

Meting- en beproevingschecklist Photovoltaïsche-installaties (pv)

Dit formulier is bedoeld als leidraad bij het inspecteren van een pv-installatie. Op deze inspectielijst zijn controle-items vermeld om de kwaliteit te beoordelen van het pv-systeem. Deze items richten zich op de visuele inspectie, metingen en beproevingen van de elektrische installatie en de bouwkundige aspecten. Op de inspectielijst kan per item een oordeel worden gegeven en kan een melding worden gemaakt van een eventueel gebrek. Algemene opmerkingen kunnen worden beschreven aan het eind van de checklist.

Dossiernr.

Datum (dd-mm-jjjj) - -

Bouwjaar pv-installatie

Contactgegevens

Opdrachtgever

Adres

Plaats Postcode

Telefoon Fax

E-mail

Contactpersoon

Beschrijving locatie pv-systeem

Indien de pv-installatie zich op een andere locatie bevindt dan hier het adres van de eigenaar invullen:

Adres locatie

Plaats Postcode

Naam installateur

Bedrijf

SEI-registratienr. Z

Adres

Plaats Postcode

Telefoon Fax

E-mail

Contactpersoon

1. Installatiegegevens

Pv-modules

1.1 Soort module (mono, multi, amorf, CIGS...)

1.2 Merk en type

1.3 Aantal modules

1.4 Aantal strings

1.5 Aantal panelen per string

1.7 P_{mpp} (vermogen, maximal power point) [W]

1.8 P_{mpp} tolerantie op STC (Standard Test Conditions) [W]

1.9 U_{OC} (spanning, open connector)

1.10 I_{Sc} STC (stroom, short current) [A]

1.11 U_{mpp} STC (spanning, maximaal power point) [V]

Meting- en beproevingschecklist Photovoltaïsche-installaties (pv)

Omvormer

1.12 Merk en type

1.13 Aantal omvormers

1.15 Overige opmerkingen

2. Visuele inspectie

In de NTA 8013, bijlage A, staat een voorbeeld van een opleveringsrapport waarop de visuele inspectie is uitgewerkt. Deze aspecten zijn verwerkt in onderstaande lijst. Als uit de visuele controle geen gebreken naar voren komen, kunnen metingen worden verricht. Ook kan het tijdens de bouwinspectie nodig zijn metingen te verrichten omdat deze in een later stadium niet of moeilijk uitvoerbaar zijn.

2.1 Zijn alle documenten aanwezig?

- + Installatieschema en tekening. ja nee
- + Geografische tekening. ja nee
- + Werk-/legplan. ja nee
- + Opleverchecklist. ja nee
- + Technische gegevens van de componenten. ja nee
- + Gebruikers- en onderhoudsinstructie van het pv-paneel en de omvormer. ja nee

Opmerkingen:

2.2 Zijn de pv-panelen en draagconstructie in orde?

- + Correcte mechanische bevestiging draagsysteem op het dak. ja nee
- + Correcte bevestiging pv-panelen op draagconstructie. ja nee
- + Montagebeugels geven geen schaduw op de pv-cellen. ja nee
- + De toegepaste materialen zijn overeenkomstig het ontwerp. Het paneel voldoet aan NEN-EN-IEC61439. ja nee
- + Pv-panelen zijn onbeschadigd. ja nee
- + De juiste kabels (inclusief eventuele vereffeningsleiding) zijn deugdelijk aangelegd. ja nee
- + Connectoren zijn mechanisch en elektrisch correct aangelegd. ja nee
- + Vereffeningsleidingen lopen in de bundel kabels. ja nee

Toelichting: De vereffeningsleiding moet hetzelfde traject lopen als de overige kabels om schade als gevolg van inductie in een lus te voorkomen.

- + Invoer van kabels van buiten naar binnen is mechanisch (afdichting) en elektrisch (beschermd tegen beschadiging) in orde. ja nee

Opmerkingen:

2.3 Koppelkast in orde?

- + De koppelkast is toegankelijk opgesteld en er is voldoende ruimte voor inspectie en onderhoud. ja nee
- + Alle strings zijn gecodeerd overeenkomstig het installatieschema. ja nee
- + Alle elektrische verbindingen in een eventuele koppelkast zijn deugdelijk uitgevoerd zodat het risico op kort- en aardsluiting en te hoge temperatuur door een verhoogde overgangswaarde wordt voorkomen. ja nee
- + Eventuele zekeringen in elke streng zijn aanwezig en van het juiste type volgens het installatieschema. ja nee
- + Eventuele overspanningsbeveiligingen zijn van het juiste type en aangebracht volgens het ontwerp en verbonden met de aardingsinstallatie/blikseminstallatie. n.v.t. ja nee
- + Eventuele sperdioden zijn volgens het ontwerp aangebracht en in serie geschakeld met de streng en bestand tegen 2x de Uoc STC. n.v.t. ja nee

Meting- en beproevingschecklist Photovoltaïsche-installaties (pv)

- + Nabij de koppelkast is eventueel een aardrail geplaatst. Hierop zijn alle vereffeningssleidingen (komende van buiten) en de leidingen van eventuele overspanningsbeveiligingen aangesloten volgens het ontwerp. n.v.t. ja nee

2.4 Zijn de markeringen aanwezig? ja nee

Toelichting: Alle DC-aansluit- en koppelkasten moeten zijn voorzien van een waarschuwingssymbool (gevaarlijke spanning). Ook na uitschakelen van het systeem blijft er een gevaarlijke spanning op de DC-installatie staan.

2.5 Is de lastscheider in het DC-circuit aanwezig en functioneert deze correct? ja nee

Toelichting: Tussen het DC-gedeelte en de omvormer moet een lastscheider aanwezig zijn om de omvormer spanningsloos te kunnen vervangen of voor onderhoud. Hiervan moet de juiste werking worden vastgesteld.

2.6 Is de omvormer veilig geïnstalleerd?

- + De DC/AC-omvormer of het paneel waarin deze is opgenomen (NEN-EN-IEC 61439) is toegankelijk opgesteld en er is voldoende ruimte voor inspectie en onderhoud. ja nee

- + De beschermingsgraad van de omvormer (IP-klasse) is voldoende hoog in relatie tot de omgevingsinvloeden. ja nee

- + De ondergrond en ophanging zijn deugdelijk en volgens de voorschriften van de fabrikant. ja nee

- + Elektrische verbindingen aan de AC- en DC-zijde zijn deugdelijk uitgevoerd waarbij het risico op kort-en aardsluiting en te hoge temperatuur door een verhoogde overgangsweerstand wordt voorkomen. ja nee

- + Afhankelijk van het type omvormer is een passende aardlekschakelaar opgenomen in de AC-zijde tussen de omvormer en het elektriciteitsnet (NEN 1010, 712.411.1.2). ja nee

- + De omvormer met een omhulling van klasse I moet zijn aangesloten op een beschermingsleiding en zijn verbonden met de eventuele aardrail. Is dit gebeurd? n.v.t. ja nee

2.7 Is de lastscheider in AC-circuit aanwezig en functioneert deze correct? ja nee

Toelichting: Tussen het elektriciteitsnet en de omvormer moet een lastscheider aanwezig zijn om de omvormer spanningsloos te kunnen vervangen en te onderhouden. Hiervan moet de juiste werking worden vastgesteld. Let op: dit kan ook de aardlekschakelaar (vermeld bij omvormer) of een installatie-automaat in een eindgroep zijn.

2.8 Zijn de kabels correct en veilig aangelegd?

- + Alle DC-kabels zijn bestand tegen de hoogst voorkomende DC-spanning (dat kan hoogspanning zijn) en de hoogst voorkomende stroom. ja nee

- + De plus- en min-kabel (en eventuele beschermingsleiding) moeten zo dicht mogelijk bij elkaar liggen. Is dit zo geïnstalleerd? ja nee

- + De geleiders in zowel de AC- als DC-kabels zijn overeenkomstig het ontwerp en hebben een doorsnede die voldoende groot is. ja nee

- + Draden en kabels zijn mechanisch en tegen uv-licht beschermd en deugdelijk aangelegd. ja nee

3. Meting en beproeving

Er is tot dusver geen norm die het gehele inspectieproces van pv-systemen beschrijft. De metingen die in de normen staan, hebben allen een verschillend doel. Er wordt in deze checklist onderscheid gemaakt tussen metingen om:

- + fouten op te sporen in pv-panelen;
- + prestaties van het pv-systeem te beoordelen;
- + de veiligheid van het pv-systeem te beoordelen.

Fouten opsporen

3.1 Lastscheiden en andere apparatuur moet worden getest om een juiste werking te garanderen.

Werking, montage en aansluitingen zijn correct? In orde

3.2 De open klemspanning van een paneel zonder belasting, Uoc (V): In orde Waarde:

Toelichting: Gebruik hiervoor geschikte meetapparatuur; niet door middel van connectoren kort te sluiten.

3.3 De maximale stroom bij een kortsluiting, Isc (A): In orde Waarde:

Toelichting: Meet de Uoc van de verschillende panelen/strings. De spanningswaarde moet conform de specificatie van de fabrikant zijn en er mogen geen afwijkingen tussen de verschillende panelen/strings zijn.

Meting- en beproevingschecklist Photovoltaïsche-installaties (pv)

4. Conclusie en aanbevelingen

4.1 Pv-systeem functioneert naar behoren

ja nee

4.2 Afwijking(en) geconstateerd (zie 5.6 opmerkingen en aanbevelingen)

ja nee

4.3 Pv-systeem is geïnstalleerd volgens de geldende normen

ja nee

4.4 Paraaf inspecteur:

4.5 Datum (dd-mm-jjjj) - -

4.6 Opmerkingen en aanbevelingen:

4.7 Advies voor onderhoud- en inspectiefrequentie

Toelichting inspectiechecklist

Ook een pv-installatie moet – net als elke andere elektrische installatie – een veilige installatie zijn. In de regeling Bouwbesluit, artikel 5.1, staat welke gedeelten van NEN 1010 niet van toepassing zijn. De overige delen, waaronder die van pv-installaties, zijn daardoor wel van toepassing. In NEN 1010, bepaling 712, zijn de eisen beschreven die worden gesteld aan pv-voedingssystemen.

Voor pv-panelen op daken van bedrijven is een tweede grondslag: Arbobesluit 3.4. Hierin staat dat elektrische installaties zodanig moeten zijn ontworpen, ingericht, aangelegd, onderhouden en gekenmerkt, dat een veilig gebruik van elektriciteit zo goed mogelijk is gewaarborgd. Er zijn doeltreffende maatregelen genomen tegen het gevaar van brand, ontploffing, directe en indirecte aanraking.

Uiteraard moeten fabrikanten van pv-componenten (paneel, omvormer, connectoren enzovoort) ook aantonen dat hun producten veilig zijn. Ook deze onderdelen worden gefabriceerd volgens bepaalde normen, zoals NEN-EN-IEC 61215, voor kristallijne pv-panelen. De CE-markering op de producten geeft het vermoeden dat de producten voldoen aan de daarvoor geldende richtlijn(en) en normen.

In de gebruiksaanwijzing van de producten staat beschreven hoe de componenten moeten worden toegepast zodat ze samen een veilig geheel vormen. Het hanteren van de gebruiksaanwijzingen van het pv-paneel en de omvormer bij het installeren of het inspecteren is noodzakelijk. Pv-installaties worden aangelegd met de visie dat ze bijvoorbeeld dertig jaar betrouwbaar moeten functioneren. Dit stelt hoge kwaliteitseisen aan de materialen, maar zeker ook aan de wijze waarop ze tot een installatie worden samengebouwd. Samenvattend: het simpelweg plaatsen van een pv-installatie zonder enige vorm van controle/inspectie geeft geen bevestiging dat de installatie veilig is en aan de eisen voldoet. Volg daarom NEN 1010 bepaling 712 en de aanwijzingen van de fabrikant en inspecteer voor oplevering.

Inspecteren

Het inspecteren van (nieuwe) elektrische installaties staat beschreven in NEN 1010, deel 6. Pv-installaties onderscheiden zich van andere elektrische installaties in gebouwen doordat ze (gedeeltelijk) niet spanningsloos zijn te maken, met gelijkstroom werken en gedeeltelijk moeilijk toegankelijk zijn.

Om die reden is NTA 8013 ontwikkeld. Deze Nederlandse Technische Afspraak (NTA) beschrijft een procedure voor het inspecteren van netgekoppelde pv-systemen, aanvullend op NEN 1010, deel 6. Deze norm gaat niet over het bepalen van de energieprestatie van de panelen, de bouwkundige beoordeling en over hele kleine pv-systemen. Voor kleine pv-systemen is NTA 8493 ontwikkeld.

Bij ondernemingen is het ook noodzakelijk periodiek installaties te inspecteren. Daarvoor is NEN 3140.

Een probleem bij het toepassen van deze norm op pv-instal-

laties is dat sommige metingen in een bestaande installatie niet (of zeer lastig) kunnen worden verricht en de componenten op het dak moeilijk bereikbaar zijn. Een bouwinspectie en opleveringsinspectie (NTA 8013) is daarom belangrijk en voorkomt dat bij oplevering en bij periodieke inspectie tijdrovende en lastig uit te voeren herstelwerkzaamheden moeten worden verricht. Een inspectie volgens NTA 8013 omvat de volgende stappen:

1. Controle van de installatieschema's en de overige documenten.
2. Bouwinspectie: tijdens het bouwen controleren of de installatie correct wordt aangelegd (vooral belangrijk op het dak).
3. Opleveringsinspectie.

Meting

Bij de visuele inspectie van het pv-systeem ligt de nadruk op het deugdelijk monteren van panelen op het dak en het beoordelen van de elektrische installatie binnenshuis. De volgende stap is het daadwerkelijk meten aan de pv-installatie.

Metingen voor nieuwe pv-installaties staan beschreven in:

- + NEN-EN-IEC 62446, 'netgekoppelde pv-systemen; eisen voor documentatie, oplevering, beproeving en inspectie';
- + NTA 8013, 'Procedure voor het controleren van pv-systemen';
- + NEN 1010, 'Veiligheidsbepalingen voor laagspanningsinstallaties', deel 6 inspectie.

Voor bestaande elektrische installaties bij ondernemingen staan metingen beschreven in NEN 3140, 'Bedrijfsvoering van elektrische installaties'. NEN 3140 is een methode om te voldoen aan de wettelijke verplichtingen uit het Arbobesluit 3.4, en daardoor van toepassing op locaties waar sprake is van een gezagsverhouding, zoals bij ondernemingen.

Er is tot dusver geen norm die het gehele inspectieproces van pv-systemen beschrijft. De metingen die de genoemde normen staan hebben allen een verschillend doel. Er kan onderscheid worden gemaakt tussen metingen om:

1. fouten op te sporen in pv-panelen;
2. prestatie-eisen van het pv-systeem te bepalen;
3. de veiligheid van het systeem te beoordelen.

Vooraf aan de meting

Een inspectie door metingen en beproevingen vindt plaats nadat door visuele controle de installatie veilig is bevonden en eventuele tekortkomingen zijn hersteld. Om prestatie-metingen te kunnen verrichten en te kunnen vergelijken met andere strings of eerder verkregen meetresultaten, moeten omgevingsfactoren overeenkomen. Praktisch gezien

Toelichting inspectiechecklist

is dat uiteraard lastig. De lichtintensiteit (irradiatie), door de veranderende instralingshoek, maar ook de bewolking en de omgevingstemperatuur veranderen continu. Vooral een eventuele schaduw op een paneel kan een grote afwijking in de meetresultaten geven.

Enkele parameters kunnen in een berekening worden meegenomen om een oordeel te geven. Zo kan de temperatuur van het paneel worden gemeten door een sensor op de achterzijde van het paneel te klemmen. De instraling of irradiatie kan worden gemeten door een lichtsensoren direct naast het paneel te plaatsen, zonder dat er schaduw op het paneel valt.

Om enigszins nauwkeurig te meten moet de irradiatie minstens 600 W/m^2 zijn. Volgens NTA 8013, 5.3.2. moet de hoeveelheid licht zodanig zijn dat de gemeten stroom van een pv-paneel of streng tenminste 10 procent van de nominale kortsluitstroom (I_{sc}) bedraagt.

Veiligheid

Veilig werken en dus ook inspecteren is belangrijk. Arbobesluit 3.5 stelt eisen aan de bekwaamheid van werknemers en de processen bij bedrijven. Alleen bevoegde personen die bekwaam en geïnstrueerd zijn, mogen deze werkzaamheden verrichten met de juiste (veilige) meetapparatuur en hulpmiddelen. NEN 3140 geeft hieraan een praktische invulling. Let op de gevaren van spanningen en stromen.

Een gelijkspanning $< 120 \text{ VDC}$ wordt onder normale omstandigheden (dus niet in de regen) als veilig beschouwd. Hogere spanningen zijn gevaarlijk. Voorkom dat het lichaam een potentiaalverschil overbrugt: tussen de + en - (bij DC) of L en N/PE (bij AC). Scherm actieve delen, als ze niet spanningsloos zijn te maken, zoveel mogelijk af met goedgekeurde, isolerende materialen. Komen delen van het lichaam in de gevarezone, omdat er bijvoorbeeld metingen moeten worden verricht, voorkom dan het aanraken van actieve delen door het dragen van geschikte isolerende PBM's (Persoonlijke Beschermingsmiddelen). Als een DC-circuit wordt onderbroken, ontstaat een vlamboog. Hierdoor kan letsel en brand ontstaan. Werken aan het AC-circuit (verdeelinrichting – omvormer) of aan het DC-circuit (scheider – omvormer) mag alleen als de installatie spanningsloos is. Hoe de installatie veilig moet worden gesteld staat beschreven in NEN 3140, bepaling 6.3. Het verrichten van metingen aan de installatie kan vaak niet spanningsloos. Dan moeten veiligheidsmaatregelen worden getroffen. NEN 3140, bijlage H, beschrijft de maatregelen die moeten worden getroffen om veilig te kunnen meten.

Fouten opsporen

Volgens NTA 8013, A5, moet per streng UOC en I_{sc} worden gemeten en worden vergeleken met de ontwerpgegevens. UOC is de open klemspanning van elk paneel (of de optelsom daarvan voor een streng). Deze spanning kan worden

gemeten met een universeelmeter. I_{sc} is de kortsluitstroom van elk paneel of elke streng (in een serieschakeling). De kortsluitstroom kan het veiligste worden gemeten met een Ampèretang die geschikt is om gelijkstromen te meten. Een probleem bij deze meting is dat het pv-paneel of de streng hierbij moet worden kortgesloten. Bij het onderbreken van de kring daarna zal een vlamboog ontstaan. Door U_{oc} en I_{sc} met een pv-installatietester te meten worden via een belastingtest de open spanning en kortsluitstroom bepaald. Deze methode is veiliger.

Als de gemeten waarde van U_{oc} of I_{sc} van een paneel meer afwijkt dan 20 procent van de gemeten waarde op andere panelen (onder gelijke condities), moet volgens NTA 8013 de meting worden herhaald. Als het verschil blijft ontstaan, is de installatie afgekeurd en is nader onderzoek nodig om de fout te herstellen. Volgens NEN-EN-IEC 62446 is de maximale toelaatbare afwijking 5 procent.

U_{oc} en de I_{sc} zeggen uiteraard wel iets, maar niet of een pv-paneel feitelijk ook de beloofde prestaties levert en of er geen kleine defecten aan een paneel zijn. Met een pv-installatietester zijn prestatiemetingen wel te realiseren.

Prestaties beoordelen

Door een pv-paneel of een streng aan te sluiten op een pv-installatietester kan de I-V-curve (stroom-spanningsverloop) en de P-V-curve (vermogen-spanningsverloop) worden afgelezen. Een pv-installatietester kan de grafiek op een scherm tonen door het pv-paneel of de string te belasten met een veranderlijke weerstand.

Een afwijking in het verloop van de curve duidt op defect of verstoringen. Vooral in de I-V-curve zijn afwijkingen zichtbaar als sprake is van een schaduw op een paneel (vogel-poep, bladeren, gebouwen en objecten in de buurt).

Vermogen = spanning x stroom. Op een punt in de I-V-curve is de combinatie van spanning x stroom optimaal. Op dit punt regelt de omvormer zich normaal in. Dit punt ligt rechts boven in de grafiek (P_{mpp} = Power maximal power point). Dit vermogen kan worden gemeten met een pv-installatietester. Er kan dan worden vastgesteld of het vermogen van het paneel of de streng ($P_{\text{paneel}} \times \text{aantal panelen}$) overeenkomt met de opgegeven specificaties.

In de P-V-curve is dit punt ook als maximale waarde in de grafiek af te lezen. Uiteraard moeten bij de berekening en beoordeling wel de irradiatie en de temperatuur worden betrokken. Deze factoren zijn tijdens een meting door het tijdstip van de dag of het jaar en de eventuele bewolkte lucht, immers vaak niet overeenkomstig de 'standard test conditions' (STC-condities): de gegevens bij een lichtinstraling van 1.000 W/m^2 en een celtemperatuur van $25 \text{ }^\circ\text{C}$.

Een uitgebreide pv-installatietester kan de actuele meetcondities omrekenen naar STC-condities.

Dit kan door de tester te synchroniseren met een toestel dat de irradiatie en de temperatuur meet en dit doorgeeft

Toelichting inspectiechecklist

aan de tester. Hoe hoger de instraling en hoe lager de temperatuur, des te dichter de meetwaarden de STC-condities benaderen.

Veiligheid beoordelen

Om vast te stellen of de installatie voldoet aan NEN 1010 moeten voor oplevering metingen worden verricht. Ook metingen aan de bestaande installatie kunnen nodig zijn als de veiligheid hiervan van invloed is op de veiligheid van het pv-systeem. Een voorbeeld is de weerstand naar aarde in een installatie volgens het TT-stelsel als blijkt dat de circuitweerstand te hoog is. NEN 1010, bepaling 61, beschrijft de volledige eisen aan de metingen. Achtereenvolgens worden de metingen aan de DC- en AC-installatie beschreven. Als de metalen draagconstructie op het dak en/of de pv-panelen is aangesloten op een beschermingsleiding, moet door meting worden vastgesteld dat de beschermingsleiding met de verbindingen deugdelijk zijn verbonden (NEN 1010, bepaling 61.3.2). In NEN 1010 staat geen maximale waarde vermeld voor de weerstand. De waarde kan worden bepaald door de weerstand van de leiding te berekenen en daar 0,1 Ohm per verbinder bij op te tellen (methode NEN 3140). De weerstand kan dus als volgt worden berekend:

$$R \leq (l \times \rho) : A + \max. 0,2 \Omega$$

R = weerstand (Ω), l = lengte leiding (m), ρ = soortelijke weerstand (0,0175 voor koper), A = doorsnede in mm²)

Bij niet te lange beschermingsleidingen is de weerstandswaarde: $R < 0,3 \Omega$.

De meting moet worden verricht met een meetinstrument dat minimaal 0,2 A kan leveren; een zogenaamde laag-ohmige weerstandmeter of een installatietester.

Aandachtspunten zijn:

- + Meetinstrument vooraf nullen.
- + Geleidend contact goed schoonmaken door een zo groot mogelijke oppervlak van de meetpen of een krokodillenklem op blank metaal aan te sluiten.
- + Één meetpen op het frame/paneel, de andere meetpen op de aardrail binnen. Bij meerdere aardrails ook tussen de verschillende rails vaststellen dat de beschermingsleiding een deugdelijke verbinding vormt.

Isolatieweerstand

Pv-panelen zijn in het algemeen klasse II; dubbel geïsoleerd uitgevoerd. Door veroudering en invloeden van buitenaf kan de waarde van de isolatieweerstand tussen het metalen frame en de inwendige actieve delen van een pv-paneel dalen. Ook in de bekabeling, aansluitkast en andere plekken in de installatie, kan de weerstand door vocht, slijtage of vervuiling lager worden. Bij de hoge spanningen in een streng kunnen er dan stromen gaan lopen die brand kunnen veroorzaken. Daarom is het belangrijk om ook in het DC-gedeelte (zeker na verloop van tijd bij een periodieke

inspectie) de isolatieweerstand te meten.

Het meten van de isolatieweerstand moet gebeuren met een hoge DC-spanning. Hoe hoger de nominale DC-spanning van een streng, des te hoger moet de beproevingsspanning zijn.

Als overspanningsbeveiligingen in het systeem zijn opgenomen moeten deze of uit het circuit worden genomen of de meetspanning moet beperkt blijven tot een waarde die die overspanningsbeveiligingen niet laat aanspreken, bijvoorbeeld 250 VDC (NEN 1010, bepaling 61.3.3.). De DC-lastscheider kan worden geopend.

Metten kan door een aansluiting van de isolatieweerstandmeter aan de aardrail te koppelen (die verbonden is met het frame en de metalen constructie op het dak) en de andere zijde aan afzonderlijk de plus-pool en daarna aan de min-pool. Deze meting zou volgens NEN 1010 ook mogen door de plus en min aan elkaar te koppelen en dan in één keer de meting te verrichten. Voor pv-installaties is deze methode niet veilig omdat plus en min dan aan elkaar moeten worden gekoppeld en daarna weer moeten worden verbroken (aanrakingsgevaar en vlamboogrisico).

Als het metalen frame en/of panelen niet met een beschermingsleiding is/zijn verbonden met een aardrail, dan kan de isolatieweerstand worden gemeten tussen plus-pool en daarna de min-pool ten opzichte van de metalen draagconstructie(s) op het dak. Hierbij wordt er van uit gegaan dat de frames van de pv-panelen geleidend contact maken door middel van de beugels met de draagconstructie.

Nominale spanning pv-systeem U (V)	Beproevingsspanning meetinstrument U_{DC} (V)	Benodigde isolatieweerstand \geq (M Ω)
≤ 120 V	250	0,5
$0 < U \leq 500$ V	500	1,0
> 500 V	1.000	1,0

Tabel 1. Nominale spanning, meetspanning en minimale isolatieweerstand.

Isolatieweerstand

Ook aan de AC-zijde moet de isolatieweerstand worden gemeten tussen alle actieve delen ten opzichte van PE en tussen de actieve delen onderling. De meting moet worden verricht als de installatie spanningsloos is, ofwel in de schakel- en verdeelinrichting gescheiden van het elektriciteitsnet en de omvormer. Aangezien de nominale spanning op de kabel(s) 230/400 V bedraagt, moet de beproevingsspanning (zie tabel 1) 500 VDC zijn. De installatie is veilig als de isolatieweerstand $R_{iso} \geq 1$ M Ω (vaak is de gemeten waarde veel hoger). De meting kan plaatsvinden aan de kabel aan zowel de zijde van de schakel- en verdeelinrichting als aan de zijde van de omvormer.

Toelichting inspectiechecklist

Circuitweerstand

Volgens NEN 1010, bepaling 61.3.6, moet het automatisch uitschakelen van de voeding worden vastgesteld. Praktisch moet dit gebeuren door de weerstand van het foutstroomcircuit te meten (circuitweerstand = $R_c = R_{L-PE}$). De circuitweerstand moet voldoende laag zijn om een beveiligings-toestel in de keten tijdig te laten uitschakelen als zich in de omvormer of in de kabel een aardsluiting voordoet.

Als de circuitweerstand te hoog is dan staat er, mocht zich een aardsluiting voordoen, te lang een te hoge spanning op de behuizing van de omvormer (bij klasse I toestel).

De circuitweerstand kan met een installatietester worden gemeten op de klemmenstrook van de omvormer (een pen op L en een pen op PE) of in de contactdoos waarop de omvormer normaal is aangesloten. Bij de meting moet de kabel vanuit de schakel- en verdeelinrichting met het elektriciteitsnet zijn verbonden. Hij is dan dus 'live'.

Als de betreffende eindgroep waarop de omvormer is aangesloten, is beveiligd met een aardlekschakelaar, dan moet de circuitweerstand $R_c \leq 166 \Omega$. Als er geen aardlekschakelaar in het circuit is opgenomen dan moet de maximale waarde van de circuitweerstand worden bepaald door:

$$R_c \leq 230 V : I_a$$

I_a = aanspreekstroom van het beveiligingstoestel (patroon of automaat) binnen de vereiste tijd NEN 1010, tabel 41a).

Als de circuitweerstand te hoog is en het betreft een TT-stelsel, dan is het nodig om de weerstand naar aarde te meten.

Inwendige weerstand

Met de inwendige weerstand wordt de weerstand van het foutstroomcircuit RL-N bedoeld. Deze meting heeft twee doelen:

- + Als de omvormer een drie fasen type is dan moet volgens NEN 1010, bepaling 61.3.1; het onderbroken van de nulleiding met een meting worden vastgesteld. Aangezien de N een onderdeel van het foutstroomcircuit is (ongeveer de helft van de weerstandwaarde R_i), kan bij een lage weerstandwaarde worden geconcludeerd dat de N is verbonden.
- + De meting is ook belangrijk in het kader van de functionaliteit van het systeem. De omvormer moet in staat zijn om energie in de richting van het elektriciteitsnet te laten lopen. De omvormer wil graag een vermogen leveren (stroom x spanning) door de spanning op te voeren. Hoe hoger de omvormer de spanning op regelt ten opzichte van de aangeboden spanning van het netbedrijf, des te groter de stroom die er gaat lopen. Als de inwendige weerstand van het openbare net hoog is, maar zeker ook als de weerstand van de kabel tussen omvormer en de schakel- en verdeelinrichting hoog is, dan zou de uitgangsspanning wellicht zo hoog moeten worden, dat de omvormer in alarm komt en uitschakelt. Ook veroorzaakt

een hoge kabel- en inwendige weerstand energieverlies in het systeem. Het is daarom belangrijk een kabel met anders met een grote doorsnede toe te passen tussen de omvormer en de schakel- en verdeelinrichting. De specificaties en alarmgrenzen zijn te lezen in de manual van de omvormer.

Net zoals R_c , kan R_i worden gemeten met een installatietester op de klemmenstrook van de omvormer, of op de contactdoos waarop deze normaal is aangesloten (een pen op L en een pen op N).

Aardlekschakelaars

Als er op basis van NEN 1010 een aardlekschakelaar in het circuit is opgenomen dan moet deze worden getest. Afhankelijk van de omvormer kan een aardlekschakelaar type B verplicht zijn. Dit is het geval als de omvormer bij een defect in staat is de installatie te voeden met een fout-gelijkstroom (NEN 1010, bepaling 712.411.1.2). Is er geen aardlekschakelaar type B of gelijkwaardig toegepast, dan kan het zijn dat er een aardlekschakelaars type A in de installatie is opgenomen.

Als een aardlekschakelaar is opgenomen in het circuit, dan moet deze worden beproefd op de aanspreekstroom en op de uitschakeltijd. De aanspreekstroom moet liggen tussen $\frac{1}{2} \Delta I_n$ en $1 \times \Delta I_n$.

Het meten van de uitschakeltijd en de aanspreekstroom kan met een geschikte installatietester. Vaak kunnen alleen de moderne installatietesters type B-aardlekschakelaars

Verschilstroom	Uitschakeltijd
$\leq \frac{1}{2} \Delta I_n$	Geen uitschakeling
$1 \times \Delta I_n$	$t < 300 \text{ ms}$
$2 \times \Delta I_n$	$t < 150 \text{ ms}$
$5 \times \Delta I_n$	$t < 40 \text{ ms}$

Tabel 2. Uitschakeltijden.

Infraroodinspecties

Om hotspots bij pv-installaties zichtbaar te maken, kan een infraroodcamera worden gebruikt. Denk hierbij aan slechte elektrische verbindingen in zowel het AC- als DC-circuit. Ook kunnen hotspots op een pv-paneel zichtbaar worden gemaakt. Uiteraard is het lastig om met een IR-camera op het dak een scan te maken. In NTA 8040 staat het gebruik van een IR-camera en de bijbehorende criteria beschreven.