



FOTOVOLTAÏSCHE ZONNE-ENERGIE : DIMENSIONERING VAN FOTOVOLTAÏSCHE INSTALLATIES

1. DIMENSIONERING VAN EEN INSTALLATIE IN FUNCTIE VAN DE BESCHIKBARE OPPERVLAKTE EN HET VERBRUIK

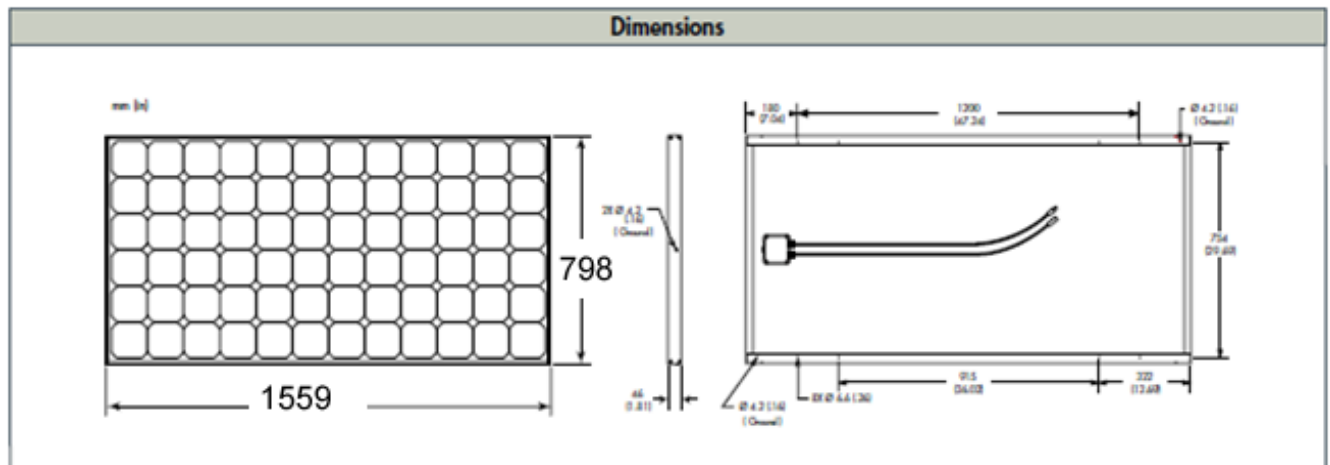
De juiste dimensionering van de installatie is essentieel. Hieronder worden twee methodes voor dimensionering (punt B en C) voorgesteld op basis van het onderstaande voorbeeld. Het spreekt voor zich dat naast de oppervlakte en het verbruik, het beschikbare budget een derde doorslaggevende factor is bij de dimensionering van een installatie.

A. Basisgegevens:

Men beschikt over een dak van 30 m² (6 m x 5 m) gericht op het volle zuiden en met een hellingsgraad van 35°.

De klant wil maximaal gebruikmaken van het dakoppervlak en het verbruik is 3.400 kWh/jaar.

Voorgestelde technologie: Sunpower 225 – model van 225 Wp met de afmetingen als volgt:



B. Berekening van aantal modules

Men dient ermee rekening te houden dat er een minimumafstand moet zijn tussen de dakrand en de installatie (1 à 2 dakpannen), als afscherming tegen de wind.

- Oppervlakte van een module met inbegrip van tussenruimtes van 20 mm

$$(1559 + 20) \times (798 + 20) \text{ [mm]} = 1,292 \text{ m}^2$$

- Beschikbare dakoppervlakte, rekening houdend met een veiligheidsboord van 30 cm aan elke kant

$$(6,00 - (2 \times 0,30)) \times (5,00 - (2 \times 0,30)) = 5,40 \times 4,40 = 23,76 \text{ m}^2$$

- Hoeveel modules kunnen er op dit dak worden geplaatst?

$$23,76 / 1,292 = 18,39 \text{ ofwel } \mathbf{18} \text{ modules goed voor } 4\ 050 \text{ Wp}$$

C. Berekening van het aantal benodigde modules in functie van het verbruik

- Om het piekvermogen te berekenen dat nodig is om een bepaalde productie te bereiken, nemen we de formule van module 4.

$$\text{Geïnstalleerde piekvermogen} \times \text{specifieke productie van de installatie} \times \text{correctiefactor} = \text{Verbruik} = \text{Productie}$$

$$[kWp \times kWh/kWp \times \% = kWh/jaar]$$

Dus

$$\text{Te installeren piekvermogen} = \frac{\text{Verbruik}}{\text{specifieke productie van de installatie} \times \text{CF}}$$

$$[kWh/jaar / (kWh/kWp \times \%) = kWp]$$

$$P = 3\,400 / (850 \times 1,00) = 4 \text{ kWp}$$

- Aantal benodigde modules: 4 kWp / 0,225 kWp = 17,7 modules → 18 modules.

Het dakoppervlak is dus in theorie groot genoeg om een installatie te herbergen die de totale behoefte van de klant kan dekken.

Over het algemeen is het logischer om bij de berekening uit te gaan van het huishoudelijke verbruik of het beschikbare budget dan van de dakoppervlakte. Het dak moet evenwel worden opgemeten om zich ervan te vergewissen dat het groot genoeg is voor de ideale installatie.

De doenbaarheid van deze opstelling moet steeds ter plaatse worden bekeken in functie van de ligging van de spanten.

2. DIMENSIONERING VAN DE OMFORMERS

DIMENSIONERING

Wanneer we het hebben over de dimensionering van de omvormers, mogen we niet uit het oog verliezen dat de fotovoltaïsche installatie een wissel- en een gelijkstroomkant heeft. Langs de gelijkstroomkant bekijken we het piek- en het reële (momentaan) vermogen dat tijdens de werking wordt bereikt. We dienen voorts ook aandacht te besteden aan de spanning van de strings die verbonden zijn met de omvormer.

In België wordt over het algemeen aanvaard dat het wisselstroomvermogen van de omvormer wordt ondergedimensioneerd (*de-rating*) tegenover het piekvermogen van de verbonden fotovoltaïsche string(s). Zo'n onderdimensionering kan worden getolereerd tot 80% van het piekvermogen (een omvormer van 3 kVA voor een string van 3,75 kWp komt overeen met een *de-rating* van 80%). Voor een systeem dat niet optimaal staat opgesteld tegenover de baan van de zon tolereert men zonder bezwaar een onderdimensionering.

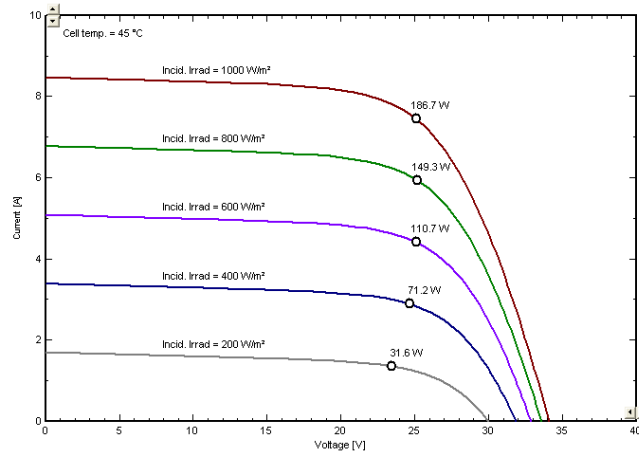
Voorbeeld (gebaseerd op een bestaand geval): het momentaan vermogen van een installatie van 75 kWp varieert met de intensiteit van de zonnestraling (volgens een bijna lineaire relatie). In de loop van het jaar fluctueert de straling die op de panelen valt tussen 0 en 1.050 W/m² (op de middag, temperatuur van de panelen: 45°C). In deze installatie met een piekvermogen van 75 kWp is het opgewekte (gelijkstroom) vermogen gelijk aan 66,3 kW bij de ingang van de omvormers en 64 kVA (wisselstroom) bij de uitgang van de omvormers.

Vaak wordt een overdimensionering aangeraden bij dunnefilmpanelen, maar dit aspect moet geval per geval worden bekeken in functie van de combinatie panelen-omvormers.

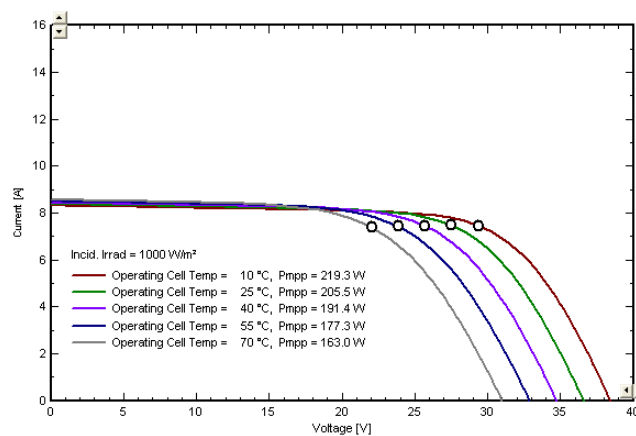
Een onder- of overdimensionering van de omvormer kan het globale rendement van het hele zonnestelsel negatief beïnvloeden.

In verband met de dimensionering moet ook worden benadrukt dat het van het grootste belang is om de aanwijzingen van de producent voor het betreffende merk en model van panelen en omvormers te volgen.

Het is niet zozeer het vermogen dan wel de nullastspanning van de installatie die een bepalende factor is bij de dimensionering. Strings worden gevormd door seriegeschakelde panelen en ze bezitten inderdaad een karakteristieke stroom / spanning-relatie (zie curves I tot V); de spanning in elke string is gelijk aan de spanning van een paneel vermenigvuldigd met het aantal panelen en de stroom is gelijk aan de stroom van een paneel (serieschakeling: de spanningen worden bij elkaar opgeteld bij gelijke stroom). De productie is evenredig met de straling en omgekeerd evenredig met de temperatuur.



Figuur 1: Curve stroom / spanning voor verschillende niveaus van stralingsintensiteit



Figuur 2 : Curve stroom / spanning voor een fotovoltaïsch paneel bij verschillende temperaturen

Om de lijnverliezen door het Joule-effect ($P=RI^2$) te beperken, moet de stroomsterkte worden verminderd (I^2) en dus de **spanning verhoogd**. Om die reden worden de modules in serie geschakeld (*string* in het Engels).

Het aantal modules dat in een string in serie kan worden geschakeld, wordt beperkt door de ingangsspanning die de omvormer aankan. Eventueel moeten de modules over **verschillende strings** worden verdeeld. Elke string heeft dan een lagere spanning, maar de totale stroomsterkte bij de ingangseenheden van de omvormer is hoger!... Het is belangrijk zich ervan te vergewissen dat de omvormer geschikt is voor deze stroomsterkte!

De meeste omvormers vereisen gelijke strings, d.w.z. strings met een gelijk aantal modules, van hetzelfde type en in dezelfde omstandigheden (oriëntatie, hellingsgraad, schaduw) opgesteld. Bepaalde multistring omvormers leggen die beperkingen niet op en zijn dus bijzonder geschikt voor installaties met modules met bijvoorbeeld een verschillende hellingsgraad of oriëntatie.

Om te bepalen of een bepaalde omvormer compatibel is met een string, moet men controleren of

- 1) het nominale vermogen van de omvormer zich situeert tussen 80% en 110% van het piekvermogen
- 2) de opgewekte spanningen binnen de mogelijkheden van de omvormer blijven:
 - a. De maximale spanning, d.i. bij 1 000 W/m², hellingsgraad 35°, nullastspanning en koud (-10°), moet lager zijn dan de maximaal toegestane gelijkstroomspanning. Dit is de veiligheidsspanning: boven deze maximale spanning wordt de omvormer uitgeschakeld (varistor¹) en dat veroorzaakt een onderbreking in de werking van de installatie
 - b. De minimale spanning, d.i. bij 1 000 W/m², hellingsgraad 35°, onder spanning en warm (70°), moet hoger zijn dan de minimale toegestane MPP²-spanning. Dit is de koppelingsspanning: onder deze minimale spanning wordt de omvormer uitgeschakeld en valt de productie stil!

Maximale spanning bij -10 °C: $V_{OC[String,-10^{\circ}C]} = M \times (V_{OC} + \mu V_{OC} \times 35)$

Minimale spanning bij +70 °C: $V_{OC[String,+70^{\circ}C]} = M \times (V_{OC} + \mu V_{OC} \times 45)$

M = aantal modules in een string
 V_{OC} = nullastspanning van een module in STC (25°C)
 μV_{OC} = temperatuurscoëfficiënt
 V_{MPP} = spanning op het Maximum Power Point (MPP)

- 3) de maximale stroom lager is dan de toegestane stroom van de omvormer

Voorbeeld :

Men kiest voor een installatie: panelen Issol Cenit 200, omvormers SMA SMC8000TL, strings van 3x17 panelen ofwel 10.200 Wp.

- Karakteristieken van het paneel Issol Cenit 200 :



Caractéristiques des Modules / Modules specifications / Modulenspezifizierung / Modules especificaciones

Model	P (Wc)	VOC (V)	ISC (A)	Vmp (V)	Imp (A)	Eff.m (%)	Umax (V)	α temp. VOC (mV/°C)	α temp. ISC (mA/°C)	α temp. Pmpp (%/°C)	NOCT (°C)	Cell type	Temp. Operative module
CENIT 80/70	70	20,94	4,84	16,96	4,15	13	750	-76,98	2,2	-0,49	45,5	mono	-40/85°C
CENIT 80/80	80	20,23	4,74	19,09	4,19	16	750	-76,98	2,2	-0,49	45,5	mono	-40/85°C
CENIT 80/85	85	21,83	5,20	17,79	4,74	15,50	750	-76,98	2,2	-0,49	45,5	mono	-40/85°C
CENIT 130/125	125	22,30	8,35	16,68	7,61	14,50	750	-148,8	2,2	-0,45	49,90	poly	-40/85°C
CENIT 150/150	150	44,01	5,14	33,40	4,49	13,50	1000	-148,8	2,2	-0,45	49,90	mono	-40/85°C
CENIT 150/160	160	45,58	5,00	34,89	4,59	14,50	1000	-148,8	2,2	-0,45	49,90	mono	-40/85°C
CENIT 150/185	185	45,24	5,57	35,06	5,15	14,50	1000	-148,8	2,2	-0,45	49,90	mono	-40/85°C
CENIT 220/200	200	36,62	8,38	29,05	6,92	15,85	1000	-148,5	2,3	-0,43	46	poly	-40/85°C
CENIT 220/210	210	37,45	8,16	28,29	7,43	16,00	1000	-148,5	2,3	-0,43	46	poly	-40/85°C

$V_{OC} = 36,62 \text{ V}$ $V_{MPP} = 29,05 \text{ V}$ $I_{MPP} = 6,92 \text{ A}$
 $\mu V_{OC} = -148,5 \text{ mV/}^{\circ}\text{C}$ (= - 0,1485 V/°C)

- Karakteristieken van de omvormer SMA SMC 8000 TL

¹ De varistors beveiligen de elektronische onderdelen aan de binnenzijde van de omvormer tegen spanningspieken afkomstig uit de atmosfeer, die het gevolg kunnen zijn van bijvoorbeeld een onrechtstreekse bliksemingslag in de buurt

² MPP : Maximum Power Point = punt van maximaal vermogen

Désignation du modèle	SMC 5000A	SMC 6000A	SMC 6000 TL	SMC 7000 HV	SMC 7000 TL	SMC 8000 TL	SMC 9000 TL	SMC 10000 TL	SMC 11000 TL
Numéro d'article	100916	100917	100919	100920	100921	100922	100923	100924	100925
Puissance DC max. (W)	5750	6300	6200	7500	7200	8250	9300	10350	11400
Tension MPP min. (V)	246	246	333	335	333	333	333	333	33
Tension MPP max. (V)	600	600	500	560	500	500	500	500	500
Tension DC max. (V)	600	600	700	800	700	700	700	700	700
Courant DC max. (A)	26	26	19	23	22	25	29	32	35
Puissance nominale AC (Wp)	5000	6000	6000	6650	7000	8000	9000	10000	11000
Puissance AC max. (Wp)	5500	6000	6000	7000	7000	8000	9000	10000	11000
Rendement max. (%)	96,10	96,10	98	96,10	98	98	98,10	98,10	98,10
Rendement Euro (%)	95,20	95,20	97,70	95,30	97,70	97,70	97,70	97,70	97,70
Transformateur	oui	oui	non	oui	non	non	non	non	non
Poids (kg)	62	63	31	65	32	33	40	40	40
Largeur (mm)	468	468	468	468	468	468	468	468	468
Hauteur (mm)	613	613	613	613	613	613	613	613	613
Profondeur (mm)	242	242	242	242	242	242	242	242	242
Classe de protection IP	65	65	65	65	65	65	65	65	65
Plage de température (°C)	pour tous les onduleurs -25 à +60 °C								
Nombre de strings	4	4	4	4	4	4	5	5	5
Multi-Contact™	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui
Connecteur AC	non	non	non	non	non	non	non	non	non
ESS (Electronic Solar Switch)	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui	oui

1) Controle van de maximaal toegestane spanning van de omvormer:

$$V_{\max} = 17 \times (36,62 - ((-0,1485) \times 35)) = 711 \text{ V} > 700 \text{ V} !$$

wat hoger is dan de maximaal toegestane spanning. De oplossing bestaat eruit een omvormer te kiezen met een grotere maximale toegestane spanning of het aantal strings te beperken tot 3 x 16 panelen, ofwel 9,6 kWp:

$$V_{\max} = 16 \times (36,62 - ((-0,1485) \times 35)) = 669 \text{ V} < 700 \text{ V} \quad \text{OK}$$

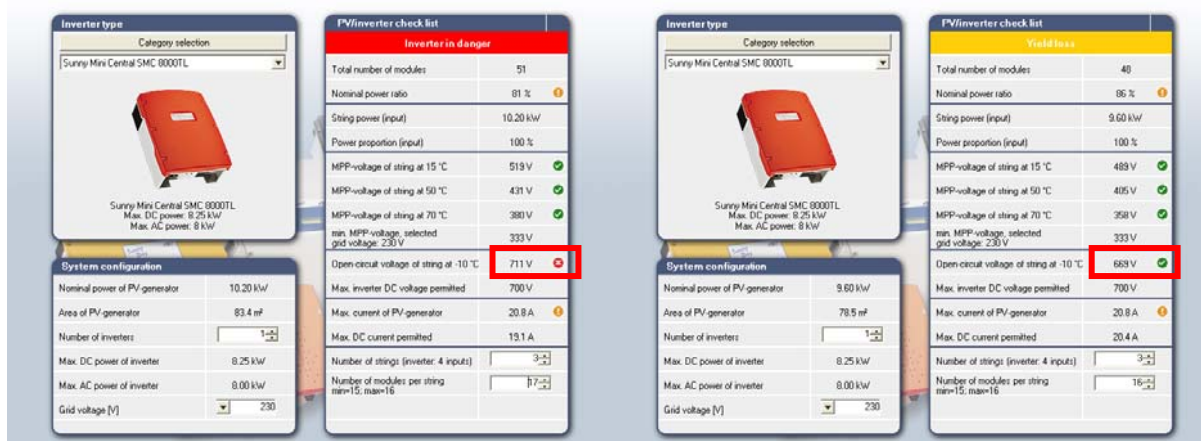
2) Controle van de minimaal toegestane spanning van de omvormer: 333 V

$$V_{\text{MPP}} = 16 \times (29,05 - ((-0,1485) \times 45)) = 693 \text{ V} > 333 \text{ V} \quad \text{OK}$$

3) Controle van de maximaal toegestane stroom van de omvormer: 25 A

$$V_{\text{MPP}} = 3 \times 6,92 = 20,8 \text{ A} < 25 \text{ A} \quad \text{OK}$$

Opmerking : Vele producenten hebben een softwareprogramma waarmee ze voor een bepaalde configuratie en een bepaalde geografische plaats de compatibiliteit kunnen controleren van de combinatie omvormer – panelen. Figuur 19 toont de resultaten van zo'n controleberekening voor de twee hierboven beschreven combinaties.



Figuur 3 : Resultaten van een controleberekening voor de dimensionering van strings (Sunny Design)

3. DIMENSIONERING VAN DE GELIJKSTROOMBEDRADING

Om de panelen met elkaar te verbinden tot strings en om verschillende strings in parallel te schakelen, is er gelijkstroombedrading nodig. Hiervoor mogen uitsluitend zogenaamde "zonnekabels" (dubbele isolatie, UV- en ozonbescherming, enz.) worden gebruikt.

De zonnekabels die op het dak worden gebruikt, moeten onder meer bestand zijn tegen UV-stralen en de inwerking van ozon. Bovendien moet de bedrading, evenals alle andere onderdelen van de installatie, functioneel zijn bij temperaturen tussen -20°C en 80°C.

Om redenen van veiligheid en efficiëntie gelden enkele cruciale criteria bij de dimensionering en koppeling van de hoofdkabels van het gelijkstroomgedeelte:

- A. De bedrading moet een spanning aankunnen van 1,15 x de nullastspanning (isolatie).
- B. De capaciteit van de bedrading moet voorzien zijn op de doorvoer van wissel- of gelijkstroom (doormeter van de draden) en op ohmse verliezen door spanningsval.
- C. Er dienen aangepaste connectoren gebruikt te worden.

A. BEVEILIGING TEGEN OVERSPANNING ALS GEVOLG VAN EEN STORING OF KORTSLUITING

Indien er verschillende strings³ in parallel geschakeld staan, plaatst men zekeringen op de + en -polen om de bedrading te beschermen tegen overspanning. Dat is vereist volgens norm IEC 60364-7-712.

Deze zekeringen zijn echter facultatief in het geval de bedrading is gedimensioneerd om de hoogst mogelijke overspanning te tolereren (kortsluitstroom) en indien er niet meer dan vier strings in parallel geschakeld staan. In dat geval moet worden gecontroleerd of de panelen dezelfde intensiteit in de tegengestelde richting aankunnen (geforceerde stroomstoot door de paneel) zonder ze onherstelbaar te beschadigen. Vraag indien gewenst een geschreven verklaring van de producent dat dit zo is.

De maximale stroom voor de bedrading van een string wordt berekend als volgt:

$$I_{\max, \text{string}} = 1,25 (n-1) I_{sc, STC}$$

waarbij n het aantal strings in parallel is en $I_{sc, STC}$ staat voor de kortsluitstroom in standaard testcondities (STC:1000 W/m², AM1,5, 25°C).

De hoofdkabels van het gelijkstroomdeel moeten bijgevolg altijd worden gedimensioneerd voor de hoogst mogelijke overspanning die kan voortkomen uit een array⁴ van fotovoltaïsche panelen (d.w.z. het geheel van in parallel geschakelde panelen). Deze maximale stroom wordt bekomen door

$$I_{\max, \text{array}} = 1,25 n I_{sc, STC}$$

In de praktijk werkt men met bedradingen van bepaalde standaardwaardes. Men kiest de eerstvolgende standaardwaarde die hoger is dan de uitkomst van deze berekening.

Enkele standaarddoormeters van zonnekabels zijn: 1,5 mm², 2,5 mm², 4 mm², 6 mm², 10 mm², 16 mm², 25 mm², 35 mm², 50 mm², 70 mm², 95 mm², 120 mm²...

³ String = fotovoltaïsche keten: circuit waarin fotovoltaïsche panelen in serie geschakeld staan en zo een eenheid vormen die de gespecificeerde uitgangsspanning genereert. Bron : norm IEC 60634-7-712.

⁴ Volgens de norm IEC60634-7-712 is een array = een Fve keten: circuit waarin fotovoltaïsche panelen in serie geschakeld staan en zo een eenheid vormen die de gespecificeerde uitgangsspanning genereert

B. KABELDOORMETER EN OHMSE VERLIEZEN IN HET GELIJKSTROOMDEEL

De doormeter van de stringbedrading en van de hoofdkabels (na parallelschakeling) moeten van die aard zijn dat de nominale stroom die erdoor loopt op het moment dat het maximale vermogen wordt bereikt (in het Engels *Maximum Power Point of MPP*), geen spanningsval van meer dan 2% van de nominale spanning tot gevolg heeft bij de uiteinden van de draden.⁵

De kabeldoormeter S kan als volgt worden berekend:

$$S = \frac{\rho \times L \times I}{\varepsilon \times V_A}$$

Waarbij :

ρ is de weerstand van de draad, uitgedrukt in $\Omega \cdot m$. Deze is $1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m$ voor een koperdraad

L is de lengte van de draad, uitgedrukt in m

I is de stroom die door de draad loopt, uitgedrukt in A

ε is de spanningsval, uitgedrukt in V

V_A is de beginspanning van de draad, uitgedrukt in V

Wanneer men overweegt om in een bestaand of een nog op te richten gebouw een fotovoltaïsche installatie te integreren, dienen vooreerst alle beperkende factoren goed te worden bestudeerd.

Voorbeeld:

De polykristallijne panelen Yingli van 230 W hebben een nominale intensiteit van 7,8 A (MPP) en een nominale spanning van 29,5 V. De nullastspanning is 37 V en de kortsluitstroom is 8,4 A.

Als er een string wordt gemaakt van 20 panelen in serie, is de totale nominale spanning 590 V en nullastspanning is 740 V. (20 x 37V)

Zodoende moeten de gelijkstroomdraden een isolatiewaarde hebben van minimum $1,15 \times 740 = 851$ V. De doormeter van de hoofdkabels van het gelijkstroomdeel (in dit geval de stringbedrading) wordt als volgt berekend:

$$1,25 \times 8,4 \text{ A} = 10,5 \text{ A}; \text{ is de maximale stroom van het array.}$$

De kabel kan een totaal vermogen aan van:

$$7,8 \text{ A} \times 590 \text{ V} = 4.602 \text{ W}$$

Om de verliezen te beperken tot minder dan 2%, mag de afstand tot aan de omvormer maximaal 120 m bedragen. Voor dit voorbeeld gaan we uit van een verlies van 1%:

$$\text{De spanningsval in de kabel is } 1\% \times 590 \text{ V} = 5,9 \text{ V}$$

Voor een koperdraad moet de doormeter de volgende zijn:

$$S = (1,7 \times 10^{-8} \Omega \cdot m \times 120 \text{ m} \times 10,5 \text{ A}) / (1\% \times 590 \text{ V}) = 2,14 \times 10^{-5} / 5,9 = 3,63 \times 10^{-6} \text{ m}^2$$

→ 3,6 mm² De standaarddoormeter die net groter is dan deze uitkomst is 4 mm².

C. GELIJKSTROOMCONNECTOREN

De hierboven besproken criteria voor de bedrading gelden ook voor de connectoren die worden gebruikt om gelijkstroomdraden te verbinden. De connectoren moeten zodanig zijn geconcipeerd dat het risico op elektrocutie wordt uitgesloten als de vrouwelijke en mannelijke delen van de stekker niet in elkaar steken. De connector moet verder beschermd zijn tegen rechtstreekse fysische aanrakingen (IP65).

Bijzondere aandacht dient ook te gaan naar de trekkracht die de stekkers kunnen verdragen.

⁵ http://www.photovoltaique.guidenr.fr/III_dimensionnement_cable_dc_photovoltaique.php

De connectoren moeten voorzien zijn van een vergrendelingsysteem, dat voorkomt dat de twee delen uit elkaar zouden worden gerukt.

Op de technische fiche van de connectoren moet een referentie staan naar het erkende organisme die de testspecificaties heeft gecontroleerd.

Een gelijkstroomonderbreker is verplicht (IEC 60364-7-712) en dient om de fotovoltaïsche panelen en de omvormers te ontkoppelen. Deze schakelaar staat juist voor de omvormer of is geïntegreerd in de omvormer.



Op elke parallelschakeling in het gelijkstroomdeel moet er een afdoende bescherming tegen overspanning worden voorzien; deze bescherming bevindt zich net na de omvormer of is in de omvormer geïntegreerd.

Overspanning als gevolg van bliksem in de nabijheid van een fotovoltaïsche installatie dient tot een minimum beperkt te worden. Dit kan men bereiken door de positieve en negatieve bedrading van elke string zo dicht mogelijk bij elkaar te leggen om het risico op inductielussen te beperken. In de praktijk komt het erop neer dat de bedrading die van de string wegliep dezelfde weg volgt als bedrading die naar het paneel loopt.

Multi-contact AG - model MC3	Multi-contact AG - model MC4	Tyco electronics
		
klassieke connector	verdere ontwikkeling van het model MC3 met mechanische afsluitvergrendeling	

Figuur 4 : Verschillende types gelijkstroomconnectoren – bron : http://www.sigma-tec.fr/textes/texte_cables.html