanelen bij nieuwbouw*

Indien in het ontwerp van een nieuw te bouwen object rekening wordt gehouden met de (latere) plaatsing van zonnepanelen, dan is de impact op de bouwkosten in het algemeen zeer beperkt. Voor meerlaagse bouw of woningen met schuine daken is de impact zelfs te verwaarlozen.

Platte daken

- Voor eenlaagse bouw is de toename in bouwkosten met name afhankelijk van:
 - o De toegepaste constructie (licht-bijvoorbeeld staal, of zwaar-bijvoorbeeld beton);
 - o De opstelling van de zonnepanelen (oost/west of noord/zuid oriëntatie);
 - o De locatie van het gebouw (windgebied en terreincategorie).
- De toename in bouwkosten voor éénlaagse eenvoudige gebouwen zal gemiddeld €10,-/m² tot €25,-/m² bedragen. Dit komt overeen met een toename van 1% tot 2% van de bouwkosten.
- Eenlaagse gebouwen met zware daken hebben vaak een hogere afwerkingsgraad dan de lichte stalen industriehallen, waardoor de initiële bouwkosten hoger uitvallen. Dan zullen de meerkosten voor het voorbereiden op zonnepanelen zich beperken tot ~0,5% van de bouwkosten.
- Als direct een keuze voor een systeem wordt gemaakt kan de constructie daarop geoptimaliseerd worden. Als enkel een belastings-reservering voor alle mogelijke zonnepaneel-systemen wordt genomen, dan moet een veilige marge worden genomen. Dan zal de prijs wat hoger uitvallen.

Schuine daken

- De impact op de bouwkosten van het toevoegen van zonnepanelen op schuine daken is zeer beperkt.

Concept