Rijksvastgoedbedrijf
*Ministerie van Binnenlandse Zaken en Koninkrijksrelaties*

# Sjabloon constructieve onderbouwing PV-systeem project ZoD.....

| | |
|---|---|
| Projectnummer RVB | Xxxxx |
| Objectcode | xxxxx |
| Gebouwnummer | xxxxx |
| | |
| Projectnummer Adviseur | xxxxx |
| Rapportnummer | xxxxx |
| Versie document | x.x |
| Type pv-systeem | wel/niet geballast systeem met/zonder windtunnelonderzoek |
| | |
| Datum | 17 januari 2024 |
| Status | 1e opzet |

## Versiebeheer

| Versie: | Omschrijving: | Datum: |
|---|---|---|
| 1.0 | Definitief | 7-12-2023 |
| 2.0 | Definitief | 08-02-2024 |

# Colofon

Contactpersonen

Rijksvastgoedbedrijf
Directie Vastgoedbeheer
Technische Expertise
St. Jacobstraat 16
Postbus 16169
2500 BD  Den Haag

Bijlage(n) 7

Auteurs sjabloon: Ing. J.M. (Jeroen) van der Worp RC

Geautoriseerd: Ing. M.A. (Marc) Perin

# Inhoud

**1 Inleiding ..... 4**

*1.1 Projectomschrijving ..... 4*

*1.2 Taakbeschrijving ..... 5*

*1.3 Doel ..... 5*

**2 Aantoonbaarheid pv-systeem en bestaande (dak)constructie .... 6**

*2.1 Stap 1 - Uitgangspunten ..... 6*
2.1.1 Toegepaste normen en eisen ..... 6
2.1.2 Grondslagen voor het ontwerp ..... 6
2.1.3 Materiaaleigenschappen ..... 7
2.1.4 Sneeuwbelastingen ..... 7
2.1.5 Windbelastingen ..... 7
2.1.6 Thermische belastingen ..... 8
2.1.7 Omgevingsfactoren, gebouwgeometrie ..... 8
2.1.8 Beperking van (gevolgschade bij) brand ..... 8
2.1.9 Dakzones ..... 8
2.1.10 Opbouw pv-systeem ..... 8
2.1.11 Dakopbouw - **Bestaande situatie** ..... 8
2.1.12 Dakopbouw - **Nieuwe situatie** ..... 8
2.1.13 Overzichtstekening pv-systeem geprojecteerd op het dak ..... 8

*2.2 Stap 2 - Systeemberekening ..... 9*
2.2.1 Frame ..... 9

*2.3 Stap 3 – Productberekening ..... 10*
2.3.1 Algemeen ..... 10
2.3.2 Verankeringen ..... 10
2.3.3 Beproevingen op maat gemaakte onderdelen ..... 11
2.3.4 Pv-paneel ..... 11
2.3.5 Achter- en zijpanelen ..... 11

*2.4 Stap 4 – Controle gebouwconstructie ..... 12*

*2.5 Stap 5 - Toets op ontwerp en uitvoering ..... 14*

**3 Bijlagen ..... 15**

*3.1 Tekeningen en specificaties pv-systeem (Stap 2) ..... 15*
3.1.1 Frame ..... 15

*3.2 Testresultaten windtunnelonderzoek (stap 2) ..... 15*

*3.3 Tekeningen en productberekeningen (stap 3) ..... 15*
3.3.1 Pv-paneel ..... 15
3.3.2 Verankeringen c.q. ballastering ..... 15

*3.4 Beproevingsresultaten (stap 3) ..... 15*

*3.5 Tekeningen bouwaanvraag, uitvoering en revisie (stap 2 t/m 5) .... 16*

*3.6 Archiefstukken bestaande constructie (stap 4) ..... 15*

*3.7 Inspectieresultaten (stap 5) ..... 15*

# 1 Inleiding

## 1.1 Projectomschrijving

Het project 'Zon op Dak', verder te noemen als ZoD is een complex vraagstuk.

Naast toetsing van de bestaande dakconstructie zal men dienen aan te tonen dat het gehele pv-systeem voldoet aan de eisen die vanuit het bouwbesluit én het Rijksvastgoedbedrijf, nader te benoemen als RVB, daaraan worden gesteld.

De verschillende onderdelen dienen afzonderlijk volgens het 5 stappenplan worden uitgewerkt. De basiseisen voor deze uitwerking zijn beschreven in de RVB richtlijn veiligheid PV systemen op daken en de rekenstappen in bijlage B.

De volgende onderdelen dienen gecontroleerd te worden.

- ✓ pv-paneel
- ✓ frame (incl. alle bevestigingen en verankeringen)
- ✓ verankering aan onderconstructie (indien aanwezig)
- ✓ ballastberekening (indien aanwezig)
- ✓ bestaande dakconstructie

We kunnen het project in 2 onderdelen uitsplitsen, namelijk de volgende:

- ✓ het pv-systeemdeel
- ✓ het gebouwdeel

In dit document is onlosmakelijk verbonden aan "de richtlijn pv-systemen op daken", waarbij in **groen** verwijzigingen naar dit document zijn aangegeven

In dit hoofdstuk wordt een uitgebreide omschrijving c.q. toelichting gegeven van het project.

## 1.2 Taakbeschrijving

Alle berekeningen hebben dezelfde structuur/opbouw zoals in dit sjabloon weergegeven. De berekeningen omvatten dezelfde inhoud, waarbij de hoofdstukken en paragrafen ten alle tijden overeen komen met het sjabloon om de berekening snel, eenvoudig en eenduidig controleerbaar te houden.

Voor alle pv-systemen op daken van projecten/gebouwen van het RVB is de RVB richtlijn ´Veiligheid pv-systemen op daken" en bijbehorend bovenstaande vijf-stappenplan van toepassing. Het RVB hanteert voor de uitvoering van dit stappenplan in samenwerking met de markt het volgende proces:

Stap 1 wordt uitgevoerd door een coördinerend constructeur, in afstemming met de opdrachtnemer en de producent van het montagesysteem. Deze coördinerend constructeur is gelieerd aan de opdrachtnemer.

Stappen 2 en 3 worden uitgevoerd door de producent van het montagesysteem en gecoördineerd door de constructeur van de opdrachtnemer. De coördinerend constructeur legt samen met de producent van het montagesysteem de uitgangspunten in dit rapport vast.

Stap 4 wordt uitgevoerd door de coördinerend constructeur. De constructeur dient daarbij de stappen 1 tot en met 3 te onderschrijven en als basis voor de berekeningen in deze stap te gebruiken.

Stap 5 wordt uitgevoerd door een onafhankelijke, RC-gekwalificeerde, coördinerend constructeur.

## 1.3 Doel

Om de constructieve veiligheid van pv-systemen aantoonbaar, controleerbaar en navolgbaar te kunnen vastleggen, is dit sjabloon (op basis van het 5-stappenplan) opgesteld waaraan de onderbouwing van het pv-montagesysteem en de gebouwconstructie minimaal dient voldoen.

Dit met als doel de constructieve veiligheid te borgen.

Doel van het opzetten van het sjabloon:

- ✓ <u>Snelheid</u>
  - Rapporten zijn allemaal hetzelfde opgebouwd waardoor alle onderdelen zijn benoemd, dit versnel controle.
- ✓ <u>Eenduidigheid</u>
  - Doordat alle rapporten op dezelfde wijze zijn opgebouwd geeft ons dit in de beheerfase veel duidelijkheid.
  - Er worden aan alle partijen gelijke eisen gesteld. Dit vergroot transparantie en alle leveranciers worden op dezelfde wijze beoordeeld.
- ✓ <u>Traceerbaarheid</u>
  - Alle constructieve stukken zijn gebundeld, waardoor het eenvoudig is zaken terug te vinden.
- ✓ <u>Navolgbaarheid, aantoonbaarheid en controleerbaarheid</u>
  - Het sjabloon vergroot de navolgbaarheid, aantoonbaarheid en controleerbaarheid.

# 2 Aantoonbaarheid pv-systeem en bestaande (dak)constructie

## 2.1 Stap 1 - Uitgangspunten

### *2.1.1 Toegepaste normen en eisen*

Omschrijving van de toegepaste geldende normen, aangevuld met o.a.:

- CUR-Aanbeveling 103:2005; Windtunnelonderzoek
- PIB- bladen 33.00.30-02 RVB; Algemeen; Constructieberekeningen & uitvoeringstekening – Veilig werken op Hoogte (VWoH)
- NEN7250; Zonne-energiesystemen – Integratie in daken en gevels – Bouwkundige aspecten.
- Richtlijn RVB - Veiligheid pv-systemen op daken
- VSE volgens ROK en nagekomen ROK (NOK).
- Wrijvingscoëfficiënt pv-systeem/dakbedekking: rapport TNO 2002-BS-R0195.
- Bij gebruik van praktijktesten en testresultaten hanteer: NEN-EN1990 bijlage D.
- **Zie Bijlage B.1.**

### *2.1.2 **Grondslagen voor het ontwerp***

| Onderdeel | Waarde | eenheid |
|---|---|---|
| Gevolgklasse gebouw | CC1 / CC2 / CC3 | |
| Gevolgklasse pv-systeem | **Zie art. 5.1.d.**<br><br>Note: Bij specifieke objecten kan met kiezen om de omgevingsveiligheid (bij afwaaien) mee te nemen, waarbij niet alleen gekeken wordt veiligheid binnen het gebouw bij instorting van het dak. (Een PV systeem op een CC1 gebouw kan als CC2 of misschien zelfs CC3 worden gekwalificeerd als dit in druk bezocht publiek gebied staat). Dit dient bij elk object in overleg met het RVB worden vastgesteld. | |
| Ontwerplevensduur bestaand gebouw | Xx, **Zie art. 5.2.b** | jaar |
| Restlevensduur gebouw | **Zie art. 5.2.d** | jaar |
| Restlevensduur pv-systeem (incl. verankering) | **Zie art. 5.1.e** en min. gelijk aan restlevensduur gebouw | jaar |
| Gebouwcategorie | Bijv. kantoor / industrieel / enz. | |
| Gebruiksfunctie | Daken | |
| Windgebied | 1, 2, 3 | |
| Gebouwafmetingen (lxbxh) | ..x..x.. | m¹ |
| Terreinorografie | Bebouwd / onbebouwd / kust<br>**Zie art. 5.1.c.**<br>Note: bij windgebied "kust" is een geballast systeem NIET toegestaan.<br>**Alle objecten in Den Helder vallen onder "kust".** | |

| | | |
|---|---|---|
| Niveau bestaande bouw? | Zie art. 5.2.c. (afdalen naar afkeurniveau is **NIET** toegestaan). | |
| Obstakels op dak aanwezig? | Ja / nee, benoemen en vastleggen. | |
| Dakhelling? | Xx, Zie art. 5.1.2.a | graden |
| Montagewijze | 1 t/m 5 (uit NEN7250) | |
| Belastingsfactoren gebouw | Met gebruik van NEN8700. $\gamma_g$ en $\gamma_q$ | |
| Belastingsfactoren op pv-systeem | Zonder gebruik van NEN8700. $\gamma_g$ en $\gamma_q$ | |
| Leverancier pv-systeem | ? | |
| Type pv-systeem | Wel/niet geballast | |

### 2.1.3 *Materiaaleigenschappen*

Leg hier alle relevante materiaaleigenschappen vast.

| **Onderdeel** | **Materiaal** | **Kwaliteit** | **Toelichting** |
|---|---|---|---|
| Pv-paneel | ? | ? | |
| Frame | Staal / aluminium | ? | Evt. legeringen benoemen |
| Zij- en achterpaneel | Staal / aluminium | ? | Evt. legeringen benoemen |
| Verankering | Lassen | ? | |
| | Bouten | ? | |
| Bestaande dakconstructie | Hout / beton / staalplaat | ? | Indien de kwaliteit van de materialen onbekend zijn of als er twijfels over de kwaliteit van het materiaal aanwezig zijn, dient het materiaal proefondervindelijk onderzocht te worden. |
| Wapening bestaande dakconstructie | Betonstaal | FeB…? | |
| Dakbedekking | Bitumen / EPDM / kunstsof | ? | I.v.m. wrijving tussen systeem en dak bij geballast systemen en de beoogde vervormingen van de dakafwerking. |
| Enz. | - | - | - |

### 2.1.4 *Sneeuwbelastingen*

Zie art. 5.2.a en leg de sneeuwbelastingen vast, geef hiervan een overzicht.
Houdt rekening met sneeuwophopingen rondom obstakels op het dak.

### 2.1.5 *Windbelastingen*

Zie art. 5.2.a en leg de windbelastingen vast, geef hiervan een overzicht.
Indien men gebruikt maakt van windtunnelonderzoek zoek, zie art. 5.1.g, 5.1.i.

*2.1.6* *Thermische belastingen*
Leg de thermische belastingen vast, geef hiervan een overzicht. Geef hiervan de invloed op de berekeningen en beoordeel de gevolge daarvan voor de verbindingen.

*2.1.7* *Omgevingsfactoren, gebouwgeometrie*
Zijn er specifieke omgevings- en gebouwfactoren die afwijken van de omstandigheden waarin windtunneltesten zijn uitgevoerd? Leg dit specifiek vast en bepaal de invloed op de constructieve berekeningen.

Bedoeld wordt:
1. omschreven in de NEN-EN1991 en NEN 7250 normen en/of
2. Randvoorwaarden van het eigen windtunnelonderzoek.

*2.1.8* *Beperking van (gevolgschade bij) brand*
Geef hier aan wat er vanuit constructief oogpunt wordt gedaan om brand te voorkomen c.q. de gevolgschade van brand te minimaliseren. **Zie ook: "Veiligheid pv-systemen op daken" specialisme "brandveiligheid".**

*2.1.9* *Dakzones*
Overzicht met dak- en paneelveldzones weergeven, **zie art. 5.1.1.d**. Rekening houdend met de eisen gesteld in NEN7250 en het vrijhouden van een zone bepaald in rapport "VWoH" in de volgende gevallen:
1. NEN7250 (bij gebruik drukfactoren conform NEN7250) of
2. Dakzones volgend uit windtunnelonderzoek en/of NEN1991-1-4.

*2.1.10* *Opbouw pv-systeem*
Geef hier de opbouw aan van het gehele pv-systeem (pv-paneel, klemmen, frame, ed.), inclusief de gewichten per m².

*2.1.11* *Dakopbouw - **Bestaande situatie***
Geef hier de dakopbouw aan van het bestaande dakpakket inclusief de gewichten per m² e.e.a. op basis van het archiefonderzoek te verifiëren met een visuele inspectie.

*2.1.12* *Dakopbouw - **Nieuwe situatie***
Geef hier de opbouw aan van het nieuwe dakpakket inclusief de gewichten per m².

*2.1.13* *Overzichtstekening pv-systeem geprojecteerd op het dak*
Geef hier een overzichtstekening van het totale pv-systeem, inclusief VWoH voorzieningen, obstakels, etc. op het dak.

## 2.2 Stap 2 - Systeemberekening

Door middel van berekeningen wordt aangetoond dat het systeem de onder stap 1 vastgestelde belastingen en uitgangspunten kan weerstaan.

Voor verdere eisen aan de systeemberekening, **Zie Bijlage B.2**.

### *2.2.1 Frame*

Door middel van berekeningen wordt aangetoond dat het systeem de onder stap 1 vastgestelde belastingen en uitgangspunten kan weerstaan.

Voor verdere eisen aan de systeemberekening, **Zie Bijlage B.2**.

## 2.3 Stap 3 – Productberekening

Door middel van berekeningen (eventueel met testresultaten) is aangetoond dat alle elementen (inclusief die van het frame) en verbindingen van en aan het montagesysteem de onder stap 1 en 2 vastgestelde krachten kunnen weerstaan.

Voor verdere eisen aan de productberekening, **Zie Bijlage B.3**.

### *2.3.1 Algemeen*

Algemene toelichting op het systeem.

2.3.1.1 Overzichtstekening ballast- c.q. verankeringsplan

Geef hier een overzichtstekening het ballast c.q. verankeringsplan op het dak.

Van de berekende constructie zijn alle elementen en verbindingen duidelijk vastgelegd op overzichts- en detailtekeningen.

2.3.1.2 Overzichtstekening representatieve waarde op het dak

Geef hier een overzichtstekening van alle representatieve reacties (G+Q) op het dak.

### *2.3.2 Verbindingen in het systeem*

Van de berekende constructie zijn alle verbindingen (ook de klemmen waarmee de panelen worden vastgezet) berekend en duidelijk vastgelegd op overzichts- en detailtekeningen. Op tekening zijn de detailleringen van de verbindingen volledig uitgewerkt. Leg de verankering aan de onderconstructie vast.

In hoofdlijnen zijn er 2 opties mogelijk:

- ✓ mechanisch bevestigd (controle horizontale en verticale krachten op ankers)
- ✓ ballast (controle glijden, “rupsen”, kantelen en opwaaien)

*2.3.3 Beproevingen op maat gemaakte onderdelen*

Het minimum aantal (trek)proeven dient zijn 5, bij een normale verdeling van proefresultaten (dus geen grote uitschieters/ deviatie). Zie ook NEN-EN 1990 bijlage D voor rekenregels.

Meer proeven is (nog) beter, omdat dit meer betrouwbare resultaten oplevert en met een lagere fractiel-factor gerekend mag worden. Dit resulteert in een economischere resultaten.

Worden er aanvullende proeven uitgevoerd? Dan voorafgaand aan de uitvoering van de proeven de rapportage van het proefprogramma bij de coördinerend constructeur ter controle aanbieden. De proeven zijn opgesteld volgens de regels die zijn vastgelegd in NEN-EN 1990 bijlage D.4 – Planning van proeven.

*2.3.4 Pv-paneel*

Proefbelasting van het pv-paneel zelf. Kan deze de windbelasting, hagelbelasting en de impactbelasting (vallend persoon) weerstaan. De hagel- en impactbelasting bepalen aan de hand van ICE 61215:2016.

*2.3.5 Achter- en zijpanelen*

De dient te worden aangetoond dat eventuele (verbinding van) achter- en zijpanelen de optreden belastingen kan opnemen.

## 2.4 Stap 4 – Verankering aan het gebouw en/of ballastberekeningen

In dit hoofdstuk worden er berekeningen van verankeringsmiddelen van en aan de gebouwconstructie berekend.

Indien de montageconstructie los opgelegd wordt een volledig inzichtelijke berekening van de benodigde ballast.

Voor verdere eisen aan van de verankering aan het gebouw en/of ballastberekening, **Zie Bijlage B.4**.

## 2.5 Stap 5 – Controle gebouwconstructie

Door middel van berekeningen wordt herleidbaar aangetoond dat de gebouwconstructie waarop het montagesysteem met pv-panelen wordt aangebracht de extra belasting hieruit kan dragen.

Voor verdere eisen aan de controle gebouwconstructies, **Zie Bijlage B.5**.

### *2.5.1 Stap 5a - Toets op ontwerp en uitvoering*

De in “stappen 1 t/m 5” gemaakte documenten worden op uitgangspunten en inhoud getoetst op juistheid, compleetheid en navolgbaarheid door (de coördinerend constructeur van) de opdrachtnemer. Eventuele wijzigingen worden verwerkt in revisiestukken, zoals berekeningen en tekeningen.

Bij mechanisch bevestigde systemen én bij geballaste systemen vindt inspectie op en tijdens de uitvoering plaats, in aanvulling op de CIOS Scope 12 inspectie. De toets- en inspectieresultaten worden vastgelegd in een rapportage en als aanvulling op dit rapport als bijlage toegevoegd.

Er worden revisietekeningen (en berekeningen) gemaakt indien er blijkt dat de constructies anders zijn uitgevoerd dan in deze rapportage is berekend.

Voor opgave alle opleverdocumenten “constructief”, zie **bijlage B.6**.

# 3 Bijlagen sjabloon

## 3.1 Systeemberekeningen (Stap 2)

*3.1.1 Frame*

*3.1.2 Testresultaten windtunnelonderzoek*

- ✓ Het effectief belaste oppervlak ($A_{ref}$) van gekoppelde elementen dient te zijn bepaald volgens de eisen van bijlage D.5 van NEN7250:2021. Het testrapport, aantoonbaar gevalideerd door een daartoe geaccrediteerd windtechnologiebedrijf dat de windtunneltests heeft uitgevoerd voor het pv-systeem, dient ter acceptatie te worden ingediend bij het Rijksvastgoedbedrijf.
- ✓ CFD-modellering is niet toegestaan als primaire onderbouwing voor het windontwerp.
- ✓ Windtunnelonderzoek baseren op: CUR-Aanbeveling 103.

*3.1.3 Verbindingen binnen het systeem*

## 3.2 Productberekeningen (en tekeningen) (stap 3)

*3.2.1 Pv-paneel*

*3.2.2 Verankeringen c.q. ballastering*

*3.2.3 Beproevingsresultaten (stap 3)*

## 3.3 Verankeringsberekeningen aan het gebouw (stap 4)

## 3.4 Controle gebouwconstructie (stap 5)

*3.4.1 Beproevingsresulatataten van geteste materialen*

## 3.5 Archiefstukken bestaande constructie (stap 5)

## 3.6 Inspectieresultaten (stap 5a)

Als wijziging aan te vullen NA uitvoering. Bevat alle resultaten van de visuele inspectie (as-built situatie) van opbouw dakpakket en constructie inclusief onderslagbalken, wandopleggingen etc.

## 3.7 Tekeningen bouwaanvraag, uitvoering en revisie (stappen 1 t/m 5a)

De volgende minimale eisen aan tekeningen worden aan tekenwerk gesteld.

- ✓ Vastleggen alle uitgangspunten in de rapportage.
- ✓ De tekeningen voor bouwaanvraag en uitvoering dient voorzien te zijn van een stempel met hierin:
  - objectcode RVB
  - gebouwnummer RVB
  - projectnaam
  - projectadres
  - projectnummer RVB
  - projectnummer opdrachtnemer
  - tekeningnummer
  - schaal
  - formaat
  - datum
  - wijzigingcodering
  - naam en adres opsteller tekening en aannemer
- ✓ Tekeningen met resultaten belastingen:
  - per oplegpunt
  - reactiekrachten
  - representatieve waarden per belastingsgeval
- ✓ Tekeningen (nieuwe en bestaande) dakopbouw:
  - materialen
  - afmetingen
  - beschrijving / schematisering hoofddraagconstructie
- ✓ Tekeningen met bevestigingdetails:
  - extra voorzieningen
  - materialen
  - kwaliteiten
  - afmetingen
  - h.o.h. afstanden
  - inboor en/of inlijmdiepte
  - type ankers