

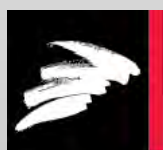
TEKNOLOGISK
INSTITUT



Solcelleanlæg

Baggrundsrapport for montage- og installationsvejledninger

- En anvisning til de mest gængse tagtyper



TEKNOLOGISK
INSTITUT

april 2013 version 1



Solcelleanlæg

Baggrundsrapport for montage- og installationsvejledninger

Redaktør: Iben Østergaard

Skribenter

Montagevejledning: Mathias Sehested Høeg Kemner og Peter C. Nielsen

Installationsvejledning: Peter Svendsen



Indholdsfortegnelse

1	INDLEDNING	4
2	FORUDSÆTNINGER OG GENERELT OM VEJLEDNINGERNE	4
3	TAGTJEK	6
4	MONTAGE PÅ TAGSTENSTAGE - BAGGRUND	8
4.1	TAGSTENSTAGE FASTGØRELSE VED K21 FALSTAGSTEN	10
4.2	TAGSTENSTAGE FASTGØRELSE PÅ VINGETEGLSTEN	17
4.3	TAGSTENSTAGE FASTGØRELSE PÅ BETONTAGSTEN	19
4.3.1.1	MONTAGE MED ANSATSSKRUER I BETONTAGSTEN	21
4.4	TAGSTENSTAGE MONTAGE MED ADGANG FRA TAGRUMMET (UNDERSTRØGNE TAGE)	22
5	MONTAGE PÅ BØLGEPLADER AF FIBERCEMENT	25
5.1	FIBERCEMENTPLADETAGE – PÅ LÆGTER MONTAGE MED ADGANG FRA TAGRUMMET	26
5.2	FIBERCEMENTPLADETAGE – PÅ LÆGTER MONTAGE FRA YDERSIDEN	30
6	TAGPAPTAGE	35
6.1	GENERELT	36
6.2	FLADE – ELLER NÆSTEN FLADE TAGE	36
6.3	FLADE TAGE MED KOLD KONSTRUKTION	37
6.4	TAGE MED HÆLDNING OG KOLD KONSTRUKTION	39
7	GENERELLE ANBEFALINGER	41
8	SKINNESYSTEMER	42
8.1	BESLAG	43
8.2	FASTGØRELSE AF PANELER	43
8.3	SOLCELLEPANELERNE	44
8.4	SKYGGE OG TAGFORHOLD	44
8.5	SAMMENKOBLING AF SOLCELLESTRENGS LEDNINGER	45
9	EL TEKNISK	48



9.1 KABLER OG SIKKERHED	48
9.1.1 HVEM MÅ UDFØRE KABELFØRING?	48
9.1.2 KABELFØRING OG ANVENDELSE AF MATERIALE	49
9.1.3 FASTGØRELSE OG FØRING AF KABLER	51
9.1.4 KABELGENNEMFØRING I KLIMASKÆRM	53
9.1.5 KRAFTIGE BUK OG KLEMNINGER AF KABLER	55
9.2 INVERTEREN	56
9.2.1 HVEM MÅ MONTERE INVERTEREN?	56
9.2.2 PLACERING AF INVERTEREN	56
9.3 FEJLSTRØMSAFBRYDER (HPFI ELLER PFI, KLASSE A ELLER B)	57
9.3.1 FORMÅL MED FEJLSTRØMSAFBRYDER	57
9.3.2 HVEM MÅ TILSLUTTE FEJLSTRØMSAFBRYDER?	57
9.3.3 FEJLSTRØMSAFBRYDER – UDDRAG FRA BEKENDTGØRELSEN	58
9.4 MÅLEREN	59
9.5 NETTILSLUTNING	59
<u>10 SOLCELLEANLÆG OG BRAND</u>	<u>60</u>
10.1 BEMÆRKNINGER TIL AFSNIT 6, TAGPAPTAGE	61
<u>11 BILAG</u>	<u>62</u>
11.1 SOLCELLETYPER (KORT)	62
11.1.1 KRYSTALLINSKE SILICIUMCELLER (MONO OG POLY)	62
11.1.2 TYNDFILMSCELLER	63
11.1.3 PLAST-SOLCELLER	63
11.1.4 OVERSIGT OVER KARAKTERISTIKA FOR SOLCELLETYPERNE	64
11.2 FAGTERMER/ORDFORKLARING	65
11.3 TABEL 52-D2	68
11.4 STATIK	72
11.4.1 FASTGØRELSESMETODE	73
11.4.2 DIMENSIONERING	74
11.4.3 MONTAGESKINNER OG FASTGØRELSE	81
<u>12 LITTERATURLISTE</u>	<u>89</u>

1 Indledning

Rapporten indeholder dels baggrundsmateriale til monterings- og installeringsvejledninger til håndværkere og rådgivere samt eksempler på monteringsvejledninger. Den vil blive udbygget og revideret løbende, efterhånden som flere resultater og erfaringer foreligger.

Denne baggrundsrapport for montage- og installationsvejledninger for solcelleanlæg danner platform for udarbejdelse af en række montagevejledninger målrettet til specifikke tagtyper

Vejledningerne henvender sig primært til montører og installatører af solcelleanlæg og skal ses som en praktisk guide med anbefalinger og konkrete løsningsforslag til, hvordan man kan anvende de beslag, der er tilgængelige på markedet på en måde, så man sikrer sig en byggeteknisk forsvarlig montage, i forhold til at undgå fugt- og konstruktionsskader. I nogle tilfælde har Teknologisk Institut fundet det nødvendigt at beskrive funktionskrav som kan udgøre basis for en videreudvikling af beslag, for hermed at kunne opfylde de specielle krav der er til smalle spærkonstruktioner.

Omkring elinstallationer informeres om hvem, der må udføre arbejdet, og hvordan det skal udføres iht. gældende lovgivning.

2 Forudsætninger og generelt om vejledningerne

Vejledningerne i denne udgivelse beskriver montagen af solceller på de meste gængse typer af tagkonstruktioner i Danmark.

Specielt for smalle spærtyper anbefaler Teknologisk Institut løsninger, som indebærer isætning af ekstra træ mellem spærene, således at de normalt anvendte beslag og skruer kan anvendes uden at der opstår konflikt med producentanvisninger, tekniske standarder, konstruktionens sikkerhed, mv.

Løsningerne er udarbejdet under hensynstagen til bestemmelserne i trænormen og Eurocode 5¹, professionel viden og erfaring med trækonstruktioner i Danmark samt normal dansk byggeskik og håndværksmæssig praksis. Derudover er erfaringer også hentet fra Tyskland, som har en lang historie med montage og drift af solcelleanlæg.

Det er vigtigt at understrege, at denne rapport giver nogle praktisk orienterede forslag til montage, hvormed man kan sikre sig en forsvarlig montage uden at skulle gennemføre vurdering og beregningsmæssig dokumentation. Men det står til hver en tid forbrugeren frit for, at få foretaget en vurdering og beregning af den aktuelle tagkonstruktion, med henblik på anvendelsen af en anden type montageløsning!

¹ DS/EN 1995-1-1 + AC:2007 "Trækonstruktioner - Del 1-1: Generelt - Almindelige regler samt regler for bygningskonstruktioner"

Afsnittet omkring el installationen er udarbejdet på baggrund af Stærkstrømsbekendtgørelse.

Vejledningen er kun gældende for mindre bygninger som 1-familie boliger, rækkehuse mv., og dimensioneringen af anlæggets beslag og skinnesystem² hører ikke under denne vejledning.

Det skal pointeres, at overvejelser omkring anskaffelse af et tagmonteret solcelleanlæg bør starte med en vurdering af den aktuelle tagkonstruktion. Nogle tagkonstruktioner skal forstærkes mens andre simpelthen ikke er egnede. Det kan enten være fordi de er gamle og skrøbelige, er svækket af råd eller andre skader eller bare for spinkle i konstruktion og samlinger. I afsnit 3 findes en tjekliste til vurdering af tagets egnethed. Tjeklisten er ment som en hjælp til en indledende vurdering af den aktuelle konstruktion inden montagen påbegyndes.

Forhold til byggemyndigheden

Om solcelleanlæg er omfattet af byggeloven eller ej, er afhængig af om den lokale kommune finder at solcelleanlægget er væsentlig i forhold til bebyggelsen.

Energistyrelsen har udgivet en juridisk vejledning, der beskriver, hvornår solcelleanlæg er omfattet af byggeloven.

www.bygningsreglementet.dk/file/258539/solceller_juridisk_vejledning.pdf

Af denne vejledning fremgår det blandt andet, at etablering af solceller på bebyggelser som udgangspunkt kan ske uden anmeldelse eller byggetilladelse.

Det anbefales, at der før etablering af solcelleanlæg tages kontakt med den lokale byggemyndighed for en dialog om hvorvidt solcelleanlægget er omfattet af byggeloven, og hvilke krav kommunen vil stille til anlægget.

Baggrund

Rapporten – samt det videre arbejde med udarbejdelse af montagevejledninger er en del af: "Bygningsintegreret Solenergi", som er et fireårigt projekt under Teknologisk Institut. Projektet er finansieret af resultatkontraktmidler fra Styrelsen for Forskning og Innovation og har som overordnet sigte, at forbedre den samlede kvalitet i designet, projekteringen, installationen og udførelsen af solenergianlæg.

² Her menes godstykker, skinnetype, skinnedimensioner mv.

3 Tagtjek

Nr.	Beskrivelse
1	Hvad er den forventede restlevetid for taget? I tilfælde af en kort restlevetid på det eksisterende tag bør det overvejes, at fremskynde en udskiftning eller udskyde montagen af solceller da en nedtagning og genmontage af anlægget efter en kortere periode kan medføre omkostninger i en størrelsesorden der betyder, at investeringen ikke er rentabel.
2	Er spærerne med kendt bæreevne? Efter ca. 1960 blev spær hovedsageligt fremstillet som standardprodukter ud fra anvisningerne i TOP-pjecerne af håndværkerne. Det er her muligt at fastslå bæreevnen ved at sammenligne dimensioner på spærhoved og –fod samt sømantal i knudepunkterne med tabellerne i pjecerne. Senere blev spær produceret på fabrik med samlinger af tandplader og i betydeligt mindre dimensioner end tidligere kendt. Disse spær er normalt forsynet med et stempel ved kip med angivelse af max. spærafstand og egenvægt af tag.
3	Spærhovedets dimensioner og spærafstand. Især spærhovedets bredde har betydning for hvilken montagemetode der kan anvendes for at sikre en forsvarlig forankring. På smalle spær (45 mm) anbefales det at anvende løsningerne angivet i denne vejledning.
4	Forankring af spærfod og fodrem. Ved ældre A-spær består fastgørelsen til fodremmen tit alene af 2 stiksøm i fodremmen. Dette betyder at fodremmen kan "kæntre" og spærrets sadling over fodremmen forskydes. Med denne fastgørelsesmetode vil det være nødvendigt, at supplere samlingen med et egnet vinkelbeslag.
5	Egenvægt af eksisterende tag pr. m². Nogle typer af spær er dimensioneret således, at deres bæreevne er udnyttet tæt på 100 %. Nogle tagbelægninger på sådanne spær er endda blevet udskiftet til en tungere type.
6	Er spær og lægter angrebet af råd og/eller svamp? Det er især vigtigt at undersøge knudepunkter og områder, hvor solcellerne skal fastgøres, for skader.
7	Er der skader på lægter eller spær? Det bør undersøges om træet i lægter og spær er flækket som følge af søm/skruer hvor kantafstanden ikke er respekteret.

Tabel 1 - Vejledende levetider for typiske tagkonstruktioner (kilde: <http://www.levetider.dk>)

Taghældning 25-34 grader - koldt spidsloft undertag Bane MH	
Teglbelægning	
Vinge, lille overlæg	40 år
Vinge, stort overlæg	45 år
S-vinge, lille overlæg	40 år
S-vinge, stort overlæg	45 år
Falstagsten	50 år
Betonbelægning	
Falstagsten	50 år
Fibercement (uden asbest)	
Diagonalskifer	25 år
Skiferplader	25 år
Bølgeplader	25 år

4 Montage på tagstenstage - baggrund

To generelle ting må påpeges ved montage af solcelleanlæg på tagstenstage:

Hvis der foreligger en faglig vurdering af den aktuelle spær- og lægtekonstruktions egnethed, vil det i nogle tilfælde kunne forsvares at montere solcelleanlæg i tagets lægter. I praksis kan det ofte være svært at sikre sig, at lægterne på et tag har den fornødne styrke, eller at lægternes forankring i spærene er tilstrækkelig stærk.

Benyttelse af ansatsskruer til montage på tagstenstage (kun på beton-tagstenstage) kræver stor omhyggelighed fordi gennemboring af tagstenene altid forøger risikoen for evt. vandgennemtrængning. Det er derfor vigtigt at sikre, at hullet i tagstenen giver plads til bevægelse for ansatsboltens, samt at tætning ved hullet i tagstenen er udført korrekt med en fleksibel pakning. Pakningen skal være trykket ned mod tagstenen, så den slutter helt tæt. Endvidere bør det sikres, at ansatsskruerne – på grund af deres ofte store dimension – kan overholde de krav til skruesamlinger, der er angivet i standarderne.

På grund af ovenstående, har tyske producenter også, gennem mange år med solceller, udviklet en beslagstype (tagkroge), der monteres i spærene og som ikke kræver gennemboring af tagstenene. Tagkroge har været anvendt til montage af mange anlæg, også i Danmark, og de er også langt at foretrække frem for ansatsskruerne. Der opstår dog nogle problemer, når beslagene bruges på de meget smalle danske fabriksspær.

Løsningen, der er vist i det følgende, er udarbejdet for at imødekomme de problematikker, der opstår, når de traditionelle montagesystemer anvendes på smalle spærkonstruktioner (45 mm) og dermed øger risikoen for efterfølgende konstruktionsskader eller fugtproblemer. For at kunne tage hensyn til disse ting, har det under udarbejdelsen af den viste løsning været nødvendigt at modificere et standardbeslag. Det betyder, at de viste beslag i skrivende stund ikke er en handelsvare. Producenten, der har leveret de anvendte beslag, har dog bekræftet, at de nye beslag uden videre kan leveres efter specifikationer. Teknologisk Institut er i dialog med en producent om at kunne levere de viste beslag, så snart de efterspørges (Hvor lang tid??) Det står alle producenter frit for at producere de beskrevne beslag.

Som nævnt, er nedenstående løsninger udarbejdet for at imødekomme problemerne ved montage af solceller på meget smalle spærkonstruktioner. På spær med en bredde på 60 mm eller mere, kan man anvende traditionelle beslag, og montere dem efter producentens anvisninger.

Generelle overvejelser ved montering af solceller på eksisterende tag

- Hvis rygninger/grater er lagt i mørtel kan de 2-3 rækker tagsten herunder normalt ikke tages op, uden beskadigelse af tagsten eller rygning/grat. (Tilsvarende vil gøre sig gældende, hvor tagsten er nedlagt i mørtel, hvilket evt. kan være gjort ved gavle, brandkamme, omkring skorstene og tilsvarende inddækninger. Zinkinddækninger og tilsvarende kan ligeledes fastholde tagsten.

- Ventilationstagsten til ventilering af hulrum mellem tagsten og undertag samt ventilering af tagkonstruktion må som udgangspunkt ikke tildækkes. Der kan dog kompenseres herfra såfremt der foretages en fugtteknisk vurdering i det konkrete tilfælde. Tudtagsten der ventilere beboelsesrum må ikke tildækkes.

Inden arbejdet sættes i gang bør følgende fremskaffes:

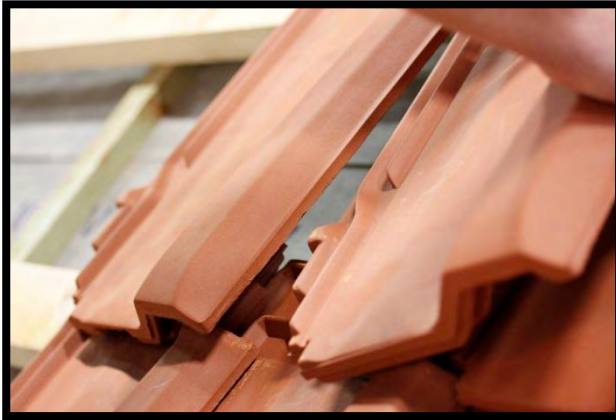
- Ekstra tagsten, da der er risiko for at eksisterende tagsten beskadiges ved montering af solceller.
- Undertag og reparationstape i samme fabrikat som der er anvendt på den aktuelle tagkonstruktion. Hvis man ved et uheld laver større revner/flænger i undertaget forslås den beskadigede del af undertaget udskiftet iht. undertagsproducentens anvisning.

Undertagstypen kan typisk fastslås ved at afmontere et par tagsten og finde det påtrykte fabrikatnavn.

4.1 Tagstenstage

Fastgørelse ved K21 falstagsten



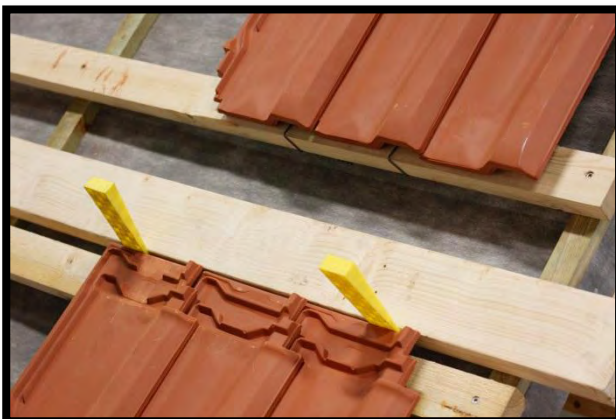
1.**Fjern tagstensrække**

Eksisterende tagsten fjernes, således der bliver plads til at lægge en planke mellem to spær med en længde på, i dette tilfælde, 1,35 meter (svarende til 6-7 tagsten)

Plankedimension: 45 x 120 mm

Beregning af plankens længde:

Spærafstand + spærhovedbredde + dækbredde + (2 x 42mm)

**2.****Placér planke**

Med et par kiler hæves planken ca. 1 cm over overkant tagsten.

3.

**Forbor**

Der forbores med et 4 mm træbor i en dybde på 140 mm igennem planke og spær.

4.

**Fastgør planke**

Planken fastgøres med 2 stk. 6,0 x 140 mm, Kv. A2 - A4 Rustfri skruer.

5.

**Tilpas tagsten**

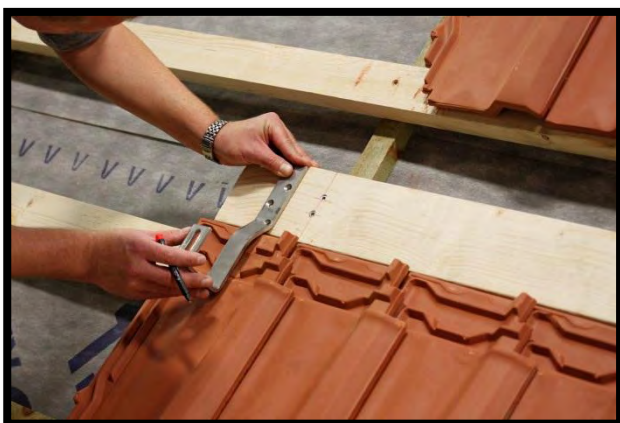
Med en vinkelsliber med diamantklinge tilpasses over- og underliggende tagsten i forhold til beslagets bredde. Der bør være 2-3 mm frigang på begge sider af beslaget.

6.

**Klar til montage**

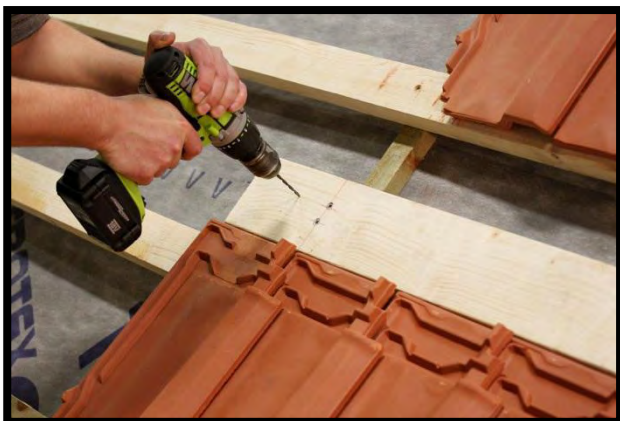
Planken er nu fastgjort til spærkonstruktionen med 2 x 2 skruer og er klar til montage af beslagene.

7.

**Afmærk til forboring**

Beslaget placeres og der mærkes op i de 2 midterste huller.

8.

**Forboring**

Der forbores med et 4 mm træbor.

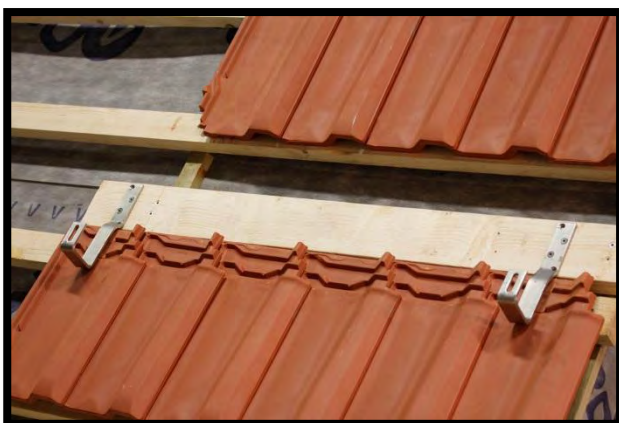
! Boret må ikke være så langt at det kan beskadige undertaget.

9.**Fastgørelse**

Beslaget fastgøres med 2 stk. 6,0 x 45 mm skruer, beregnet til udendørs brug.

10.**Tjek afstand**

Der bør være ca. 5 mm frigang mellem beslag og underliggende tagsten. Dette kontrolleres nemt med en 5 mm. afstandsklods.

11.**Monterede beslag**

12.**Oplæg tagsten**

Tagstenene lægges tilbage. Vær omhyggelig med at få den tilpassede tagsten til at ligge rigtigt over beslaget.

13.**Forboring**

Ved oplægningen af tegltagstenen skal disse bindes iht. anvisningen Tegl 36. Ved K21 tagsten er det ikke muligt at anvende sidefalsbindere pga. planken. Derfor forbores der et i tagstens top med et 6 mm murbor (der bores uden slag)

14.**Fastgørelse**

Tagstenen fastgøres med en 4,5 x 45 mm spenglerskrue kv. A2 rustfri med Ø15 mm skive og gummi underlag.

15.**Tjek fastgørelse**

Skruen må ikke spændes hårdere end at tagstenen kan løftes ca. 3-4 mm i bunden.

16.**Klar til skinnemontage**

Skinnesystemet kan nu monteres efter producentens anvisninger.

4.2 Tagstenstage

Fastgørelse på vingeteglsten



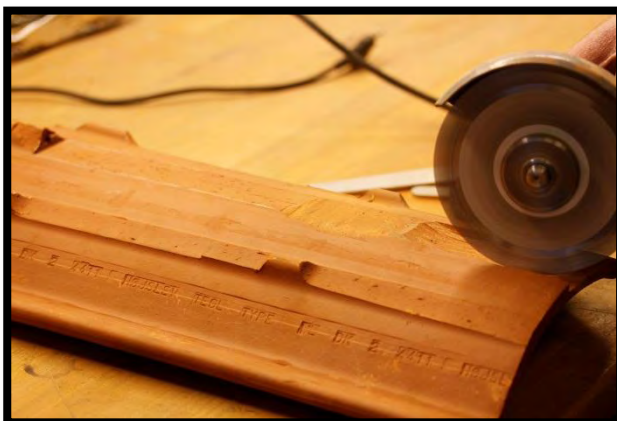
INFO!

Fremgangsmåden for montage på vingeteglsten er den samme som beskrevet for K21 falstagstenen. Dog er der mindre variationer som følge af stenenes forskellige udformninger. Disse er vist herunder.

1.**Tilpas tagsten**

For at tagsten kan lægge korrekt mod de øvrige tagsten er det nødvendigt at bortskære knasten til den traditionelle anvendte JP-binder.

Tagstenene fastgøres i stedet med en 4,5 x 45 mm spenglerskrue kv. A2 rustfri med Ø15 mm skive og gummi underlag (se punkt 13-15 i vejledningen for K21)



4.3 Tagstenstage

Fastgørelse på betontagsten



INFO!

Fremgangsmåden for montage på betontagsten kan være den samme som beskrevet for K21 falstagstenen. Dog er der mindre variationer som følge af stenedes forskellige udformninger. Disse variationer er vist herunder:

1.**Tilpasning af tagstenen****2.****Færdigt resultat**

For nogle typer beton tagsten vil de eksisterende sidefalsbindere kunne anvendes igen. Ved lægning af tagstenene bindes de iht. tagstens producentens anvisning.

4.3.1.1 *Montage med ansatsskruer i betontagsten.*

Der kan godt bores i betonstagsten, og dermed kan det være muligt at montere skinnerne med ansatsbolte.

Benyttelse af ansatsskruer til montage på beton-tagstenstage kræver imidlertid stor omhyggelighed fordi gennemboring af tagstenene altid forøger risikoen for evt. vandgennemtrængning. Det er derfor vigtigt at sikre, at hullet i tagstenen giver plads til bevægelse for ansatsbolten, samt at tætning ved hullet i tagstenen er udført korrekt med en fleksibel pakning. Pakningen skal være trykket ned mod tagstenen, så den slutter helt tæt. Endvidere bør det sikres, at ansatsskruerne – på grund af deres ofte store dimension – kan overholde de krav til skruesamlinger, der er angivet i standarderne. Det betyder, at ansatsskruerne i lægter på 73 x 38 mm højst kan have diameter på 8 mm – og da de ikke overholder reglerne for forankring (6 x diameter), skal udtræksstyrken dokumenteres gennem forsøg.

4.4 Tagstenstage

Montage med adgang fra tagrummet (understrøgne tage)



INFO!

Løsningerne til tagstenstage, som er vist i det foregående, er udviklet til tagkonstruktioner med undertage og er specielt egnet hvis der ikke er adgang fra tagrummet.

Hvis der er adgang fra tagrummet og taget ikke har undertag, kan man montere fuldtømmer på vinkelbeslag mellem spærene og dermed undgå at fjerne tagstenene udefra, hvilket letter arbejdsgangen. Tømmeret monteres med vinkelbeslag på siden af spæret med 3 skruer i hver side. Herefter kan de traditionelle tagkroge anvendes, som er beregnet til montage direkte i spærene (og i dette tilfælde også i tømmeret).

Tage uden undertag er typisk tage med en understrygning af tagstenene, som skal sikre tætheden af taget. Understrygning blev tidligere udført med mørtel eller en bitumenbaseret klæber som dermed skal brydes op og reetableres efterfølgende. I praksis betyder det, at solceller ikke bør monteres på understrøgne tage med mindre tagets underside er tilgængelig, således der løbende kan vedligeholdes på understrygningerne.

Man skal være opmærksom på, at en ældre mørtelunderstrygning nemt kan revne og falde ud i forbindelse med montagen af solcellebeslagene. Vær derfor særlig opmærksom og omhyggelig med den efterfølgende reparation og løbende eftersyn.

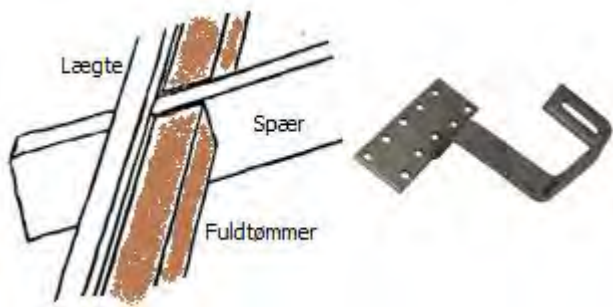
1.**Materialeliste**

Følgende materialer anvendes:

- Vinkelbeslag 70 x 55
- 75x75 fuldtømmer
- 5,0 x 50 mm rustfri beslagskruer

Inden montagen påbegyndes måles afstanden mellem de aktuelle spær og fuldtømmeret tilpasses hertil. Monter to vinkelbeslag i hver side.

Fuldtømmeret placeres mellem spærene, så oversiden af tømmeret flugter med oversiden af spærene og tømmerets "bagkant" flugter med lægtens "forkant". Se illustration.



5 Montage på bølgeplader af fibercement

Et bølgepladetag af fibercement opbygges typisk med en spærkonstruktion, hvorpå der fastgøres åse eller lægter afhængig af spærafstanden.

På tage med stor spærafstand eller stor faldhøjde kan der under åse være monteret trædesikkert underlag i form af net eller banevare.

Tage med åse

Ved montage på tage med åse, der typisk er planker eller fuldtømmer af træ, kan ansatsskruer monteres direkte i åsene ved at fjerne de tagskruer, der holder tagpladerne. Hullerne bores op, hvorefter ansatsskruer skrues direkte ned i åsene. Det er vigtigt, at gummimuffen på ansatsskruerne bliver klemmt mod bølgepladen.

Tage med lægter

Ved montage på tage med lægtekonstruktion kan denne løsning ikke anvendes, da lægtedimension eller lægternes fastgørelse i spær ikke skaber fornøden sikkerhed mod vindsug på solcellepanelerne.

Lægter – adgang fra tagrum - se illustration på de næste sider

Hvis der er adgang til tagrummet, monteres 75 x 75 mm tømmer direkte under lægterne og fastgøres med vinkelbeslag, der skrues på siden af spærhovedet. Herefter monteres ansatsskruer som beskrevet for åse af planker eller fuldtømmer.

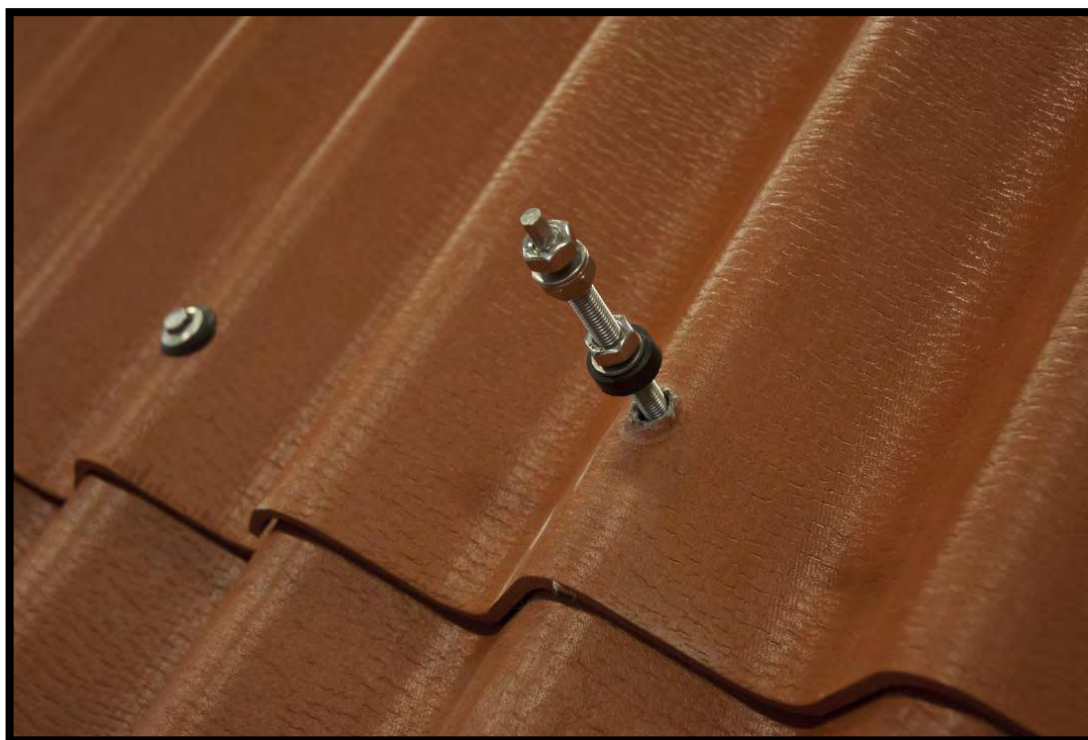
Lægter – kun adgang fra yderside – se illustration på de næste sider

Hvis forstærkning til montage af ansatsskruer skal monteres fra tagets yderside, løsnes en række tagplader, så de kan skubbes op under overliggende plade. Herefter kan en 45 x 120 mm høvlet planke monteres på oversiden af spæret og fastgøres med 2 skruer ned i spærhovedet. Planken placeres så den går fri af den underliggende plades overkant. Samlinger stødes over et spær og planken fastgøres til spæret med vinkelbeslag på undersiden. Inden tagpladerne skubbes på plads, udmåles afstand fra pladernes fastgørelsesskruer op til midten af planken. Nu opmærkes for huller til ansatsskruer i forhold til bølgepladernes fastgørelsesskruer, hvorefter der først bores hul i pladetop og derefter forbores for ansatsskruen i den underliggende planke.

Ansatskruer skal altid placeres i pladernes bølgetoppe, og det sikres at gummimuffen på ansatsskruerne bliver klemmt mod bølgepladen efter montagen for at sikre vandtæthed.

5.1 Fibercementpladetage – på lægter

Montage med adgang fra tagrummet



1.**Materialeliste**

Denne vejledning er baseret på en undersideforstærkning af de lægter hvori der monteres ansatsskruer. Følgende materialer anvendes:

- Vinkelbeslag 70 x 55 mm
- 75x75 fuldtømmer
- 5,0 x 50 mm rustfri beslagskruer

Inden montagen påbegyndes måles afstanden mellem de aktuelle spær og fuldtømmeret tilpasses hertil. Monter et vinkelbeslag i hver side.

2.**Monter forstærkningen**

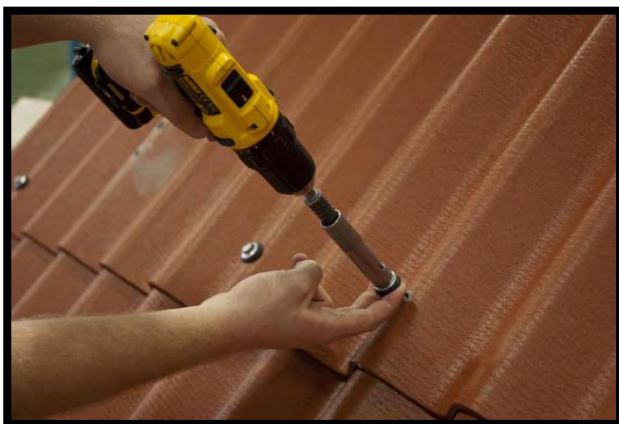
Alle de lægter hvori der skal monteres ansatsskruer forstærkes af fuldtømmer.

! Vinkelbeslag skal vende nedad.

! Overside af tømmeret skal flugte med overside lægte.

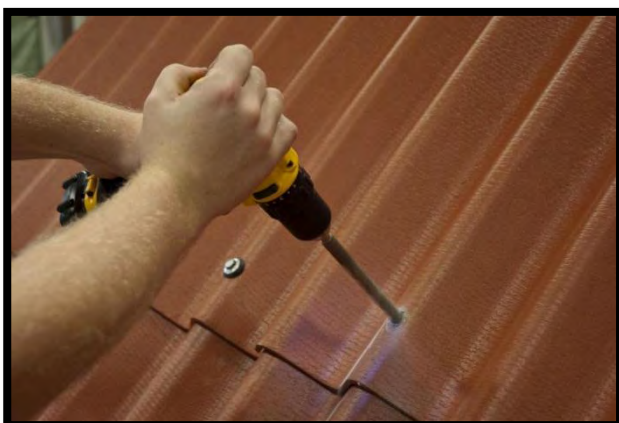
3.**Fastgør vinkelbeslag**

Der skrues med 3 stk. 5,0 x 50 mm rustfri beslagskruer.

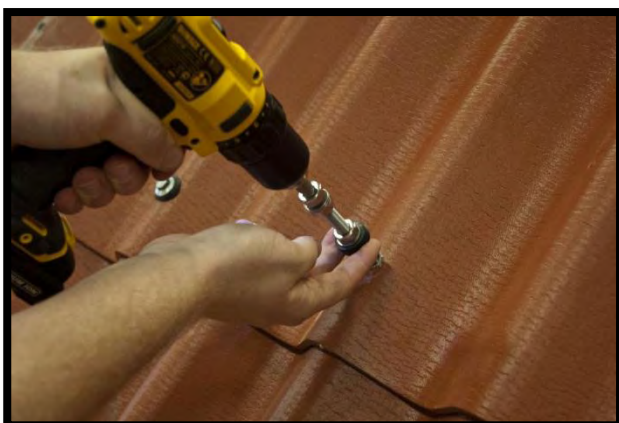
4.**Fjern tagskrue**

På udvendig side fjernes de tagskrue, som skal erstattes med ansatsskrue.

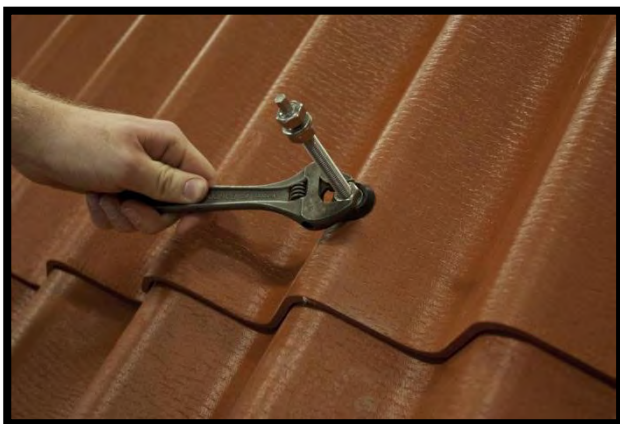
! Pas på med at fjerne så mange skrue af gangen, at pladerne falder ned.

5.**Forbor til ansatsskrue**

Hullerne til tagskrue i fibercementpladerne bores op med et 13 mm murbor.

6.**Montering af ansatsskrue**

Der forbores med 7 mm træbor inden ansatsskrue skrues i de forstærkede lægter.

7.

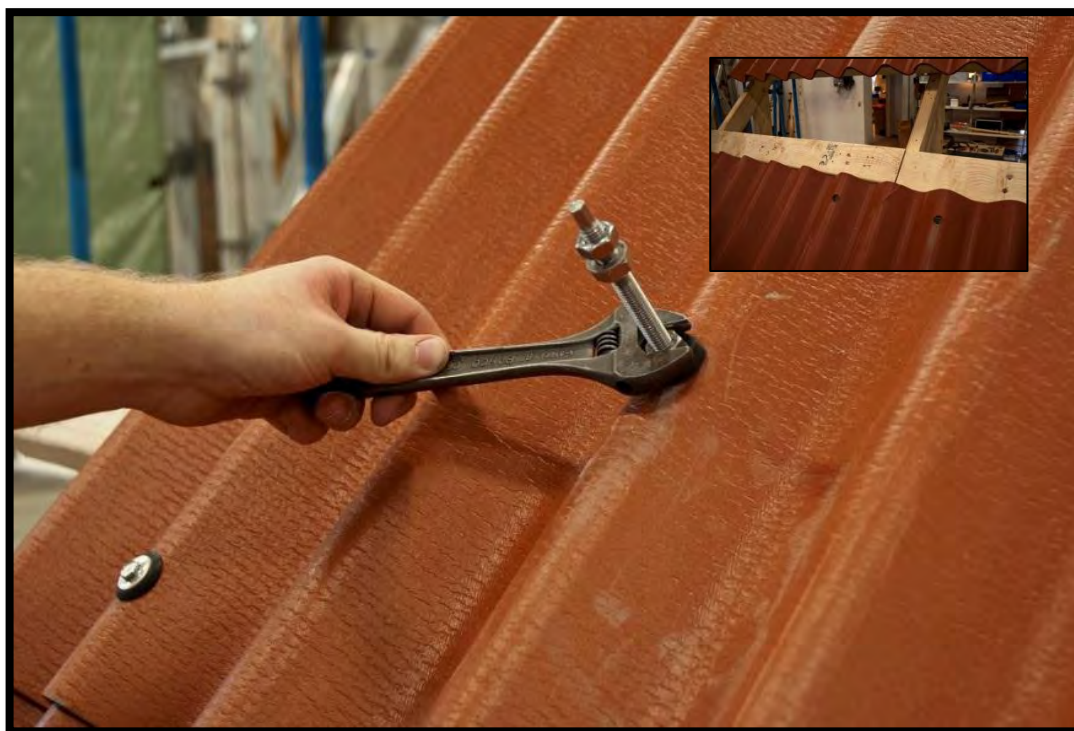
Møtrikken spændes således, at gummihætten slutter tæt om fibercementpladen. Pas dog på med at overspænde.

8.

Efter montage af ansatsskruerne monteres skinnesystemet efter producentens anvisninger.

5.2 Fibercementpladetage – på lægter

Montage fra ydersiden



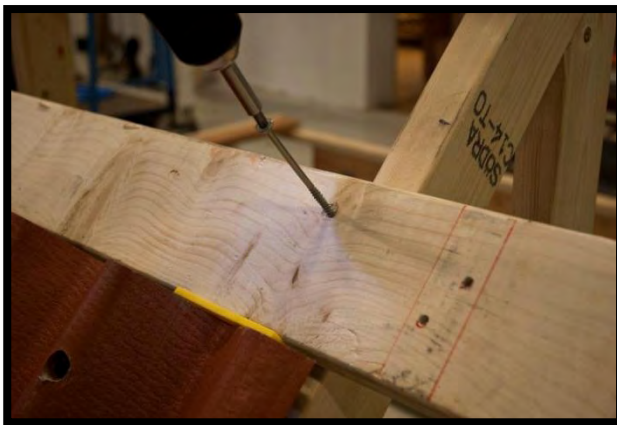
**Gør plads**

Fibercementpladerne fjernes hvor montageskinnerne skal fastgøres. Dette kan gøres ved at løsne skruerne og skubbe pladen op under den overliggende plade.

! Dette er ikke en nem løsning, idet det kan være svært at få pladerne af og på uden at ridse dem, samt at få tætningsbåndet mellem pladerne i.

! Der bør placeres mindst ét beslag i hvert spærfag på langs af taget.

(På billederne er isolering, indvendig beklædning mv. ikke vist)

2.**Monter udvekslingsplanke**

På tværs af spærene monteres en udvekslingsplanke 120 x 45 mm, med 2 stk. 6,0mmx120/60mm skruer i hvert spær.

! Det er vigtigt, at skruer placeres i midten af spæret, samt at der forbores.

! Afstanden fra plankens underside til underliggende fibercementplade bør være minimum 5mm. Kan sikres med afstandsklodser (gul klods på billede).

3.

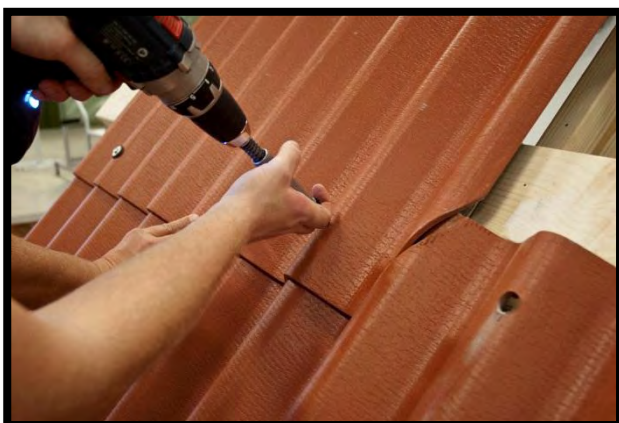
**Stødsamling af flere planker**

Hvis der skal så mange paneler op, at én planke ikke er lang nok, laves stødsamlinger henover spæret.

Dette gøres ved at fastgøre vinkelbeslag i plankens ender, $\frac{1}{2}$ x spærbredde fra kanten. De to plankeender stødes på midten af spæret og fastgøres med 3 stk. skruer, minimum 5,0 x 50 mm.



4.

**Placér fibercementplade**

Fibercementpladen lægges tilbage på plads og skrues fast med de oprindelige skruer.

! Husk at måle afstanden fra skruer til midten af planken, således at punktet, hvor der skal forbores, kan findes.

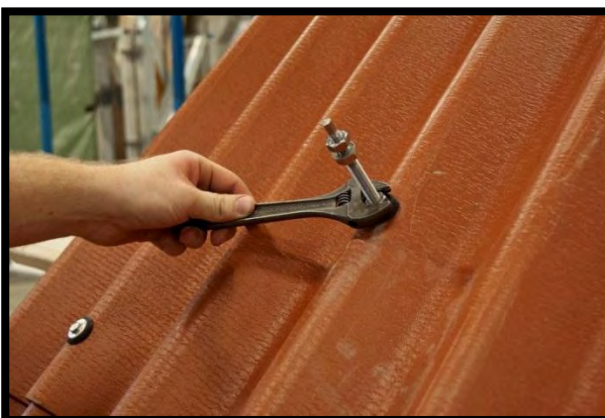
5.**Forbor til ansatsskruen**

Der forbores huller til ansatsskruerne i fibercementpladen med 13 mm murbor.

Det er vigtigt, at man rammer midt i den underliggende planke og at hullet bores på en bølgetop!

6.**Forbor planken**

Når der er boret igennem fibercementpladen forbores hul i den underliggende planke med 7 mm. træbor

7.**Monter ansatsskruen**

Ansatskruen monteres i de forborede huller.

Møtrikken spændes således, at gummi hættten slutter tæt om fibercementpladen. Pas dog på med at overspænde.



8.

Efter montage af ansatsskruerne monteres skinnesystemet efter producentens anvisninger.



6 Tagpaptage

6.1 Generelt

Teknologisk Institut er ved at samle og vurdere diverse løsninger til montering af solcelleanlæg på tagpaptage, både på flade og næsten flade tage samt på tage med hældning (fx listetætning).

Tagpapbranchens oplysningsråd arbejder på en montagevejledning, og Teknologisk Institut vil koordinere anbefalingerne med oplysningsrådets vejledning.

6.2 Flade – eller næsten flade tage

På denne type tag må det forventes, at der ofte samler sig vand på store dele af taget. Det er derfor særlig vigtigt at sikre sig, at ikke kun den mekaniske forankring udføres korrekt, men at den valgte løsning giver den fornødne tæthed mod vandindtrængning.

Som ved alle andre typer af solcellemontage er det vigtigt, at det er de bærende konstruktioner som bruges til forankring. Det frarådes således, alene at fastgøre i tagpaptaget ved at brænde et stykke tagpap over skinnerne og ned på den eksisterende tagpap.

Ballastsystemer

Ligeledes skal man være særlig opmærksom, hvis skinnerne fastholdes med ballastsystemer. Ballastsystemer har den fordel, at man ikke behøver at gennembyde tagbelægningen og dermed øge risikoen for efterfølgende fugtskader. Til gengæld medfører ballasten en betydelig ekstra last på taget, som man skal sikre sig, kan optages. Det anbefales derfor, at få lavet en faglig vurdering og beregning af det aktuelle tag, hvis ballastsystemer skal anvendes. Det skal dog også nævnes, at der er øget risiko for at skade tagpaptaget under opsætning af solcellesystemer med ballastsystemer. De er tunge og kræver en del håndtering, der kan være hårdt for et ældre tag, som herved kan beskadiges. Tagpapbranchens oplysningsråd fraråder ballastløsninger: På varme tage risikerer man nemt lunger, mens det på kolde tage kan forårsage ekstra udbøjning.

Flade tage med varm konstruktion

På varme tage ligger et isoleringslag over den bærende konstruktion. Også her er det vigtigt, at der forankres ned i den underliggende bærende konstruktion. De konsoller der anvendes, skal altså have en udformning der muliggør, at de kan føres gennem isoleringslaget og ned i den underliggende konstruktion, fx beton eller stålplader. Derudover skal vandtætningen sikres og bevægelser, primært fra vind- og snelaster, skal kunne optages uden at tætningen beskadiges.

Det anbefales derfor at bruge en producent som dokumenterer både beslagets (konsollens) bæreevne samt tætheden ved den aktuelle indbygning.

6.3 Flade tage med kold konstruktion

Tagpakkonstruktioner der er opbygget som koldt tag, har typisk et bjælkelag med isolering lagt ned mellem bjælkerne (spærene). Oven på spærene lægges et brædde- eller pladelag hvorpå der svejses tagpap, og nedenunder opbygges loftsbeklædningen. Op til starten af 00'erne, var spærene til de flade tagpaptage på 1-familie boliger typisk omkring 100 mm brede. Efter skrappe krav til energiforbruget, og dermed isoleringstykkelsen, blev indført, er man gået over til at bruge gitterdragere, hvor spærhovedet typisk kun er 45 mm. Dette kan give udfordringer, når skruerne skal sættes i spæret og når kantafstandene angivet i trænormen skal overholdes, når der benyttes skruer af en hvis størrelse.

På grund af brædde- eller pladelagets beskedne bæreevne og udtræksstyrke for skrueforbindelser, er det vigtigt, at solcellebeslagene forankres i spærene. Dette anbefales, også på baggrund af betragtningen om, at bræddernes eller pladernes forankring i spærene ikke kan dokumenteres i forhold til korrekt udførelse.

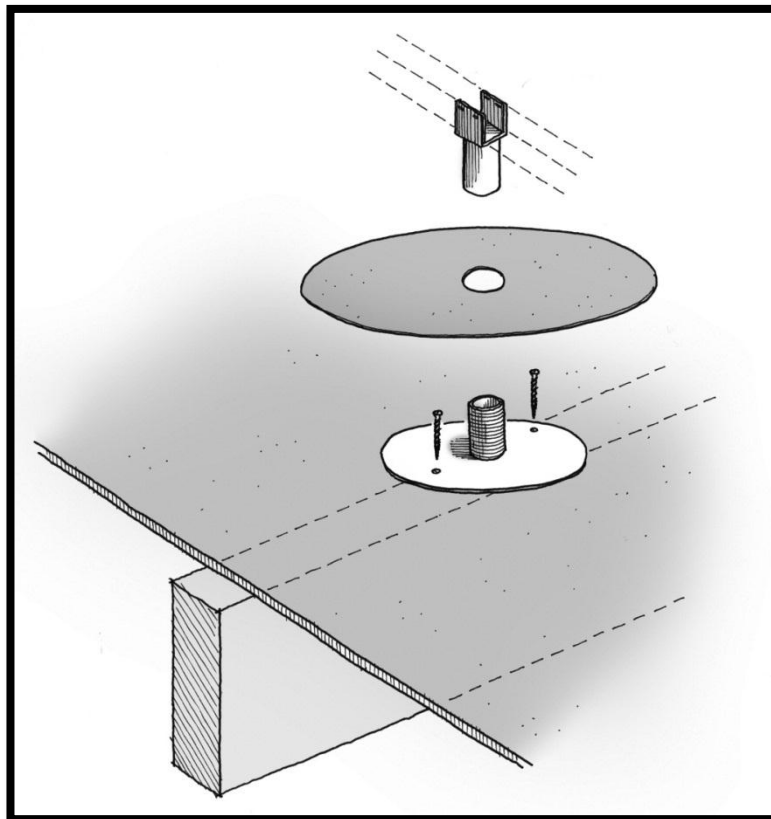
Udover en forsvarlig forankring i de bærende konstruktioner, er det vigtigt, at tætningen mod indtrængning af vand udføres korrekt. Dette betyder, at der ikke bør være nogle "svage led", som fx pakninger på kritiske steder, som kan blive sprøde på grund af ældning og udsat for mekaniske påvirkninger som gør dem utætte. Der bør stilles samme krav vedrørende tæthed for bæringerne til solceller som for andre gennemføringer i tagpaptaget.

Løsningen der er skitseret på Billede 1, er ment som en funktionsbeskrivelse af en simpel konsol der er udarbejdet under hensynstagen til de forhold der er beskrevet i det ovenstående.

BEMÆRK: Alle dimensioner samt konsollens udformning er vejledende! Dokumenteret dimensionering og udvikling varetages af producenter.

Konsollen består af tre dele:

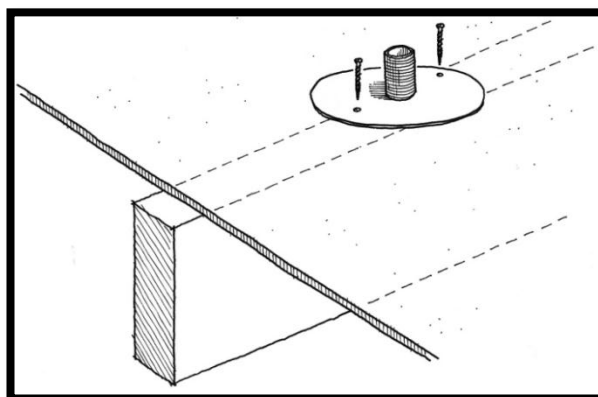
1. Konsolfod med 2 stk. undersænkede skruehuller og påsvejst rørstykke Ø35 med udvendigt gevind; fodplade Ø195
2. Svejselab af tagpap Ø355 med hul til rørstykke Ø35
3. Konsoltop med indvendigt gevind (til fastgørelse af montageskinner)

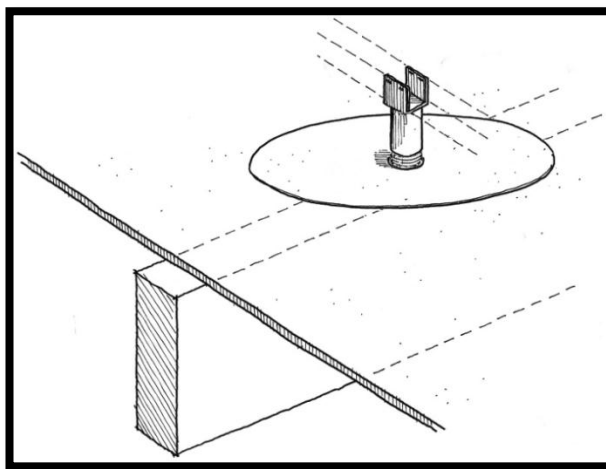
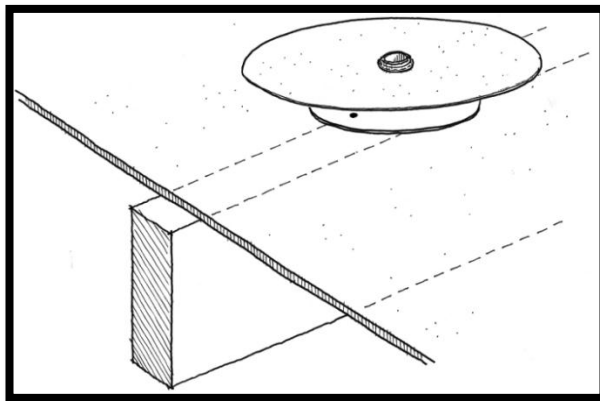


Billede 1 - Principskitse af montagekonsol til tagpaptage

Montagen udføres i 4 simple trin:

1. Spæret lokaliseres
2. Der afmærkes i skruehuller og forbores, hvorefter konsolfoden skrues fast
3. Svejselabben vrides ned over konsolfoden og svejses fast
4. Konsoltoppen skrues fast på konsolfodens gevind i den nødvendige højde og orientering i forhold til de andre beslag.





6.4 Tage med hældning og kold konstruktion

Hvis taget ikke er fladt og regnvandet dermed nemmere kan løbe af, er problemerne med tætningen ikke nær så kritisk. Beslag af konsoltypen, som beskrevet i 0, kan, hvis de er dimensioneret og dokumenteret herfor, også anvendes til denne type af tag. Det skal dog bemærkes, at flere af de producenter der er på markedet, sætter en maksimal grænse for taghældningen, hvorover beslaget ikke bør anvendes, uden nogle bestemte forudsætninger kan dokumenteres i forhold til anvendelsen.

Det anbefales altid at anvende beslag fra en producent som kan dokumentere bæreevnen af beslaget ved den aktuelle anvendelse.

Tagpapbranchens Oplysningsråd påpeger, at man på flade tage generelt skal være opmærksom på, at montering af solcelleanlæg kan give anledning til ekstra snelast.



7 Generelle anbefalinger

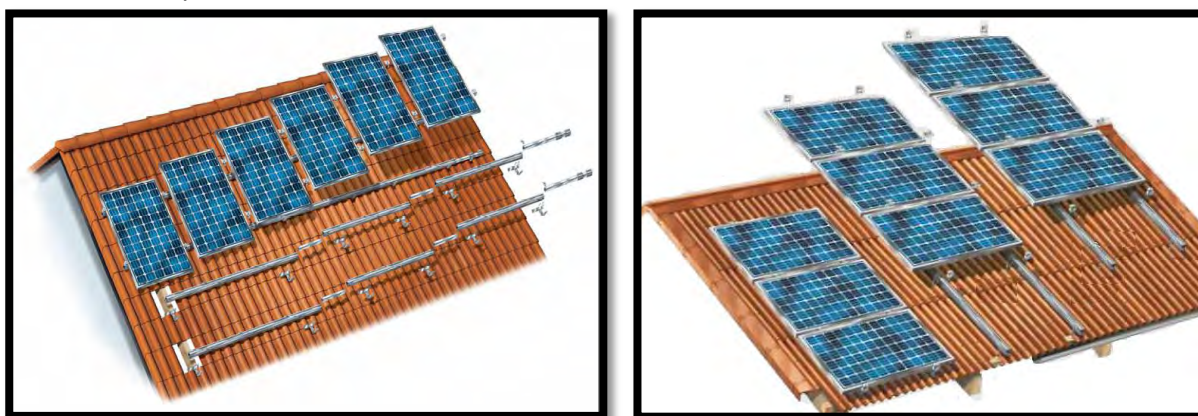
OBS.	Hvorfor?
Montere i lægterne	Mange huse har spinkle lægter der ikke er tilstrækkelig fastgjort i de bærende spærkonstruktioner. Sådanne lægter egner sig ikke til at bære et solcelleanlæg og modstå de lastpåvirkninger der opstår som følge af vind og sne. Derudover er risikoen for at lægterne simpelthen flækker, stor, når der bores en montageskrue ned i dem.
Gennembore fals- og vingetagsten	At gennembore fals- og vingetagsten for at montere solcelleanlæg frarådes generelt, da man herved øger risikoen for at stenene ødelægges eller forskubber sig så pakningen ikke slutter tæt.
Bore i tagbelægningens bølgedale	Det mest udsatte sted på tagbelægninger med bølger er bølgenes bund. Her samler alt vandet sig nemlig når det regner. Det er derfor ganske u hensigtsmæssigt at gennembore tagfladen lige hér. Selvom der sidder en gummipakning på beslaget, kan det ske, at der opstår utætheder, da pakningen vil ældes og blive sprød.
Montere på tagbelægningens skrå sider	Det giver næsten sig selv, at en montageskrue der skrues lodret ned i et spær og hvis pakning rammer en skrå flade, vil give problemer med tætheden. Så derfor – husk altid at montere i bølgenes top.
Træde på beslag og lægter under montagen	Mange lægter, typisk på lidt ældre huse, kan nemt tage skade, hvis man går på dem under montagen. Det samme gør sig gældende for de beslag der allerede er monteret; De bliver udsat for belastninger og vrid de ikke er beregnet til, og man kan risikere at ødelægge både beslag og tag allerede inden panelerne er sat op!
Beskadige et evt. undertag.	Undertaget er meget vigtigt for tætheden af en tagkonstruktion. At beskadige undertaget kan derfor have alvorlige følger i form af indtrængende fugt og efterfølgende råd- og svampeskader i træværket.

8 Skinnesystemer

Det kan ikke fremhæves for meget, at man til enhver tid skal følge producentens anvisninger. Nedenfor anføres dog en række af gode råd til bestemmelse af antallet af beslag skal bestemmes, afstanden mellem dem, og hvordan skinner som hovedregel skal monteres.

Hvad består et skinnesystem af?

- Beslag, fx tagkroge
- Montageskinner, evt. samle led, teleskop led mm afhængigt af det valgt system
- Monteringsklips, til fastmontering af paneler på skinner, både ende- og midt-klips
- Diverse bolte, til fastgørelse af skinner til beslag og klips til skinner
- Kabelklips, til fastspænding af kabler på skinnerne
- Evt adaptervinkler, hvis skinnerne skal vendes vertikalt



Billede 2 - Eksempel på et skinnesystem³, horisontale og vertikale skinner [9]

For at kunne komme til at fastmontere modulerne bedst muligt, foreskriver de fleste producenter, at skinnerne skal på tværs af modulet på den smalle led, som det eksempelvis er illustreret på Billede 2.

Skinnerne vil typisk skulle føres vandret, nogle systemer muliggøre at de kan lægges vertikalt, så man kan montere modulerne som på Billede 2 til højre.

Det er en kendsgerning, rent fysisk, at aluminium er mere resistent over for korrosion end jern. Der er dog stor forskel på den legering der bliver brugt af producenterne, på aluminiumsskinnerne. Da vi i Danmark har meget kyststrækning, skal man være opmærksom den ekstra saltholdige luft ved kysterne, som vil øge korrosionen (også på alu). Mange af de systemer der anvendes i Danmark er produceret i Tyskland, hvor man ikke har samme problematik, og man bør derfor i kystnæreområder undersøge om skinnesystemet egner sig.

For yderligere om skinnesystemer, vindlaster, tryk og træk se afsnit 11.4.3.

³ Billedet er fra Würth

8.1 Beslag

Som hovedregel benyttes der fire beslag pr. to paneler, men antallet af beslag og afstand mellem dem, afhænger naturligvis også af forholdene på taget, se afsnittet Tagforhold. Der er dog forskel på, på hvilken led man vil vende modulerne. For mere om tryk og træk se 11.4.3.2.

8.2 Fastgørelse af paneler

Panelerne fastgøres til skinnerne ved brug af monteringsklips, hvert panel skal fast gøres med fire klips. Der er overordnet to slags klips, en til at sidde mellem to paneler (midt), og en til at sidde yderst og kun holde et panel. På Billede 5 er bl.a. illustreret hvordan klipsene bør være placeret for at have bedst greb på panelet, altså samme sted på panelet uanset om det vender vertikalt eller horisontalt.

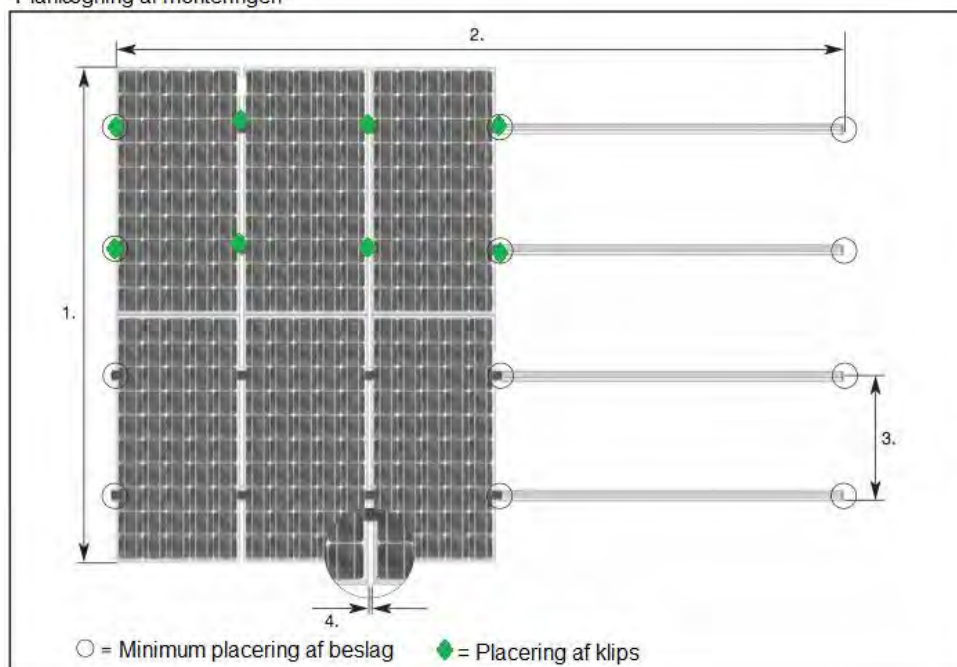


Billede 3 - eksempel på monteringsklips (midt)



Billede 4 - eksempel på monteringsskinne

Planlægning af monteringen

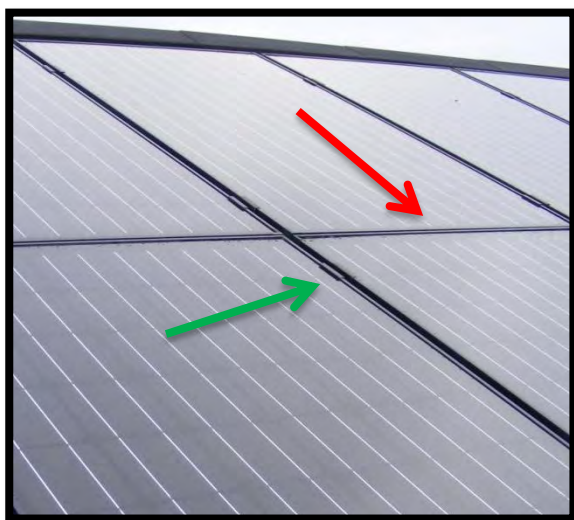


Billede 5 – Afstande mellem skinne, beslag mm (princip skitse)

8.3 Solcellepanelerne

Ved placering af panelerne på skinnerne, er der enkelte hensyn man skal tage, som oftest også er foreskrevet af producenten. Det er dog værd at notere sig, at man altid skal være opmærksom på:

- Afstand mellem panelerne - da rammen skal have plads til, at udvide sig grundet varme. Afstanden fastsættes af sol-panel-producenten.
- Justering – sørg for at panelerne bliver højdemæssigt justeret i forhold til hinanden, så de fremstår som en samlet flade.

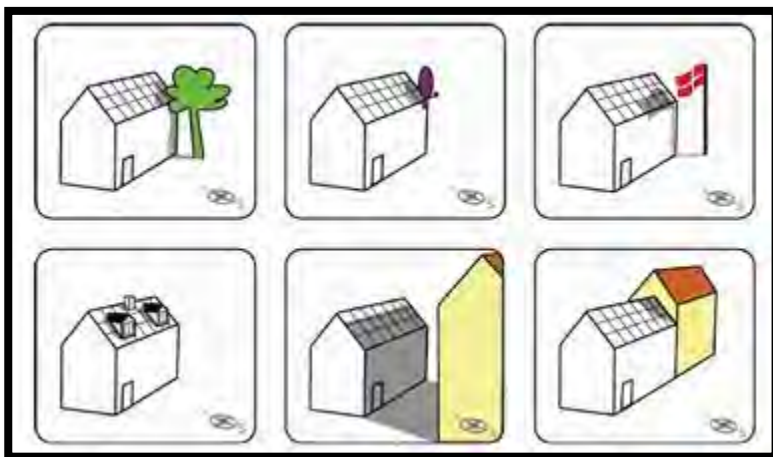


Billede 6 - Markering af mellemrum panelerne imellem

Ofte så sørger monteringsklipsene for den fornødne afstand mellem panelerne på den enkelte række, men er der flere rækker skal man være opmærksom på, at afstanden også holdes til det ovenliggende panel. På billedet ovenfor er monteringsklipsen mærkeret med grøn pil, mens den røde pil angiver spalten hvor klipsene ikke sikrer afstanden.

8.4 Skygge og tagforhold

På langt de fleste tage er der forhold der skal tages hensyn til, der skal kigges på skorsten, antenne, karnap, vinduer og andre ting der bryder tagfladen. Det er både for at undgå skygger, men også i forhold til hvordan panelerne kan placeres på taget, se Billede 8 og Billede 9. På Billede 7 er vist nogle forhold der kan medvirke til skygger på taget, det er meget vigtigt at være opmærksom på disse forhold inden anlægget sættes op, da det kan have en enorm indflydelse på anlæggets ydeevne. Hvis man har et meget skyggefuldt tag, kan man overveje at placere anlægget på en garage, udhus, eller som fritstående, bare anlægget er placeret på matriklen.



Billede 7 - Skyggeforhold på taget

Neden for ses et par eksempler på tage med solcelleanlæg, hvor man har været nødt til at tage hensyn til tagforholdene. Disse forhold kan også have en indvirkning på hvordan det er lettest af montere skinnesystemet.



Billede 8 - Tag med vinduer, karnap og ventilationshætte

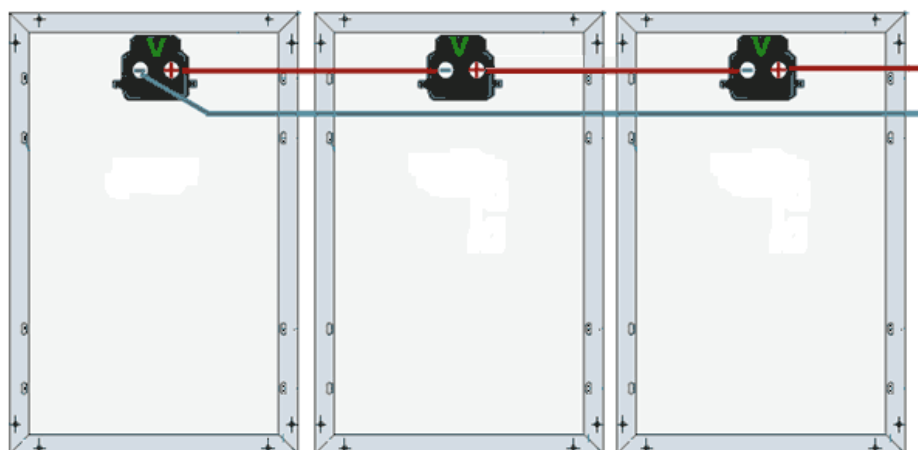


Billede 9 - Tag med vinduer og taghætter

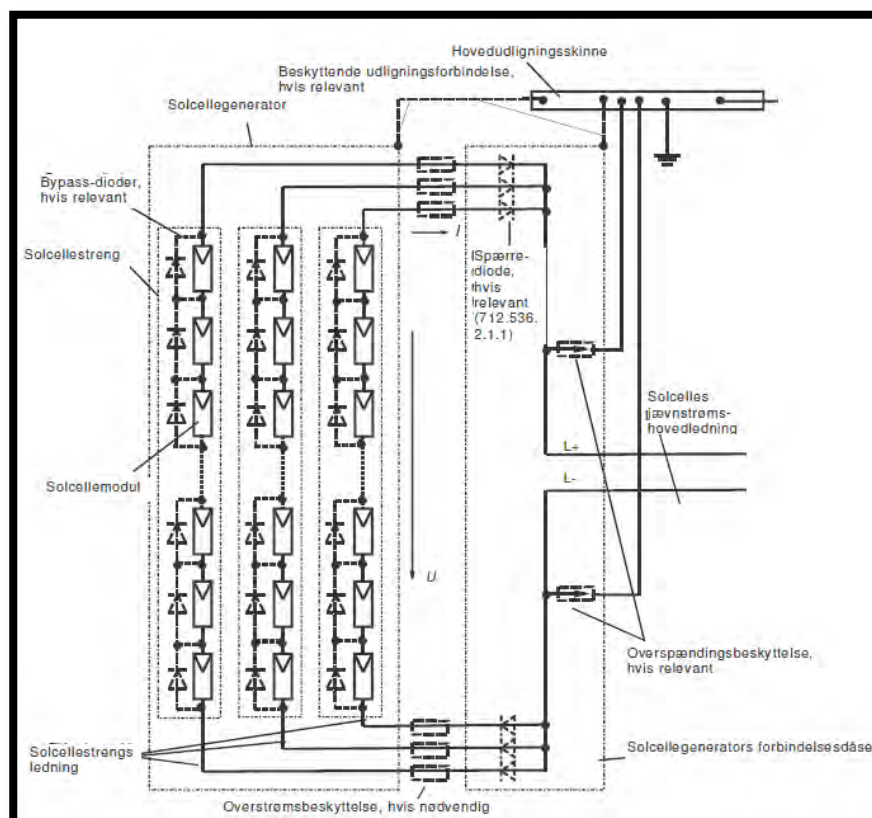
8.5 Sammenkobling af solcellestrengs ledninger

Normalt vil man koble modulernes kabler sammen efterhånden som modulerne monteres, modulerne kobles i serie (se Billede 10), og skal derfor være ens. Afhængigt af anlægget størrelse og typen af

inverter, kan man opdele panelerne på flere solcellestreng, så fx paneler der bliver udsat for skygge samtidigt er på samme streng og derved ikke påvirker ydelsen på de resterende paneler. Solcellestrengene parallelkobles og føres samlet til invertereren, se Billede 11. På skitsen nedenfor er illustreret en seriekobling af tre paneler, som på den måde danner en solcellestreng. Det skal her fremhæves, at der ikke må opstå ringforbindelser når kablerne kobles. Kablerne på taget bør fastgøres, fx med strips til skinnerne så de ikke kan ligge og slides på taget – det fremhæves i denne sammenhæng, at der ikke er krav om dette jf. Stærkstrømsbekendtgørelsen, men kun en anbefaling.



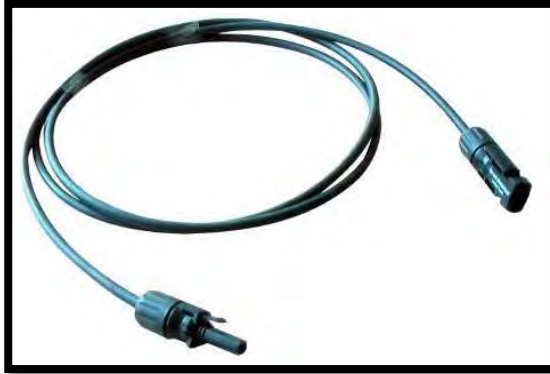
Billede 10 - Seriekobling af tre paneler (princip skitse)



Billede 11 - Forbindelses diagram, princippet for forbindelse af solcellemoduler⁴

⁴ Udklip af figur 712.1, i Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6A

Det er vigtigt her, at huske at kablerne er spændingsførende så længe at der er lys på modulet. Hvis det er nødvendigt at ændre på kablerne, så læs kapitlet: Hvem må udføre kabelføring. For at simplificere sammenkoblingen af kablerne, leveres de fleste med berøringssikrede stikpropper, som det ses på Billede 12. De kabler som benyttet på jævnstrømssiden er dobbelt isolerede et-lederkabler.



Billede 12 - Forlænger kabel



Billede 13 - Dobbelt isoleret et-lederkabel

9 El teknisk

Inden for den elektriske del af installationen er det Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6 og afsnit 6A, kapitel 712, samt en meget væsentlig SIK-meddelelse for elinstallationer, nr. 2/12, som er gældende.

Stærkstrømsbekendtgørelsen er gældende for hele installationen af solcelleanlægget. Maskindirektivet er ikke relevant mht. el-arbejdet i forbindelse med installation af solcelleanlæg.

Meddelelsen afgrænser hvilke arbejdsopgaver, der skal udføres af en autoriseret elinstallatør, og hvornår det ikke er nødvendigt, inden for arbejde med solceller.

I Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6A, kapitel 712, er en uddybende ordforklaring inden for solcellebegreber, samt hvilke krav, der specielt stilles til solcelle-installationer, fx hvilken fejlstrømssikring der skal anvendes i forhold til inverteren.

I Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6 er retningslinjerne for, hvordan elinstallationer generelt skal udføres, fx hvordan kabler skal føres, og hvilken dimension de skal have. Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6 dækker alle typer af el-arbejde og skal derfor altid overholdes i forbindelse af installation af solceller, uanset hvem der monterer og installerer, også selvom der ikke er krav til, at det er en autoriseret elinstallatør, der skal udføre arbejdsopgaven.

9.1 Kabler og sikkerhed

9.1.1 Hvem må udføre kabelføring?

Det anbefales, at det altid er en autoriseret elinstallatør, der står for alt el arbejdet. Det er dog i nogle situationer tilladt for lægmand, at sammenkoble de enkelte solcellemoduler og fremføre kablerne mellem solcellerne og inverteren. Jf. SIK-meddelelse for elinstallationer nr. 2/12:

Montage og sammenkobling af de enkelte dele af en solcelleinstallation, som udgør ét samlet produkt, er ikke omfattet af elinstallatørlovens bestemmelser, såfremt der foreligger en beskrivelse af montagen og sammenkoblingen.

Det er her vigtigt at holde fast i begrebet "et samlet produkt", som skal forstås således, at det er et færdigt konfektioneret system, som købes. Sikkerhedsstyrelsen har desuden uddybet, at det medfører at:

Markedsføres anlægget som et samlet produkt med mulighed for en gør-det-selv løsning, skal vejledningen til montering af anlægget være så tilstrækkelig udførlig, at muligheden for at lægmand laver fejl er minimal.

I SIK-meddelelsen står der endvidere:

Sammensættes en solcelleinstallation af en række forskellige produkter, hvor der ikke foreligger en samlet beskrivelse af montage og sammenkobling, er sammenkoblingen og montagen af den samlede solcelleinstallation forbeholdt autoriserede elinstallatører samt personer og virksomheder, der som erhverv producerer, reparerer og vedligeholder solcelleinstallationer. Dette følger af elinstallatørlovens 3, stk. 2.

Hvis lægmand, mod anbefalingen, vælger at udføre kabelføringen, at det vigtigt at være opmærksomme på at kablerne er strømførende, når de føres. Kablerne må ikke tilrettes af lægmand, som fx forkortes eller skifte stikpropper. Anlægget SKAL være færdigt konfektioneret, for at lægmand må arbejde på el siden.

Der er endnu ikke set samlede produktløsninger, som lever op til kravene for lægmandsinstallation, men det kan naturligvis komme.



Billede 14 - Kabel føres gennem etageadskillelse

9.1.2 Kabelføring og anvendelse af materiale

Kabelføring skal altid overholde kravene i Stærkstrømsbekendtgørelsen uanset hvem der udfører arbejdet, jf. SIK-meddelelse for elinstallationer nr. 2/12:

Det bemærkes, at bestemmelserne i stærkstrømsbekendtgørelsen skal overholdes, uanset hvem der monterer og sammenkobler anlægget. Der henvises særligt til afsnit 6, kap. 55 og afsnit 6A, kap. 712.

Det anbefales at alle kablerne i solcelleinstallationen afmærkes tydeligt, og at der gøres opmærksom på hvilke, der fører jævnstrøm og er spændingsførende, selv når solcelleinstallationens fejlstrømsbeskyttelse (HPFI-afbryder, ofte også betegnet HPFI-relæ) er afbrudt.

Der stilles desuden krav til det materiale, der må anvendes, Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6A, 712.522.8.1:

Solcellestrengens ledninger, solcellemodulernes ledninger og solcellers jævnstrømshovedledninger skal vælges og installeres på en sådan måde, at risikoen for jordfejl og kortslutning minimeres.

Note Dette kan fx opnås ved at forstærke beskyttelsen af ledningerne mod ydre påvirkninger ved anvendelse af ledninger, som ud over grundisolation er forsynet med ekstra isolation (kappe).

Desuden skal følgende overholdes:

Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6A, 712.522.8.3:

Ledningssystemer skal kunne modstå de forventede ydre påvirkninger som fx vind, isdannelse, temperatur og solbestråling.

Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6, 132.7 Ledningssystemer og installationsmåder:

Valget af ledningssystem og installationsmåde afhænger af:

- Områdets art.

- Arten af vægge og andre bygningsdele, som bærer ledningssystemet.
- Ledningssystemets tilgængelighed for personer og husdyr.
- Spænding.
- De elektromagnetiske påvirkninger, der kan opstå ved kortslutning.
- Andre påvirkninger, som ledningssystemet kan blive udsat for under udførelsen af installation eller under drift.

Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6, 514.2 Ledningssystemer:

Kabler og ledninger skal være anbragt eller mærket på en sådan måde, at de kan identificeres ved eftersyn, prøvning, reparation eller ændring af installationen.

Kablerne, der føres fra solcellemodulerne og frem til inverteren, skal som nævnt tidligere været egnet til at blive ført ude. Derudover skal der anvendes dobbelt isolerede en-leder kabler, da der i dagslys er jævnspænding på kablerne, når de føres, og man skal være opmærksom på den mulighed for personfare, der ligger heri samt på risikoen for en farlig lysbue, hvis plus og minus kortsluttes.

På vekselspændingssiden kan der mellem inverter og fejlstrømsafbryder benyttes et almindeligt lavspændings tre-leder kabel.

Der henvises generelt til Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6, kapitel 52, Valg og installation af ledningssystemer. Herunder er de væsentligste tabeller fra dette kapitel vist:

521.6 Rør og ledningskanalsystemer.

Det er tilladt at fremføre flere strømkredse i samme rør eller ledningskanalsystem, forudsat at alle ledere er isoleret for den højeste forekommende nominelle spænding. Se i øvrigt 462.3.

Tabel 52-A

(IEC tabel 52F) - **Valg af ledningssystemer**

Fremføring		Uden fastgørelse	Fastgjort direkte	I installat ionsrør	I lednings kanalsy stemer 1)	I lukket ledning skanal	På kabelstige, kabelbakke m.v.	På isolatorer	På bæretråd
Ledninger og kabler									
Uisolerede ledere		÷	÷	÷	÷	÷	÷	+	÷
Isolerede ledere		÷	÷	+	+2)	+	÷	+	÷
Kabler og ledninger med kappe (herunder armerede og mineraliserede kabler)	Flerleder	+	+	+	+	+	+	0	+
	Enleder	0	+	+	+	+	+	0	+

+ : Tilladt

÷ : Ikke tilladt

0 : Uanvendeligt eller anvendes ikke i praksis

1) Herunder listesystemer, gulvkanalsystemer m.v.

2) Isolerede ledere er tilladt, hvis dækslet kun kan åbnes ved brug af værktøj eller ved særlig anstrengelse med hånden, og hvis ledningskanalsystemet mindst er IP4X eller IPXXD.

Tabel 52-B - Installation af ledningssystemer

(svarer til IEC tabel 52g tilpasset 2. udgave af IEC 60364-5-523)

Fremføring af ledninger og kabler	Uden fastgørelse	Fast-gjort direkte	I installat ionsrør	I ledningskana lsystemer 1)	I lukket ledningskanal	På kabelstige, kabelbakke m.v.	På isolatorer	På bæretråd
Anbringelse								
I bygningshulrum	15, 16, 40, 47	0	15, 16, 41, 42	÷	43, 44	30, 31, 32, 34	÷	÷
I kabelkanal	56	56	54, 55	6, 7, 8, 9	43, 44	30, 31, 32, 34	÷	÷
I jord	72, 73	0	70, 71	÷	70, 71	0	÷	÷
Skjult i bygningsdele o.l.	3	3, 57, 58	1, 2, 59, 60	50, 51, 52, 53	45, 46	0	÷	÷
Udvendig på bygningsdele o.l.	÷	20, 21, 22, 33	4, 5	6, 7, 8, 9, 12, 13, 14	0	30, 31, 32, 34	36	÷
I fri luft	÷	÷	0	10, 11	÷	30, 31, 32, 34	36	35
Nedsænket i vand	80	80	0	÷	0	0	÷	÷

Tal i rubrikkerne betyder tilladt. Tallene henviser til numrene i tabel 52-D2.

÷: Ikke tilladt

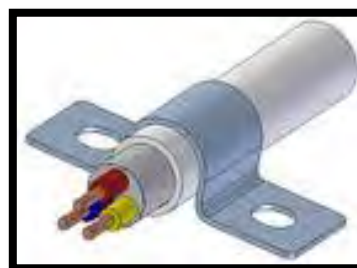
0: Uanvendeligt eller anvendes ikke i praksis

1) Herunder listesystemer, gulvkanalsystemer m.v.

Tabel 52-D2 "Sammenhæng mellem installationsområder og reference installationsområder til anvendelse ved bestemmelse af strømværdier" er indsat som bilag 10.3.

9.1.3 Fastgørelse og føring af kabler

Det er vigtigt, at kablerne fastgøres, dette gælder alle kabler i installationen. På lofter er det nemmest at føre kablerne i rør fastgjort med bøjler. Det accepteres ikke at have kabler liggende løst, da dette øger risikoen for skader på kablerne og dermed personfare og lysbuedannelse (jævnstrømskabler). Se Billede 15 og Billede 16 som godt og dårligt eksempel på kabel fastgørelse. Tallet i parentes sidst i billede teksterne refererer til nummeret i tabel 52-D2.



Billede 15 – Kabler ført i rør, fastgjort med bøjler (4)



Billede 16 – Sådan skal kablerne ikke "smides" rundt (+)

Hvor kablerne føres synligt i eksempelvis gangarealer anbefales det at føre kablerne i kabelbakker, som på Billede 17, da dette giver en diskret og pæn løsning.



Billede 17 – Kabler ført i kabelbakke (7)

En pænere, men også mere omstændelig føring er skjult i væg. Det er ikke alle vægge som er termisk isolerede og ej heller at man har adgang til isoleringen hvor et rør kan føres i eller i det hele taget har hulrum. I massive vægge kan man fræse en rille hvor i kablerne kan føres, dette ses dog sjældent anvendt uden at være en del af en større renovering.



Billede 18 – Kabler ført skjult i rør i væg (1)

En meget simpel, helt acceptabel, men ikke altid så pæn en fastgørelsesmetode er med kabelklips.



Billede 19 – Kabler fastgjort med kabelklips (20)

For yderligere om kabelfastgørelse se tabel 52-D2, bilag 10.3.

9.1.4 Kabelgennemføring i klimaskærm

Der findes mange måder, at få ført kablerne gennem taget på. Ved tegltage kan den simple løsning være at føre kablerne ind mellem to tegl, fx langs med en tagkrog. På andre tagtyper kan det være lidt mere omstændeligt at få kablerne gennem taget

I dette afsnit vil de mest almindelige gennemføringer blive belyst med fordele og på hvilke tagtyper de kan benyttes. Der er jo som sådan ikke noget nyt i at skulle føre kabler gennem taget, dette har man jo altid gjort med antenne kabler; det er imidlertid væsentligt, at det sikres, at gennemføringen ikke medfører utætheder i taget. Der gælder naturligvis de almindelige regler for brandtætning, som derfor ikke udspecificeres.

9.1.4.1 Gennem undertag/banevare

Ved gennemføring af kabler i undertaget er det vigtigt at sikre sig, at der ikke laves skader. Ved banevarer anbefales det kun at lave gennemføringer på fast underlag, men det kan dog også laves ved at føre kablet gennem en undertagsventil. Det er vigtigt altid at følge undertagsproducentens anbefaling, samt at bruge samme fabrikat af undertagsventil eller lignende som undertagets fabrikat, så man sikrer sig, at det passer sammen. På duko.dk og bygerfa.dk kan man se hvilke fabrikater, der anbefales, samt læse om erfaringer angående montering, og hvad man generelt skal være opmærksom på, når man arbejder med undertage. På billedet er vist et eksempel på en undertagsventil.



Billede 20 - Undertagsventil

9.1.4.2 Tudsten, taghætter eller lign

Det er forholdsvist nemt at udskifte en tegl med en tudsten, eller bruge eksisterende tudsten. På billedet er illustreret hvordan et solvarmeanlægs slanger samt kablerne fra solcelleanlægget er ført gennem en tudsten. Ved at bruge en tudsten sikres at kablerne ikke beskadiges mellem tagstenene.



Billede 21 - Et solvarmeanlægs slanger samt kablerne fra solcelleanlægget er ført gennem en tudsten

9.1.4.3 Gennemboring med fugemasse som tætning

Når der ikke er mulighed for, at føre kabler mellem to tegl eller at udskifte en teglsten til en tudsten, fx på et understrøget tag, kan det være nødvendigt at bore hul i en tegl for at få ført kablerne ind. På Billede 22 er vist et understrøget tag, hvor boring i teglsten har været nødvendig, udvendigt er tætnet med fugemasse. Man skal dog være opmærksom på, at mange fugemasser ikke tåler uv-bestråling, så ved brug af denne løsning bør gennemboringen være under et solcellemodul, så uv-bestrålingen minimeres. Som ved alle andre borer i tage, er det vigtigt, at den udføres i en bølgetop. Hvis denne løsning kan undgås, vil dette dog være at foretrække, da boring i tegl aldrig kan anbefales.



Billede 22 - Understrøget tag, hvor boring i teglsten har været nødvendig; udvendigt er tætnet med fugemasse

9.1.4.4 Rør/kabelmanchet, EPDM-lap mm

På eternit-, stål- og andre pladetage hvor der ikke er mulighed for at føre kablerne ind mellem to plader, vil en gennemboring være nødvendig, for at sikre tætheden. Det anbefales at bruge en kabelmanchet, EPDM-lap eller lignende. På billedet er vist en kabelmanchet.



Billede 23 - Kabelmanchet

9.1.4.5 Helt uden om

På flade tagpaptage, kolde såvel som varme, anbefales det ikke at føre kabler gennem tagfladen, da sikring mod fugt vil blive meget omstændeligt. Det vil være nødvendigt at finde helt andre veje og skulle gå helt uden om tagfladen og føre kablerne ind under taget eller gennem en gavl.

Ved varme tage vil det være omstændeligt at skulle føre kabler igennem tagfladen, da der skal sikres tæthed både oppe og nedefra, og det anbefales her helt at undgå at føre kabler igennem tagfladen. Dette kan dog give bedre mulighed for udvendig placering af inverter, se 9.2.

9.1.5 Kraftige buk og klemninger af kabler

Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6, Andre mekaniske påvirkninger:

522.8.1.2 *Alle bøjninger i ledningssystemet skal have så stor en radius, at ledninger og kabler ikke lider skade.*

9.2 Inverteren

9.2.1 Hvem må montere inverteren?

Tilkobling af kablerne fra solcellerne til inverteren må kun udføres af en autoriseret elinstallatør, med mindre det er en del af ét samlet produkt og der foreligger en beskrivelse for udførelsen; i så fald er der ingen krav til hvem der må udføre det. Jf. SIK-meddelelse for elinstallationer nr. 2/12, se "Hvem må udføre kabelføring". Det er kun en autoriseret elinstallatør, der må tilslutte inverter til gruppe-tavle. Der gøres endnu en gang opmærksom på, at kablerne fra solcellerne i dagslys er spændingssatte. Solcellerne genererer jævnspænding og er ofte sammenkoblet til spændinger på 600 til 800 VDC eller endnu højere. Mekanisk skade på kablerne udgør derfor personfare og risiko for en alvorlig lysbue. Det anbefales derfor, at en autoriseret udfører alt el arbejdet.



Billede 24 - Tilslutning af inverter

9.2.2 Placering af inverteren

Generelt bør det tilstræbes, at inverteren placeres tørt, køligt og velventileret, støvfrit og ikke nær beboelsesrum.

Der er ingen absolutte generelle krav til dens placering, bortset fra at den aldrig må monteres direkte på brændbart materiale. Der vil dog næsten altid være en anvisning fra producenten om dennes krav til placeringen. Der skal sørges for, at inverteren kan komme af med overskudsvarmen, og derfor placeres den med så lav omgivelsestemperatur som mulig. Mange invertere vil drosle ned på effekten aftaget fra solcellerne, hvis de ikke kan afgive tabsvarmen fra effektkonverteringen som følge af for høj omgivelsestemperatur. En placering udendørs, tørt og skyggefuldt, vil derfor ofte være en optimal løsning (hvis producenten tillader det). En udendørs placering kan dog besværliggøre kabelføringen. På Billede 25 er et eksempel på udendørs monteret inverter.

Ved placering indendørs anbefales, at den placeres i ikke-opholdsrum fx i bryggers, kælder eller andre rum, der ikke benyttes og opvarmes i samme grad som opholdsrum, dog ikke på ubenyttede lofter, da

temperaturen ofte er meget høj der om sommeren. Mange invertere laver en let højfrekvent summen, 30-60 dB, som resultat af deres indbyggede blæser, og der kan også forekomme lyde fra relæer. Så ved placeringen skal det også sikres, at dette ikke giver gener; der henvises igen til, at inverteren placeres i ikke-opholdsrum. Det er imidlertid kun, når solcellerne producerer strøm, at inverteren arbejder og derved "summer". Man skal derfor også være opmærksom på ikke at placere den på en væg op til fx et soveværelse, da fuglenes morgensang vil blive suppleret med støj fra inverteren.



Billede 25 - Inverter placeret udendørs, adskilt fra ydervæggen af træ med en ikke-brandbar plade

9.3 Fejlstrømsafbryder (HPFI eller PFI, klasse A eller B)

9.3.1 Formål med fejlstrømsafbryder

Fejlstrømsafbryderen har til formål at beskytte personer mod farlige fejlstrømme – bl.a. fra de elektriske apparater. Der findes forskellige typer og arter af fejlstrømsafbrydere:

Tabel 2 - Fejlstrømsafbryder oversigt

Type	Art	Udløsestrøm	Detektion af	Signatur
A	HPFI	30 mA	Vekselstrøm og pulserende jævnstrøm	
A	PFI	> 30 mA (fx 100, 300 mA)		
B	AC/DC HPFI	30 mA	Vekselstrøm og glat jævnstrøm > 6 mA	
B	AC/DC PFI	> 30 mA (fx 100, 300 mA)		

Prisen på type B fejlstrømsafbrydere er meget højere end type A, i størrelsesorden 10 gange.

9.3.2 Hvem må tilslutte fejlstrømsafbryder?

Det er kun en autoriseret elinstallatør, der må tilkoble installationen til fejlstrømsafbryder⁵, net og vekselretter.

Fejlstrømsafbryderen skal tydeligt markeres, så det fremstår at det hører til solcelleanlægget.

⁵ Se bilag 11.2 for ordforklaring af de forskellige fejlstrømsafbrydertyper.

9.3.3 Fejlstrømsafbryder – Uddrag fra bekendtgørelsen

Der skal i almindelige husinstallationer (kendt som TT⁶ net) monteres en separat fejlstrømsafbryder, der alene dækker solcelleinstallationen.

Valget af vekselretter (inverter) har betydning for hvilken type fejlstrømsafbryder, der skal anvendes som forkobling. Der er to typer af vekselrettere:

- Med transformer og galvanisk adskillelse klasse I
- Transformerløse, som er uden galvanisk adskillelse

og disse findes i en- og trefasede udgaver.



Billede 26 - Montering af ny fejlstrømsafbryder

Jf Stærkstrømsbekendtgørelsen afsnit 6A, kapitel 712.413.1.1.1.2:

Hvor en elektrisk installation omfatter et solcellesystem uden mindst en enkel adskillelse mellem vekselstrømsiden og jævnstrømsiden, skal en fejlstrømsafbryder, der er installeret for at give beskyttelse mod fejl ved automatisk afbrydelse af forsyningen, være af type B i henhold til IEC 60755, amendment 2.

Note Fejlstrømsafbrydere af type B i henhold til IEC 60755 er en type, der fungerer ved fejlstrømme med jævnstrømsindhold over 6 mA.

Hvor solcelleinverteren ved sin konstruktion ikke er i stand til at levere fejlstrømme med jævnstrømsindhold til den elektriske installation, kræves ikke en fejlstrømsafbryder af type B i henhold til IEC 60755 amendment 2.

⁶ TT-systemet har et punkt forbundet direkte til jord, og de udsatte dele i installationen er forbundet til jordelektroder, der er elektrisk uafhængige af forsyningssystemets jordelektroder.

Citat sikkerhedsstyrelsen⁷: "Det skal forstås på den måde, at installatøren skal sikre at solcelleinverteren er beskyttet mod indirekte berøring (fejlbeskyttelse). I Danmark, hvor der normalt anvendes TT-systemer, vil der således normalt også skulle installeres en fejlstrømsafbryder, når der er tale om en inverter af klasse I.

Denne fejlstrømsafbryder skal som udgangspunkt være af typen B.

Såfremt fabrikanten af inverteren klart dokumenterer, at inverteren ved sin konstruktion er sikret imod at levere fejlstrømme med et jævnstrømsindhold over 6 mA ud på installationssiden, kan installatøren vælge en fejlstrømsafbryder af typen A.

Idet nogle anlæg genererer lækstrømme på mere end 30 mA, vil det i mange tilfælde, af driftstekniske årsager, være nødvendig at installere en PFI-afbryder type B. I dette tilfælde skal installatøren være særligt opmærksom på, at jordovergangsmodstanden udføres i overensstemmelse med stærkstrømsbekendtgørelsen, afsnit 6, 413.1.4.2 ($RA \times Ia \leq 50V$)."

I praksis gælder det generelt, at foran alle invertere med transformer samt de en-fasede transformerløse invertere er det tilstrækkeligt at installere en fejlstrømsafbryder type A.

Nogle af de trefasede transformerløse invertere kan nøjes med en fejlstrømsafbryder type A, mens det i andre tilfælde vil være nødvendigt at anvende en af type B. Producenten af inverteren skal oplyse, hvilken type fejlstrømsafbryder, der skal anvendes.

9.4 Måleren

Det er i mange tilfælde nødvendigt at udskifte måleren til én, der enten kan køre/tælle baglæns eller til en med to tællere. Det er forsyningsselskabet, der bestemmer målertypen og står for udskiftningen.

9.5 Nettilslutning

Til de større anlæg er inverteren tre-faset, og derfor giver tilslutningen sig selv. Ifølge fællesregulativet skal anlæg over 16A tilsluttet 3 faser. Til de mindre anlæg er inverteren typisk ét faset; der er hertil ingen krav om, hvilken fase man skal tilslutte sig. Det anbefales imidlertid, at en installatør, der monterer flere anlæg på samme udføring fra en transformerstation, tilstræber en ligelig fordeling på de tre faser for at reducere risikoen for spændingsusymmetri på elnettet.

Det er kun en autoriseret elinstallatør, der må foretage nettilslutningen.

⁷ Citat, sikkerhedsstyrelsen: <http://www.sik.dk/Professionelle/El/Spoergsmaal-og-svar-om-el/Solceller>

10 Solcelleanlæg og brand

Solcelleanlæg på enfamiliehuse udgør ikke en risiko, som Beredskabsstyrelsen vurderer vil hindre eller farliggøre slukningsarbejdet. Dog kan der være særlige farer, hvis ikke en række forholdsregler overholdes. Derfor har Beredskabsstyrelsen udarbejdet en række anbefalinger i vejledningen "Redningsberedskabets anbefalinger vedrørende etablering af solceller".

De særlige farer er identificeret som følgende:

- Risikoen for elektrisk stød.
- Solcellepanelerne kan vanskeliggøre beredskabets arbejde i forbindelse med ventilering af tagkonstruktionen.
- Slukning af brand i tagkonstruktionen under panelerne.
- Forkert / uheldig placering af panelerne kan øge risikoen for brandspredning eller kompromittere bygningens brandværnsforanstaltninger.

Beredskabsstyrelsen har udarbejdet en række anbefalinger i vejledningen "Redningsberedskabets anbefalinger vedrørende etablering af solceller".

Beredskabets anbefalinger er ment som gode råd, og omfatter følgende fokusområder:

- Anbefaling af at alle solcelleanlæg anmeldes til kommunernes beredskabsafdeling
- Anbefaling af at alle solcelleanlæg markeres med skilte
- Anbefaling af at alle solcelleanlæg udstyres med en afbryder (nødstop)
- Anbefaling af hvordan solcelleanlæg udformes, så redningsberedskabet får mulighed for at afmontere og demontere de enkelte solcellepaneler.

Det er forskelligt fra kommune til kommune hvordan solcelleanlægge behandles i forhold til eventuel byggesagsbehandling. Med udgangspunkt i anbefalingerne fra Beredskabsstyrelsen, vil det derfor tilsvarende være forskelligt hvilke informationer om overhovedet nogen, som ønskes af den enkelte kommunes beredskabsafdeling.

For at imødekomme denne særlige fare for redningsberedskabets personale, har Beredskabsstyrelsen udarbejdet en vejledning for redningsberedskabets indsats i bygninger med solceller.

Målet med vejledningen er at bidrage til, at det kommunale redningsberedskab skal kunne yde en forsvarlig indsats mod skader på personer, ejendom og miljøet ved ulykker og katastrofer, også når denne rednings- og brandindsats sker ved bygninger med solcelleanlæg.

Vejledningerne kan hentes på hjemmesiden www.BRS.dk

Ved de typer af solcelleanlæg, der typisk monteres på de bygninger der er omfattet af nærværende vejledning, er risikoen for elektriske stød minimeret for redningsberedskabets personale, hvis de følger de retningslinjer der er beskrevet i "Vejledning for redningsberedskabets indsats i bygninger med solceller" hvilket blandt omfatter afstandskrav mellem strålerør og solcellepanel.

Hvis der er en særlig lang og uoverskuelig kabelføring fra solcellepanelerne på taget til inverteren, (fx hvis solcellerne er placeret på udbygninger, stalde el. lign.), er der risiko for, at beskadigede kabler under brand øger risikoen for, at redningsberedskabet kan få stød ved kontakt med kablerne, og der kan opstå risiko for lysbue mellem de beskadigede kabler. I disse tilfælde bør kablerne føres i funktionssikre (brandsikre) kabler efter IEC 60331.

Kabler skal fremføres med færrest mulige samlinger. Nødvendige samlinger skal udføres således, at der ikke kan opstå en kortslutning af kabelsystemet i samlingsmateriellet. Samlinger på brandsikre kabler skal udføres brandmodstandsdygtigt, fx med samlemuffer af porcelæn.

Installationen skal udføres med kabler oplagt direkte på faste bygningsdele, som kabler i føringsvej (fx rør, ledningskanal eller kabelbakke) eller som kabler fremført i faste bygningsdele.

Installationen af brandsikre kabler skal fastgøres forsvarligt til faste bygningsdele med fastgørelsesmateriel, som er modstandsdygtigt mod brand. Der må ikke anvendes fastgørelsesmateriel af plastic.

10.1 Bemærkninger til afsnit 6, Tagpaptage

Tagpaparbejder og andre arbejder med tagmembraner er varmt arbejde, der er omfattet af DBI vejledning 10 Varmt arbejde, del 1,2 og 3.

For at en person må udføre varmt arbejde, skal vedkommende have den fornødne kompetence inden for varmt arbejde, og at den udførende skal kunne dokumentere fornævnte kompetencer.

Ved varmt arbejde skal der medbringes håndildslukkere til at kunne bekæmpe en eventuel brand i bygningen og til at bekæmpe en eventuel brand i byggematerialer på taget. Omfang af håndslukningsmateriel er beskrevet i DBI vejledning 10.

11 Bilag

11.1 Solcelletyper (kort)

Man skelner mellem solceller af krystallinsk silicium og tyndfilmssolceller. Derudover forskes i plast-solceller.

De krystallinske celler består af meget tynde skiver (wafers), der er savet ud af en blok af silicium. Skiverne er omkring 0,2 mm tykke og ses tydeligt adskilte i et modul. Cellerne ligger i et gennemsigtigt laminat, der beskytter mod omgivelsernes påvirkninger. På forsiden er et frontglas og på bagsiden tedlar. Hvis der kigges gennem modulet forfra, ses tedlaren mellem cellerne. Af æstetiske grunde vælges tedlaren ofte sort, men hvid er en smule bedre, fordi modulet bliver lidt mindre varmt, og dermed har cellerne en lidt højere virkningsgrad. Til afstivning er påsat en metalramme af aluminium.

I tyndfilmssolceller er de aktive lag påført et materiale, fx glas eller plastik, i lag med en tykkelse, der er ca. 100 gange mindre end de krystallinske celler. Tyndfilmmoduler er helt homogent farvede med cellelængde som modulets og cellebredde ca. 1 cm. Adskillelsen mellem cellerne ses som en meget smal stribe. De fleste tyndfilmmoduler er opbygget af to lag glas, hvor i mellem de tynde aktive lag ligger. Modulerne har normalt ingen ramme.

Udbuddet af solcellefabrikater og -modeller er eksploderet de sidste to til tre år, men antallet af de forskellige solcelleteknologier, som har nævneværdige markedsandele er ret beskedent. Solceller af krystallinsk silicium har højest virkningsgrad og er meget markedsdominerende med en andel på ca. 90 %. Prisen for enkelte typer tyndfilmssolceller er dog en anelse lavere pr. Wp.

11.1.1 Krystallinske siliciumceller (mono og poly)

Monokrystallinske siliciumceller, er sorte eller mørkegrå og har en ensartet overflade, virkningsgrad η : 15-18 %.

Nedenfor ses to typiske modeller, til venstre med sort baggrundsplade og sort alu-ramme, og til højre med hvid baggrundsplade og lys alu-ramme.



Polykrystallinske siliciumceller er i blålige nuancer og har en levende overflade at se på, η : 12-15 %. Nedenfor ses to typiske modeller, til venstre med sort baggrundsplade og sort alu-ramme, og til højre med hvid baggrundsplade og lys alu-ramme. På det seneste er der fremkommet polykrystallinske siliciumceller med en næsten ensartet og meget mørk overflade, så de næsten ligner monokrystallinske solceller.



11.1.2 Tyndfilmsceller

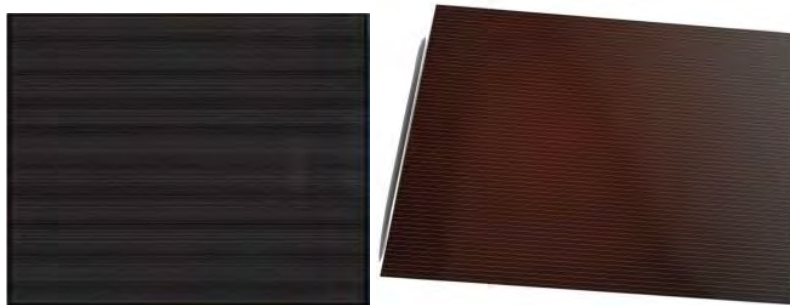
De kommercielt interessante tyndfilmssolceller fordeler sig på typerne: amorph silicium, mikromorph silicium, Cl(G)S og CdTe .

Amorph silicium er brunligt og har den laveste virkningsgrad η : 4-8 %. Til gengæld er prisen pr. Wp forholdsvis lav.

Cl(G)S er oftest helt sorte og har den højeste virkningsgrad blandt tyndfilm, η : 7-12 %. De indeholder det sjældne grundstof Indium, hvilket på lang sigt kan blive et problem. Cl(G)S har en blandt tyndfilm relativt høj pris pr. Wp.

CdTe kan have en farve, der varierer fra det mørkegrønne over i det mørkebrunlige. De har en medium virkningsgrad på η : 10-11 %. CdTe har en ret lav pris pr. Wp. CdTe indeholder det sjældne grundstof Tellurium, hvilket på lang sigt kan blive et problem. Desuden indeholder de Cadmium, som er et tungmetal.

Herunder ses til venstre et Cl(G)S modul og til højre et amorph siliciummodul.



11.1.3 Plast-solceller

På Institut for Energikonvertering og -lagring på DTU forskes i solceller fremstillet af plast (polymerer). Denne type solceller kræver i sammenligning med konventionelle solceller af silicium et meget mindre ressource- og energiforbrug ved fremstillingen, og cellerne kan fremstilles i stor skala ved hjælp af billige produktionsmetoder kendt fra bl.a. den grafiske industri.

En plastsolcelle består af en række tynde lag med forskellig funktion som bliver lagt på en bærefilm af plast. Ved at fremstille 'blæk' der indeholder de aktive materialer, kan man bruge standard trykketeknologi til at pålægge et lag på en hel rulle ad gangen. Sådanne rulle-til-rulle-processer tillader opskalering af produktionen til meget stor skala med begrænsede anlægskostninger.

Før plastsolceller bliver kommercielt konkurrencedygtige kræves en forbedring af deres virkningsgrad (dvs. hvor stor en procentdel af solenergien, de kan omsætte til elektricitet) og deres holdbarhed.

På DTU vurderer man, at teknologiens store fleksibilitet vil medføre en lang række forskellige anvendelser, lige fra strøm til bærbar elektronik til store anlæg der fremstiller elektricitet til elnettet.

En grundlæggende filosofi for plastsolcellerne er, at deres konkurrencedygtighed bl.a. består i kort energitilbagebetalingstid – altså at solcellerne effektivitet og levetid ikke betyder så meget, blot de energimæssigt tjener sig hjem mange gange i levetiden. Hvor de krystallinske solceller eksempelvis tjener sig hjem energimæssigt omkring 15 gange, så satser man på at plastcellerne skal tjene sig hjem (flere) hundrede gange.

11.1.4 Oversigt over karakteristika for solcelletyperne

Commercial Module Efficiency								
Technology	Thin Film					Crystalline Silicon		CPV
	(a-Si) 	(CdTe) 	Cl(G)S 	a-Si/μc-Si 	Dye s. cells 	Mono 	Multi 	III-V Multijunction 
Cell efficiency						16-22%	14-18%	30-38%
Module efficiency	4-8%	10-11%	7-12%	7-10%	2-4%	13-19%	11-15%	~25%
Area Needed per KW (for modules)	~ 15 m ²	~ 10m ²	~ 10m ²	~12m ²		~7m ²	~8m ²	
Source: EPIA 2010, Photon international, March 2010, EPIA analysis Efficiency based on Standard Test conditions.								

11.2 Fagtermer/ordforklaring

Solcelle:	Grundlæggende solcelleenhed, som kan generere elektricitet, når den udsættes for lys som fx solstråler. Engelsk betegnelse PV cell (Photovoltaics). Hver solcelle kan generere 0,5 Volt.
Solcellemodul:	De enkelte solceller kobles sammen elektrisk og indkapsles i materialer, som yder beskyttelse mod lysets og luftens nedbrydende påvirkninger. Dette udgør et solcellemodul, evt. efter montage af en mekanisk afstivende ramme. Engelsk betegnelse PV module.
Solcellestreng:	Kreds, hvori solcellemodulerne er forbundet i serie for at generere den krævede udgangsspænding fra et solcellepanel til vekselretteren. Engelsk betegnelse PV string.
Solcellepanel:	Mekanisk og elektrisk integreret samling af solcellemoduler og andre nødvendige komponenter, så der dannes en jævnstrømsforsyning.
kW {kilo Watt}:	Effekt. Udtryk for den energi, der produceres på et sekund. 1 watt = 1 joule/sekund. Kilo betyder, ligesom i andre sammenhænge, tusind, altså tusind Watt. Den elektriske effekt [W], et solcelleanlæg leverer, kan – omtrent - beregnes som solindstrålingens effekt [W/m^2] i planet for solcellerne gange solcellernes areal [m^2] gange solcellernes virkningsgrad [% /100]. Solindstrålingens effekt kan variere fra sekund til sekund. Regne eksempel: $800 \text{ W/m}^2 \times 25 \text{ m}^2 \times 15 \% /100 = 3000 \text{ W} = 3 \text{ kW}$
kWp {kilo Watt peak}:	Udtrykker anlæggets maksimale effekt, når det udsættes for nogle standardiserede test betingelser for bl.a. solindstråling og temperatur (på engelsk forkortet STC). STC svarer omtrent til de optimale betingelser, der kan opnås under virkelig drift. Effekten i kWp kaldes den nominelle effekt, og den bestemmes normalt ved test i et laboratorium.
kWt {kilo Watt timer} eller kWh: {kilo Watt hours}	Energi = Effekt x tid. Et solcelleanlægs energiproduktion kan måles (eller beregnes) over et tidsrum på fx time, uge, måned eller år. Solcelleejeren er normalt interesseret i energiproduktionen, for det er den, der kan sælges. Solindstrålingseffekten og temperaturen varierer uafbrudt, og det kan være vanskeligt at beregne den producerede energi i et givet tidsrum. Som tommelfingerregel kan man sige, at et optimalt placeret anlæg (mod syd, en hældning på 40 grader, ingen skygger) vil producere ca. 950 kWt på et år. Afvigelser fra de optimale betingelser fører til lavere energiproduktion. Bemærk i øvrigt forskellen mellem energi [kWt] og effekt [kW]. Folk, der ikke er bekendt med forskellen – og dem er der mange af – forveksler ofte begreberne. Elregningen opgøres også i kWh.
Cellevirkningsgrad:	Fortæller hvor meget af solens energi, der udnyttes, fra 10 til 18 % afhængig af teknologi.

Modulvirkningsgrad:	Heri medregnes de dele af modulet, der ikke producere som fx rammen, denne er derfor lavere end cellevirkningsgraden.
Inverter:	På dansk er det korrekte udtryk vekselretter, men inverter er det mest anvendte. Vekselretteren omdanner den af solcellerne producerede jævnstrøm/spænding til vekselstrøm/spænding, som er den type elektricitet, der anvendes i normale husholdninger.
Inverter effekt:	Producenten har angivet den nominelle effekt på inverteren. Det er normalt den effekt, inverteren maksimalt kan levere ud på vekselstrømssiden under stabil drift. Nogle invertere kan kortvarigt tåle at blive overbelastet. Den maksimalt tilladte effekt tilført fra solcellerne er normalt altid lidt større end inverterens nominelle effekt. Anlæg tilsluttet under den gamle nettoafregningsordning (før nov. 2012) skal være begrænset til maksimalt 6 kW leveret til elnettet. På nogle af disse anlæg er der monteret en solcelleeffekt betydeligt større end 6 kWp. I så fald vil der typisk være installeret en inverter, der er født med en nominel effekt, der matcher solcelleeffekten, dvs. i stand til at levere noget mere end 6 kW til elnettet. Kravet er da, at inverteren skal være droslet ned, så den aldrig kan levere mere end maksimalt 6 kW til elnettet, selvom solcellerne på visse tidspunkter kan levere en væsentlig højere effekt.
Produkt- / Fabriksgaranti:	Det er producenten der står for produktgarantien. Garantien dækker over produktets holdbarhed, og producenten forpligter sig til at reparere eller udskifte produktet hvis der opstår fejl inden for garantiperioden. For at garantien er gældende skal produktet være monteret efter producentens anvisning. Hver opmærksom på at der ofte gives forskellig garanti på solcellemodulerne, inverteren, montagesystemet og el arbejdet. Produktgarantierne mellem de forskellige producenter kan variere meget.
Effektgaranti:	Producenter af solcellemoduler giver ofte en garanti for modulets energiproduktion. Effektgarantien angiver hvor meget modulerne maksimalt falder i effektivitet over en givet årerække. De ses ofte at effektgarantien vurderes over en årerække som er længere end længden af produktgarantien. Det er derfor vigtigt at man lære at kende forskel på disse to typer af garantier. Hos nogle producenter vil effektgarantien være kaldet ydelsesgaranti.
Elinstallatør:	Er en overbygning til elektriker uddannelsen. I et elektriker-firma er det elinstallatøren, der har ansvaret for at elektrikerens arbejde overholder stærkstrømsbekendtgørelsens krav, da elektrikerne arbejder på elinstallatørens autorisation. Det er typisk ikke elinstallatøren selv, der udfører arbejdet, så når der står beskrevet, at man skal være autoriseret elinstallatør for at måtte udføre arbejdet, så betyder det, at en almindelig elektriker, der arbejder under en autoriseret elinstallatør, også må udføre det, netop fordi han arbejder på elinstallatørens autorisation.

Tomgangsspænding:	Modulets eller anlæggets jævnspænding i ubelastet tilstand. Engelsk betegnelse, open circuit voltage.
Kortslutningsstrøm:	Overstrøm, der skyldes en fejl med uvæsentlig impedans mellem spændingsførende ledere som under normale driftsforhold har forskelligt potentiale. Engelsk betegnelse, short-circuit current.
Fejlstrøm:	Strøm der opstår på grund af isolationsfejl. Engelsk betegnelse, fault current.
Fejlstrømsafbrydertyper	
HPFI:	Højfølsom fejlstrømsafbryder for vekselstrøm og pulserende jævnstrøm, mærkeudløsestrøm højst 30 mA. Denne type fejlstrømsafbryder er lovpligtig at have i de danske hjem.
HFI:	Højfølsom fejlstrømsafbryder for vekselstrøm, mærkeudløsestrøm større end 30 mA. Denne type er forgængeren for HPFI.
PFI:	Fejlstrømsafbryder for vekselstrøm og pulserende jævnstrøm, mærkeudløsestrøm større end 30 mA.

11.3 Tabel 52-D2

Tabel 52-D2 (IEC tabel 52-B2) Sammenhæng mellem installationsmåder og reference installationsmåder til anvendelse ved bestemmelse af strømværdier

Nummer	Installationsmåde	Beskrivelse	Reference installationsmåde til brug ved bestemmelse af strømværdi (se tabel 52-D1)
1		Isolerede ledere eller enleder kabler i rør i en termisk isoleret væg 1)	A1
2		Flerleder kabler i rør i en termisk isoleret væg 1)	A2
3		Flerleder kabler direkte i en termisk isoleret væg 1)	A1
4		Isolerede ledere eller enleder kabler i rør på en væg af træ eller af murværk eller placeret i en afstand mindre end 0,3 gange kablediameteren fra den	B1
5		Flerleder kabler i rør på en væg af træ eller af murværk eller placeret i en afstand mindre end 0,3 gange kablediameteren fra den	B2

1) Inderbeklædningen af væggen har en termisk ledningsevne på mindst 10 W/m² y. s.

Nummer	Installationsmåde	Beskrivelse	Reference installationsmåde til brug ved bestemmelse af strømværdi (se tabel 52-D1)
14		Isolerede ledere i rør eller enleder eller flerleder kabler i overføring 2)	A1
15		Isolerede ledere i rør eller enleder eller flerleder kabler i vindestrammer 2)	A1

Der skal tages særlige hensyn, hvor kabler og ledninger er ført lodret, og der er begrænset ventilation. Omgivelsestemperaturen ved toppen af den lodrette del kan være væsentlig forøget. Dette forhold er under overvejelse.

Nummer	Installationsmåde	Beskrivelse	Reference installationsmåde til brug ved bestemmelse af strømværdi (se tabel 52-D1)
20		Enleder eller flerleder kabler fastgjort direkte på eller placeret i en afstand mindre end 0,3 gange kablediameteren fra en væg af træ	C
21		Enleder eller flerleder kabler fastgjort direkte under et loft af træ	C Sammen med nummer 3 i tabel 52-G1
22		Enleder eller flerleder kabler fastgjort i en afstand fra et loft	Under overvejelse

Der skal tages særlige hensyn, hvor kabler og ledninger er ført lodret, og der er begrænset ventilation. Omgivelsestemperaturen ved toppen af den lodrette del kan være væsentlig forøget. Dette forhold er under overvejelse.

Nummer	Installationsmåde	Beskrivelse	Reference installationsmåde til brug ved bestemmelse af strømværdi (se tabel 52-D1)
40		Enleder eller flerleder kabel i et bygningshulrum (2)	$1,5 D_e \leq V \leq 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V \leq 50 D_e$ B1
41		Isolerede ledere i rør i et bygningshulrum (1,3)	$1,5 D_e \leq V \leq 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
42		Enleder eller flerleder kabel i rør i et bygningshulrum	Under overvejelse
43		Isolerede ledere i lukket ledningskanal i et bygningshulrum (1,3)	$1,5 D_e \leq V \leq 20 D_e$ B2 $V \geq 20 D_e$ B1
44		Enleder eller flerleder kabel i lukket ledningskanal i et bygningshulrum	Under overvejelse
45		Isolerede ledere i lukket ledningskanal i murværk med en termisk modstand på højst 2 km²/W (1,2)	$1,5 D_e \leq V \leq 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V \leq 50 D_e$ B1
46		Enleder eller flerleder kabel i lukket ledningskanal i murværk med en termisk modstand på højst 2 km²/W	Under overvejelse
47		Enleder eller flerleder kabel - i et loft hulrum - i et hulrum i gulv (1,2)	$1,5 D_e \leq V \leq 5 D_e$ B2 $5 D_e \leq V \leq 50 D_e$ B1
Der skal tages særlig hensyn, når kabler og ledninger er ført lodret, og der er begrænset ventilation. Omgivelsestemperaturen ved toppen af den lodrette del kan være væsentlig forøget. Dette forhold er under overvejelse.			
1) V er den mindste størrelse eller diameter af en kanal eller et hulrum i murværk eller den lodrette dybde af en rektangulær kanal, gulv- eller loftshulrum. 2) D_e er den ydre diameter på et flerleder kabel. - 2,2 gange kabel diameteren, hvis tre enleder kabler er bundet sammen i trekant, eller - 3 gange kabel diameteren, hvis tre enleder kabler er bundet sammen i fad formation. 3) D_e er den ydre diameter af rør eller den lodrette dybde af en kabelkanal.			

Nummer	Installationsmåde	Beskrivelse	Reference installationsmåde til brug ved bestemmelse af strømværdi (se tabel 52-D1)
50 51		Isolerede ledere eller enleder kabel i brandforsømt gulvkanal. Flerleder kabel i brandforsømt gulvkanal.	B1 B2
52 53		Isolerede ledere eller enleder kabel i brandforsømt ledningskanal. Flerleder kabel i brandforsømt ledningskanal.	B1 B2
54		Isolerede ledere eller enleder kabler i rør i en uventileret kabelkanal fremløbet vandret eller lodret 2)	1) $1,5 D_e \leq V < 20 D_e$ B2 V $\geq 20 D_e$ B1
55		Isolerede ledere i rør i en åben eller ventileret kabelkanal i gulv 3)	B1
56		Enleder eller flerleder kabel i en åben eller ventileret kabelkanal fremløbet vandret eller lodret 3)	B1

Der skal tages særlige hensyn hvor kabler og ledninger er ført lodret, og der er begrænset ventilation. Omgivelsetemperaturen ved toppen af den lodrette del kan være væsentlig forhøjet. Dette forhold er under overvejelse.

1) For flerleder kabler der installeres iht. installationsmåde 55, anvendes reference installationsmåde B2.

2) D_e er den ubenlængde diameter af rør.

V er kanalens indvendige dybde.

Kanalens dybde er vigtigere end bredden.

3) Det anbefales at disse installationsmøder kun anvendes på steder hvor kun personer med særlig tilknytning har adgang, således at reduktionen i strømværdi og brandfare på grund af opvarmning af stoffet kan undgås.

Nummer	Installationsmåde	Beskrivelse	Reference installationsmåde til brug ved bestemmelse af strømværdi (se tabel 52-D1)
57		Enleder eller flerleder kabel direkte i murværk, der har en termisk modstand på højst $2 \text{ K} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ uden supplerende mekanisk beskyttelse 1)	C
58		Enleder eller flerleder kabel direkte i murværk, der har en termisk modstand på højst $2 \text{ K} \cdot \text{m}^2/\text{W}$ med supplerende mekanisk beskyttelse 1)	C
59		Isolerede ledere eller enleder kabler i rør i væg af murværk 2)	B1
60		Flerleder kabler i rør i væg af murværk 2)	B2

1) For kabler med ledere på højst 16 mm² kan strømværdien være højere.

2) Termisk modstand i murværk er højst $2 \text{ K} \cdot \text{m}^2/\text{W}$.

Nummer	Installationsmåde	Beskrivelse	Reference installationsmåde til brug ved bestemmelse af strømværdi (se tabel 52-D1)
70		Flerleder kabel i rør eller i lukket kanal i jord	D
71		Enleder kabler i rør eller i lukket kanal i jord	D
72		Enleder eller flerleder kabler direkte i jord uden supplerende mekanisk beskyttelse 1)	D
73		Enleder eller flerleder kabler direkte i jord med supplerende mekanisk beskyttelse 1)	D
80		Enleder eller flerleder kabler nedbænknet i vand	Under overvejelse

1) Det er acceptabelt at lægge direkte nedgravede kabler med under dette punkt, når jordens termiske modstand er i størrelsesordenen 2,5 K · m/W. Ved mindre modstande er strømværdien betydeligt højere end for kabler i lukkede ledningskanaler.

11.4 Statik



Billede 27 - Parallelmonterede solceller, på anneks

Solcellepaneler og deres fastgørelser skal have tilstrækkelig styrke til at kunne optage de påvirkninger som forekommer ved en montering på et tag:

- Solcellepanelernes vægt inkl. vægt af monteringsskinner og beslag (egenvægt)
- Snebelastning
- Vindpåvirkning

Egenvægten og snelasten virker altid lodret og nedadrettet. Vindlasten virker vinkelret på panelerne og kan være både væk fra panelet (vindsug) og ind mod panelet (vindtryk).

Tyske erfaringer [5] siger, at paneler monteret parallelt med tagfladen, se Billede 27, ikke medfører ændrede påvirkninger fra sne og vind i forhold til en tagkonstruktion uden paneler.

Paneler placeret på udragende skråtstillede stativer på flade tage, se Billede 28, medfører derimod ekstra påvirkninger fra vind og snelast som den eksisterende konstruktion skal kunne optage, evt. efter forstærkning af tagkonstruktionen.

En korrekt dimensionering af et fastgørelsessystem til solcellepaneler kan være ret omfattende og kompliceret som illustreret i dette afsnit. Det må derfor anbefales kun at anvende systemer (beslag og bæreskinner) hvor leverandøren kan levere en fyldestgørende dokumentation for at bæreevnen er i orden for det aktuelle solcelleanlæg på en bygning som den aktuelle. Ligeledes må det anbefales at gøre brug af en ingeniør for vurdering af de faktiske forhold og konstruktioner.



Billede 28 – Skråstillet anlæg på fladt tag

11.4.1 Fastgørelsesmetode

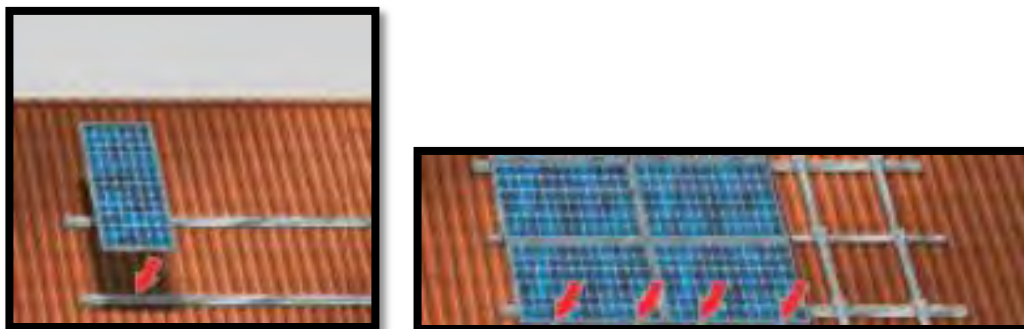
Solcellepaneler er rektangulære plader opbygget af 1 lag glas og 1 lag tedlar (eller 2 lag glas) med PV-elementer fastlimet mellem lagene. Normalt er panelerne forsynet med en afstivende aluminiumsramme langs kanterne.

Panelerne få i mange forskellige størrelser, men en typisk størrelse er omkring 1,6 x 0,8 m, se Tabel 3.

Panelerne monteres som regel i en række på 2 vandrette bæreskinner (montageskinner) med synlige clips ved pladekant, se Billede 29, eller vha. skjulte beslag fastlimet til det nederste glaslag.



Billede 29 - Skinnesystem med paneler [9]



Billede 30 - Skinnesystem med paneler [9]

Ønskes de rektangulære paneler vendt til en "liggende" position, kan der evt. anvendes et ekstra sæt montageskinner som monteres vinkelret på de nederste skinner.

Montageskinnerne fastgøres til tagkonstruktionen vha. specialbeslag som er udformet til den aktuelle tagbeklædning. På Billede 29 bæres montageskinnerne af en tagkrog designet til et tegltag.

11.4.2 Dimensionering

11.4.2.1 Indledning

En dimensionering indledes med at bestemme de belastninger der kan forekomme på solcelleanlægget. Med fastlagte værdier for de på panelerne optrædende belastninger fra egenvægt, sne og vind i den aktuelle placering og for specialbeslagenes bæreevne, kan det nødvendige antal beslag pr. m² bestemmes. Der kan så vælges en montageskinne som har den fornødne styrke og stivhed til at kunne virke som bærebjælke mellem beslagene.

11.4.2.2 Belastninger på fastgørelser af solcellepaneler

De forekommende laster fra egenvægt, sne- og vindpåvirkninger fastlægges iht. Eurocodes, DS/EN 1991, med tilhørende nationale annekser. I det følgende er medtaget en kortfattet beskrivelse af lasterne på parallelt monterede paneler.

Naturlasterne fra vind og sne regnes at være de samme som forekommer på en tagbelægning uden solceller, dvs. der regnes ikke med ekstra vindlaster pga. ventilationshulrummet under panelerne. Der henvises i øvrigt til de mere uddybende redegørelser i [7] og [8]. Der er i det følgende antaget at fastgørelserne er i middel konsekvensklasse (som førhen hed normal sikkerhedsklasse).

Egenvægt

Egenvægten er primært fra panelernes egenvægt som fremgår af producentens datablad. Vægten af montageskinner og beslag er mindre og kan bestemmes ud fra beslagleverandørens fordimensionering, hvor et resultat er en stykliste med vægtangivelse på den samlede leverance. Egenvægten fra solcellepaneler inkl. beslag er i størrelsesordenen 0,10 kN/m² - 0,20 kN/m² (se Tabel 3). Egenvægten g kan opdeles i en komponent vinkelret på panelerne ($g \cos \alpha$) hvor α er taghældningen og en komponent parallelt med panelerne ($g \sin \alpha$).

Tabel 3 - Data for solcellepaneler

Producent	Celle type	Længde	Bredde	Tykkelse	Vægt	Vægt
		[mm]	[mm]	[mm]	[kg]	[kg/m ²]
ReneSola	Mono	1640	992	40	19	11,7
ReneSola	Poly	1640	992	50	29	17,8
Isofoton	Mono	1640	994	45	19	11,7
Solar Zocen	Mono	1640	992	50	22,5	13,8
Solar Zocen	Mono	1640	992	45	19,5	12,0
Solar Zocen	Mono	1640	992	45	18	11,1
KIOTO PV	Poly	1507	992	33	16,5	11,0
DS-MS 260	Mono	1580	1060	45	22	13,1
Shinetime	Poly	1650	992	40	19,5	11,9
Suntech	Mono	1640	992	35	18,2	11,2
LG	Mono	1632	986	42	18,4	11,4
Rasolar	Mono	1330	990	40	15,4	11,7
Bosch	Mono	1660	990	50	21	12,8
Avancis	Tyndfilm	1595	684	45	19,6	18,0
ET Solar	Mono	1640	992	40	19,3	11,9
Eging PV	Mono	1650	990	50	19,5	11,9
ONYX	Mono	1640	992	45	20	12,3
Ulica	Mono	1580	808	46	17	13,3
Solia	Mono	1580	808	35	15,5	12,1
Golden Sun	Mono	1650	992	50	20	12,2
Luxra	Mono	1650	991	40	18	11,0
Avancis	Tyndfilm	1587	664	40	16	15,2

Snelast

Sne kan lægges på et solcellepanel i mange forskellige mønstre afhængigt af det lokale meteorologiske klima, det omgivende terræn, nærhed af nabobygninger, tagets form mm.

Belastninger fra sne findes derfor som snelasten på terrænet (1,0 kN/m²) multipliceret med nogle faktorer som skal tage højde for disse forhold.. Normalt vil det være tilstrækkeligt at gange med formfaktoren for taghældningen der for taghældninger op til 30° normalt er 0,8 og derefter aftager lineært til 0 ved 60°. Der skal dog jf. [2] regnes med væsentligt højere laster hvis bygningen ligger i "afskærmet" terræn eller hvis solcellepanelerne placeres på en vestvendt (vest ± 45 gr.) halvdel af et saddeltag.

Hvis snelasten deles op i en komponent vinkelret på paneler ($s \times \cos^2 \alpha$) og en komponent i panelernes plan ($s \times \cos \alpha \times \sin \alpha$) findes snelasten som funktion af taghældningen i Tabel 4.

Tabel 4 gælder jfr. [1] for fritliggende bygninger uden lægivere på taget. For tage med flere tagrygge, tage der støder op mod en højere bygning og tage med lægivere som fx murkroner eller ventilationsudstyr skal de faktorer, som skal ganges på snelasten på terrænet, bestemmes af EN 1991-1-3 med tilhørende nationalt annekse [2].

Tabel 4 - Snelast som funktion af taghældning

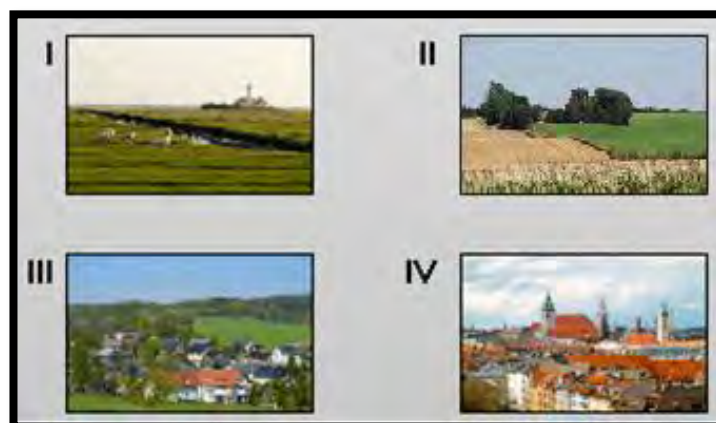
Taghældning	α	5°	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	45°	50°	55°	60°
Vinkelret snelast	$s \perp \text{ kN/m}^2$	0,79	0,78	0,75	0,71	0,66	0,60	0,45	0,31	0,20	0,11	0,04	0,00
Parallel snelast	$s \neq \text{ kN/m}^2$	0,07	0,14	0,20	0,26	0,31	0,35	0,31	0,26	0,20	0,13	0,06	0,00

Vindlast

Vindlasten bestemmes af hastighedstrykket (som er et mål for styrken af et vindstød på den aktuelle lokalitet i en given højde) multipliceret med en formfaktor. OBS: Nærliggende store bygninger forøger vindlasten.

Hastighedstryk

Størrelsen af hastighedstrykket afhænger primært af terrænklassen og bygningens højde (til tagryg). Terrænklasserne er illustreret herunder sammen med værdier for hastighedstrykket som funktion af terrænklasse og bygningshøjde. For bygninger langs Jyllands vestkyst skal der regnes med større hastighedstryk, se [1].


Billede 31 - Terrænklasser
Tabel 5 - Hastighedstrykket $q_{\max}$ som funktion af bygningshøjden for bygninger

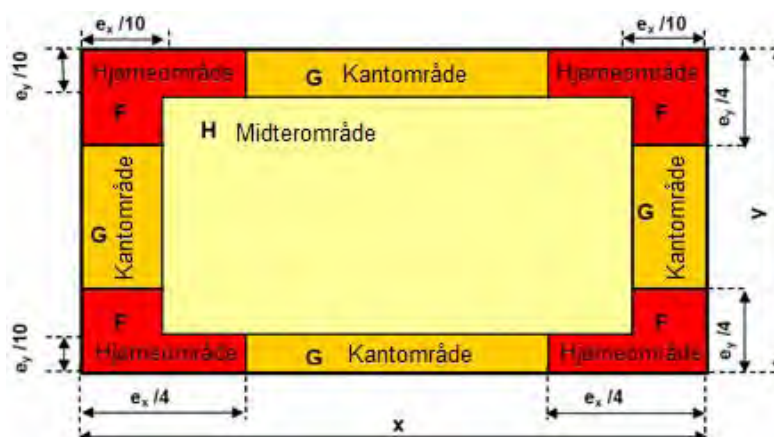
$q_{\max}$ kN/ m ²	Bygningshøjder			
terrænkategori	4 m	8 m	12 m	16 m
I (hedeslette)	0,808	0,949	1,036	1,100
II (landbrugsland)	0,648	0,796	0,889	0,957
III (forstad)	0,461	0,564	0,659	0,729
IV (by)	0,423	0,423	0,466	0,536

Formfaktor

Vindbelastningen på et solcellepanel monteret parallelt med tagbeklædningen bestemmes af bygningens aerodynamiske egenskaber, dvs. hvorledes luftstrømningerne omkring bygningen foregår. Derfor skal hastighedstrykket multipliceres med en formfaktor. Formfaktorerne er normalt forskellige over tagfladen med de højeste værdier omkring bygningshjørner. Derfor inddeles tagfladen i forskellige zoner –

randzoner, hjørnezoner og midterzoner. Eurocodes med nationale annekser angiver formfaktorer for forskellige bygningsudformninger og i Tabel 6 er medtaget en forenklet sammenstilling af formfaktorerne på saddeltage og pulttage. En mere detaljeret fremstilling kan findes i [7].

Positive formfaktorer angiver vindtryk på taget (eller solcellepanel) og negative værdier angiver vindsug på taget (eller solcellepanel).



Billede 32 - Vindtryk

$e_x = \min(x, 2h)$, $e_y = \min(y, 2h)$, h er bygningens højde til kip

Tabel 6 - Formfaktorer ($C_{pe,10}$) på saddeltage og pulttage (forenklet)

α°	saddeltag				pulttag			
	Sug Zone F	Sug Zone G	Sug Zone H	Tryk	Sug Zone F	Sug Zone G	Sug Zone H	Tryk
5	-1,7	-1,2	-0,6	0,2	-2,3	-1,8	-0,8	0
15	-1,3	-1,3	-1,0	0,2	-2,5	-1,9	-0,9	0,2
30	-1,1	-1,4	-0,8	0,7	-2,1	-1,5	-1,0	0,7
45	-1,1	-1,4	-0,9	0,7	-1,5	-1,4	-1,0	0,7
60	-1,1	-1,5	-0,8	0,7	-1,2	-1,2	-1,0	0,7
75	-1,1	-1,5	-0,8	0,8	-1,2	-1,2	-1,0	0,8

De største vindstød som forekommer i forbindelse med luftstrømningerne er normalt knyttet til hvirveldannelser med en relativt beskedne udstrækning mindre end ca. 1 m^2 . Dvs. den belastning der skal regnes med på et lille areal ($\sim 1 \text{ m}^2$) er væsentligt større end belastningen på et større areal.

Dette tages der hensyn til ved at lade formfaktoren C_{pe} variere med størrelsen A af det vindbelastede (sammenhængende) areal således:

$$C_{pe} = C_{pe,1} \text{ for } A \leq 1 \text{ m}^2$$

$$C_{pe} = C_{pe,10} \text{ for } A \leq 10 \text{ m}^2$$

for arealer A mellem 1 m² og 10 m² findes C_{pe} af udtrykket

$$C_{pe} = C_{pe,1} + (C_{pe,10} - C_{pe,1}) \times \log_{10}(A)$$

For $A = 3,2 \text{ m}^2$ findes fx formfaktorerne i Tabel 7.

Tabel 7 - Formfaktorer ($C_{pe,3.2}$) på sadeltage og pulttage (forenklet)

α°	saddeltag				pulttag			
	Sug Zone F	Sug Zone G	Sug Zone H	Tryk	Sug Zone F	Sug Zone G	Sug Zone H	Tryk
5	-2,1	-1,7	-1,1	0,2	-2,4	-1,9	-1,0	0
15	-1,7	-1,7	-1,0	0,2	-2,7	-2,2	-1,1	0,2
30	-1,3	-1,7	-1,0	0,7	-2,5	-1,8	-1,2	0,7
45	-1,3	-1,7	-1,1	0,7	-2,0	-1,7	-1,2	0,7
60	-1,3	-1,6	-0,9	0,7	-1,6	-1,6	-1,2	0,7
75	-1,3	-1,6	-0,9	0,8	-1,6	-1,6	-1,2	0,8

Ved at sammenligne Tabel 6 og Tabel 7 ses at for et pulttag med 15 grader taghældning vil vindsuget pr. m² på et lille anlæg på godt 3 m² placeret i et hjørne af tagfladen kunne blive knap 3 gange større end vindsuget pr. m² på et større anlæg over 10 m² placeret i midtzone af taget.

De højere belastninger bestemt ved ovenstående formel er således gældende for de enkelte panelers fastgørelse til montageskinnerne og for små anlæg mindre end 10 m².

Solcellepanelerne er i de fleste anlæg koblet sammen vha. montageskinner og i Tyskland anvendes derfor normalt $C_{pe,10}$ -formfaktorerne ved dimensioneringen af montageskinner og fastgørelser til anlæg over 10 m².

Hvis det undlades at placere solcelleanlægget i de relativt smalle randzoner ved tagkanter kan der på den sikre side for sadeltage og pulttage regnes med formfaktorerne i tabellen herunder.

Taghældning $\alpha = 5^\circ - 15^\circ$: vindtryk $C_{pe} = 0,2$ vindsug $C_{pe} = -0,9$

Taghældning $\alpha = 20^\circ$: vindtryk $C_{pe} = 0,4$ vindsug $C_{pe} = -0,9$

Taghældning $\alpha = 25^\circ$: vindtryk $C_{pe} = 0,5$ vindsug $C_{pe} = -1,0$

Taghældning $\alpha = 30^\circ - 60^\circ$: vindtryk $C_{pe} = 0,7$ vindsug $C_{pe} = -1,0$

11.4.2.3 Dimensionerende lasttilfælde

Montageskinner og fastgørelser skal dimensioneres for de foran beskrevne laster i forskellige kombinationer, hvor der er medtaget sikkerhedsfaktorer (partialkoefficienter) og faktorer, som tager højde for at de forskellige laster ikke virker med den fulde værdi, når de virker samtidigt (sne og vind).

Der kan ud fra Eurocodes med nationale annekser opstilles følgende formelle lasttilfælde. Der er tilføjet en kolonne som viser om lasten virker øjeblikkeligt, kortvarigt eller permanent. Denne oplysning skal anvendes ved bestemmelse af fastgørelsernes styrke:

Lastkombination

1: $g + 1,5 \times s$

2: $0,9 g + 1,5 \times v_{\text{sug}}$

3: $g + 1,5 \times v_{\text{tryk}}$

4: $g + 1,5 \times s + 1,5 \times 0,3 \times v_{\text{tryk}}$

Hvor g = egenvægt, s =snelast

Lastgruppe

K

Ø

Ø

Ø

Vindsug

Dimensionerende belastning (kN/m^2) på solcellefastgørelser i træunderlag på sadel- og pulttage (*gælder ikke i tagets randzoner*). Tabellen gælder kun for anlæg $>10 \text{ m}^2$ med sammenkoblede bæreskiner. Alle belastninger skal ganges med en faktor op til 1,25 (flerfags bæreskiner) og det aktuelle solcelleareal som understøttes. Tabellen gælder ikke for bygninger i afskærmet topografi, bygninger langs Jyllands vestkyst eller vestvendte tagflader på saddeltage. Lastgruppe Ø.

Tabel 8 - Vindsug kN/m^2

Taghældning	α°	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
h = 4 m	I	-0,96	-0,96	-0,96	-0,96	-1,09	-1,10	-1,10	-1,11	-1,12	-1,13	-1,13	-1,14
	II	-0,74	-0,74	-0,74	-0,75	-0,85	-0,86	-0,86	-0,87	-0,88	-0,89	-0,89	-0,90
	III	-0,49	-0,49	-0,49	-0,50	-0,57	-0,57	-0,58	-0,59	-0,60	-0,60	-0,61	-0,62
	IV	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44	-0,51	-0,52	-0,52	-0,53	-0,54	-0,55	-0,56	-0,57
h = 8 m	I	-1,15	-1,15	-1,15	-1,15	-1,30	-1,31	-1,31	-1,32	-1,33	-1,34	-1,35	-1,36
	II	-0,94	-0,94	-0,94	-0,95	-1,07	-1,08	-1,08	-1,09	-1,10	-1,11	-1,12	-1,13
	III	-0,63	-0,63	-0,63	-0,63	-0,72	-0,73	-0,74	-0,74	-0,75	-0,76	-0,77	-0,78
	IV	-0,44	-0,44	-0,44	-0,44	-0,51	-0,52	-0,52	-0,53	-0,54	-0,55	-0,56	-0,57
h = 12 m	I	-1,26	-1,27	-1,27	-1,27	-1,43	-1,44	-1,44	-1,45	-1,46	-1,47	-1,48	-1,49
	II	-1,07	-1,07	-1,07	-1,07	-1,21	-1,22	-1,22	-1,23	-1,24	-1,25	-1,26	-1,27
	III	-0,76	-0,76	-0,76	-0,76	-0,87	-0,87	-0,88	-0,89	-0,89	-0,90	-0,91	-0,92
	IV	-0,49	-0,50	-0,50	-0,50	-0,58	-0,58	-0,59	-0,60	-0,60	-0,61	-0,62	-0,63
h = 16m	I	-1,35	-1,35	-1,35	-1,36	-1,53	-1,53	-1,54	-1,55	-1,55	-1,56	-1,57	-1,58
	II	-1,16	-1,16	-1,16	-1,17	-1,31	-1,32	-1,32	-1,33	-1,34	-1,35	-1,36	-1,37
	III	-0,85	-0,85	-0,85	-0,86	-0,97	-0,98	-0,98	-0,99	-1,00	-1,01	-1,02	-1,03
	IV	-0,59	-0,59	-0,59	-0,60	-0,68	-0,69	-0,69	-0,70	-0,71	-0,72	-0,73	-0,74

Tryk

Dimensionerende belastning (kN/m^2) på solcellefastgørelser i træunderlag på sadel- og pulttage (*gælder ikke i tagets randzoner*). Tabellen gælder kun for anlæg $>10 \text{ m}^2$ med sammenkoblede bæreskiner. Alle

belastninger skal ganges med en faktor op til 1,25 (flerfags bæreskiner) og det aktuelle solcelleareal som understøttes. Tabellen gælder ikke for bygninger i afskærmet topografi, bygninger langs Jyllands vestkyst eller vestvendte tagflader på saddeltage. Lastgruppe K og Ø.

Tabel 9 - Tryk

Taghældning	α°	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
h = 4 m	I	K 1,34	K 1,31	K 1,26	K 1,20	K 1,12	1,28	1,05	0,96	0,95	0,94	0,93	0,92
	II	K 1,34	K 1,31	K 1,26	K 1,20	K 1,12	K 1,03	1,00	0,80	0,79	0,78	0,77	0,76
	III	K 1,34	K 1,31	K 1,26	K 1,20	K 1,12	K 1,03	K 0,79	0,73	0,59	0,58	0,57	0,56
	IV	K 1,34	K 1,31	K 1,26	K 1,20	K 1,12	K 1,03	K 0,79	0,72	0,55	0,54	0,53	0,52
h = 8 m	I	K 1,34	K 1,31	K 1,26	K 1,20	K 1,12	1,33	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08	1,07
	II	K 1,34	K 1,31	K 1,26	K 1,20	K 1,12	1,28	1,04	0,95	0,94	0,93	0,92	0,91
	III	K 1,34	K 1,31	K 1,26	K 1,20	K 1,12	K 1,03	0,97	0,76	0,70	0,69	0,68	0,67
	IV	K 1,34	K 1,31	K 1,26	K 1,20	K 1,12	K 1,03	K 0,79	0,72	0,55	0,54	0,53	0,52
h = 12 m	I	K 1,34	K 1,31	K 1,26	K 1,20	K 1,12	1,36	1,21	1,20	1,19	1,18	1,17	1,16
	II	K 1,34	K 1,31	K 1,26	K 1,20	K 1,12	1,31	1,07	1,05	1,04	1,03	1,02	1,01
	III	K 1,34	K 1,31	K 1,26	K 1,20	K 1,12	K 1,03	1,00	0,81	0,80	0,79	0,78	0,77
	IV	K 1,34	K 1,31	K 1,26	K 1,20	K 1,12	K 1,03	K 0,79	0,73	0,60	0,59	0,58	0,56
h = 16m	I	K 1,34	K 1,31	K 1,26	K 1,20	K 1,12	1,33	1,28	1,27	1,26	1,25	1,24	1,23
	II	K 1,34	K 1,31	K 1,26	K 1,20	K 1,12	1,33	1,13	1,12	1,11	1,10	1,09	1,08
	III	K 1,34	K 1,31	K 1,26	K 1,20	K 1,12	K 1,03	1,02	0,88	0,87	0,86	0,85	0,84
	IV	K 1,34	K 1,31	K 1,26	K 1,20	K 1,12	K 1,03	K 0,79	0,75	0,67	0,66	0,65	0,64

Tryk-parallel

Dimensionerende belastning (kN/m²) på solcellefastgørelser i træunderlag på sadel- og pulttage (*gælder ikke i tagets randzoner*). Tabellen gælder kun for anlæg >10 m² med sammenkoblede bæreskiner. Alle belastninger skal ganges med en faktor op til 1,25 (flerfags bæreskiner) og det aktuelle solcelleareal som understøttes. Tabellen gælder ikke for bygninger i afskærmet topografi, bygninger langs Jyllands vestkyst eller vestvendte tagflader på saddeltage. Lastgruppe K.

Tabel 10 - Tryk-parallel

Taghældning	α°	5	10	15	20	25	30	35	40	45	50	55	60
h = 4 m h = 8 m h = 12 m h = 16m	I	K 0,12	K 0,23	K 0,34	K 0,44	K 0,52	K 0,59	K 0,56	K 0,49	K 0,41	K 0,31	K 0,22	K 0,13
	II	K 0,12	K 0,23	K 0,34	K 0,44	K 0,52	K 0,59	K 0,56	K 0,49	K 0,41	K 0,31	K 0,22	K 0,13
	III	K 0,12	K 0,23	K 0,34	K 0,44	K 0,52	K 0,59	K 0,56	K 0,49	K 0,41	K 0,31	K 0,22	K 0,13
	IV	K 0,12	K 0,23	K 0,34	K 0,44	K 0,52	K 0,59	K 0,56	K 0,49	K 0,41	K 0,31	K 0,22	K 0,13

11.4.3 Montageskinner og fastgørelser

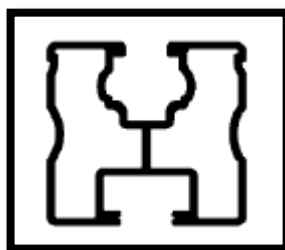
Montageskinner og fastgørelser er normalt en samlet leverance fra et firma med særlig viden og erfaring i udvikling og optimering af løsninger til montage af solceller. Her kan bl.a. nævnes de to tyske firmaer Schletter og Würth samt Hilti, som anvendes af mange danske montører som underleverandør.

Udformningen og dokumentation af bæreevnen af specialbeslag er alene leverandørens ansvar. Det er også leverandørens ansvar at beregne, hvor mange skruer beslagene skal fæstnes med. På baggrund af oplysninger fra bygherren om dimensioner af spær og åse er det også leverandørens ansvar at kontrollere, om den dokumenterede fastgørelse er mulig. Fx skal det undersøges, om kravene til kantafstande for skruer i træ er overholdt. Hvis dette ikke er muligt må der findes et andet beslag.

Det er fx vanskeligt at etablere en fastgørelse til 38 × 56 mm lægter i en eksisterende tagkonstruktion. Dels kan der af hensyn til risikoen for flækning kun anvendes tynde søm eller skruer med relativt lille styrke, dels er lægternes styrke og fastgørelse til spær ofte utilstrækkelig eller vanskelig at dokumentere. De 3 nævnte specialistfirmaer Schletter, Würth og Hilti anvender således ikke beslag til fastgørelse i lægter, men tilråder fastgørelse til spær eller tagåse med dokumenteret bæreevne.

Selv om man vælger en fastgørelse til spær, kan det være vanskeligt at fastgøre et beslag til spærhovedet på et fabriksfremstillet gitterspær som normalt kun har en bredde på 45 mm. En sikker fastgørelse her vil kræve et vinkelbeslag på siden af spærhovedet, eller alternativt at der indlægges en fordelerplanke fx 45 × 120 mm mellem to spærhoveder, hvortil beslaget så kan fastgøres.

11.4.3.1 Montageskinner



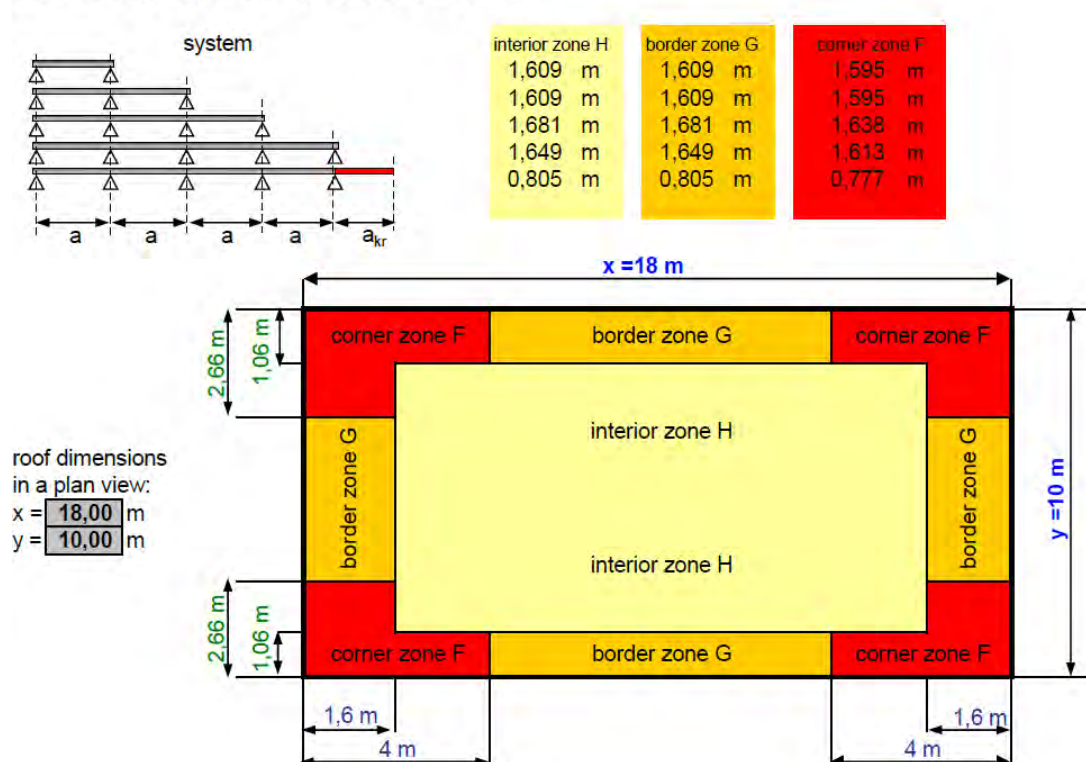
Billede 33 - Montageskinne, tværsnit

Solcellemodulerne bæres af kraftige montageskinner af aluminium fx med et tværsnit som vist på Billede 33. Montageskinne leveres i længder af op til 6 meter. Da aluminium har en relativ høj varmeudvidelseskoefficient vil temperaturvariationer (dag/nat, sommer/vinter) for lange montageskinner bevirke at skinne-enderne i værste fald flyttes flere mm. For at undgå for store temperaturbevægelser anbefales at indlægge passende dilatationsmulighed fx for hver 6 meter. Fastgørelsen af modulerne udformes som en stærk sammenkobling som bevirker at montageskinne fastholdes mod vridning. (Derfor vil også skruerne i fastgørelsesbeslag blive påvirket af temperaturbevægelserne i skinne, og disse belastninger vil være på tværs af spærhovedet).

Profiltype og størrelse af montageskinne vælges ud fra tabeller eller computerprogrammer. Når der er foretaget et valg eftervises, at den tilladte spændvidde for det valgte profil er større end de aktuelle, se Billede 34 fra [10] herunder. Montageskinne betragtes som en kontinuerlig bjælke over et eller flere fag (se

fx formler i [6]. (Ved flerfagsbjælker bliver midterfagernes fastgørelser påvirket af større belastninger end fastgørelser ved etfagsbjælker, op til 25 % større påvirkning se formler i [6]).

admissible spans in the different roof zone areas



Billede 34 - beregnede tilladelige spændvidder (eksempel)

11.4.3.2 Fastgørelser

Fastgørelserne findes i mange udformninger designet til den aktuelle tagbelægning og det aktuelle tagunderlag. Type og antal beslag pr. kvadratmeter vælges ud fra tabeller eller computerprogrammer. Fastgørelsernes indbyrdes afstand bør svare til spærafstanden så lasterne fordeles ligeligt mellem spærene. Herunder er beskrevet virkemåden af de 2 mest almindelige hovedtyper – ansatsskruer og tagkroge. Under afsnittet om tagsten er beskrevet en særlig løsning med indlæggelse af en fordelerbjælke som foreslås anvendt ved fabriksfremstillede gitterspær med 45 mm brede spærhoveder.

11.4.3.3 Ansatsskruer

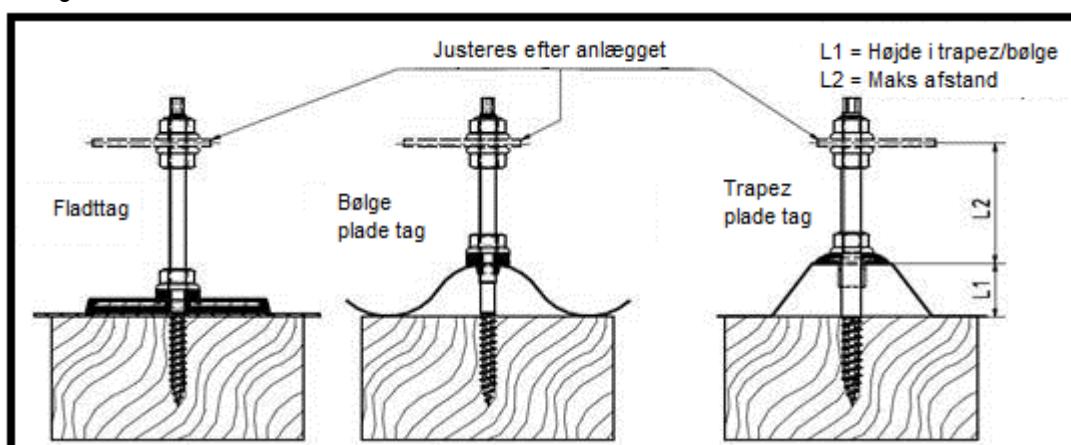
Ansatskruer, Billede 35 er specielle gevindstænger med 2 gevindtyper. I den ene ende et maskinskruegevind til fastgørelse af montageskinen, i den anden ende et gevind til fastskrining i træ eller metal. De anvendes især til eternittage og tage med trapezprofilerede stålplader.



Billede 35 – Ansatsskrue

Skruerne kan leveres i mange længder og udformninger – normalt er tykkelsen enten $d = 8$ mm, $d = 10$ mm eller $d = 12$ mm.

Ansatsskruer er stærke mini stålsøjler velegnet til optagelse af aksiale tryk- og trækbelastninger. Den nedadrettede kraft parallelt med taget fra egen vægt og sne forudsættes ofte overført til tagbeklædningen og herfra til underkonstruktionen for at øge bæreevnen. Montageskinnen fastgøres vridningsstift til en adapterplade således at belastningerne vinkelret på paneler kan overføres til ansatsskruerne som rene aksiale påvirkninger. For lange ansatsskruer kan trykpåvirkninger være bestemmende for styrken pga. søjlevirkningen.



Billede 36 - Anvendelse af ansatsskruer

Selv om anvendelsen af ansatsskruer er meget udbredt, findes der ikke et veldokumenteret dimensioneringsgrundlag for denne type fastgørelser af solcelleanlæg, så bæreevnen er baseret på forsøgsresultater og (konservative) antagelser i ”Allgemeine bauaufsichtliche Zulassungen” fra Deutsches Institut für Bautechnik. Den mindste effektive forankringslængde (iht. de tyske bestemmelser) er 34 mm for ansatsskruer med diameter $d = 8$ mm.

I Tabel 11 er til orientering anført nogle typiske trækbæreevner af 8 mm ansatsskruer som anvendes i Tyskland (tryk og tværbæreevner afhænger af den aktuelle tagbelægning og er i øvrigt kun angivet for metaltage i Zulassungen-skrivelsen). Ved udtrækspåvirkning og med forboring er den mindste bredde af trækonstruktionen som skal holde ansatsskruen 48 mm for $d = 8$ mm, 60 mm for $d = 10$ mm og 72 mm for $d = 12$ mm. Det vurderes dog i denne vejledning, at man – hvis en række betingelser er opfyldt – kan benytte for 8 mm ansatsbolte i 45 mm lægter/spær,

Bæreevne for ansatsskruer

Betegnelser

d	= diameter udv. trægevind
l_s	= den effektive forankringslængde
l_t	= min. trætykkelse
$a_{4,c}$	= min. kantafstand, belastet kant
$a_{4,t}$	= min. kantafstand, ubelastet kant
$R_{ax,k}$	= trækbæreevne (karakteristisk)
$R_{v,k}$	= tværbæreevne (karakteristisk)
vind	= regningsmæssig trækbæreevne for ”vindsug” (lastkombination 2, Ø)
sne	= regningsmæssig tværbæreevne for ”snelast” (lastkombination 1, K)

Ansatsskrue A2



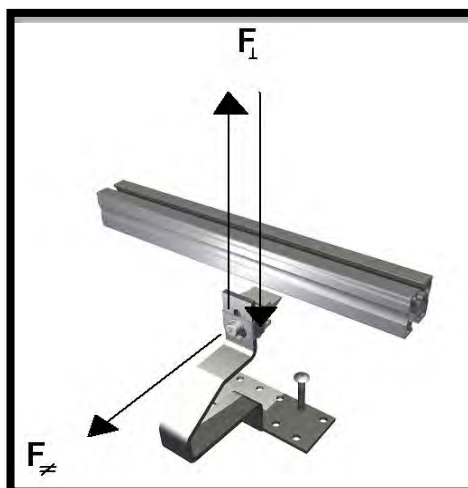
Billede 37 - Ansatskrue

Tabel 11 - Styrke af ansatsskruer

Type	d	l_s	l_t	$a_{4,c}$	$a_{4,t}$	$R_{zx,k}$	$R_{v,k}$	Vind	Sne
	mm	mm	mm	mm	mm	kN	kN	kN	kN
M10	8	70	48	56	24	3,53	-	2,7	-
M10	8	66	48	56	24	3,33	-	2,5	-
M10	8	62	48	56	24	3,12	-	2,3	-
M10	8	58	48	56	24	2,92	-	2,2	-
M10	8	54	48	56	24	2,72	-	2,0	-
M10	8	50	48	56	24	2,52	-	1,9	-
M10	8	46	48	56	24	2,32	-	1,7	-
M10	8	42	48	56	24	2,12	-	1,6	-
M10	8	38	48	56	24	1,92	-	1,4	-
M10	8	34	48	56	24	1,71	-	1,3	-

11.4.3.4 Tagkroge

Til tegltage anvendes normalt specielle tagkroge, se Montage på tagstenstage - baggrund. Herunder er vist, hvorledes kræfterne fra bæreskinne vha. en tagkrog og træskrue overføres til spærhovedet.

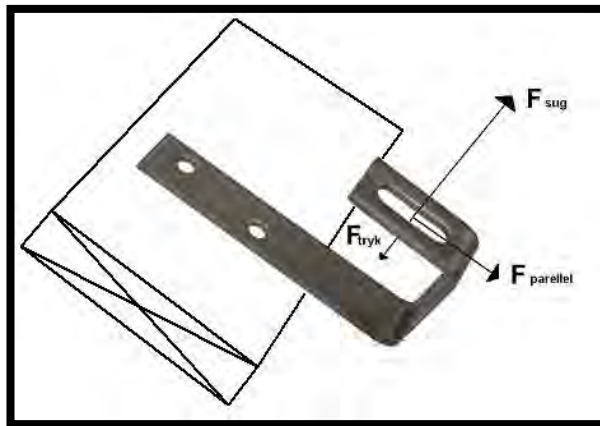


Billede 38 - Tagkrog med bæreskinne

Den nøjagtige udformning og placering af fastgørelsesbeslagene bestemmes af tagdækningen, og det er ikke altid, at denne placering er lige over et spær. Derfor er beslaget udformet med en bred fodplade med mange huller som gør det muligt at det foreskrevne antal skruer (normalt 2 eller 3, mindst 1 stk. i hver række) kan placeres i spærhovedet. En sådan montering vil imidlertid bevirke excentriske belastninger som beslaget skal overføre fra montageskinne til spærhoved. På Billede 38 er vist en udformning hvor beslaget opnår en vis indspænding i montageskinnen således at ekstra laster på skruerne reduceres. Udformningen af denne løsning bevirker også at selve "krogen" foroven fastholdes mod bøjning ved sammenkoblingen med montageskinnen og forneden indspændes vha. de 2 skruer. Herved får "krogen" væsentlig større styrke og væsentlig mindre deformation, og trykkes derfor ikke så let ned mod den underliggende teglsten. (I nogle bjergområder i Tyskland skal der regnes med så store snelaster at det simpelthen ikke er muligt at undgå at krogen trykkes ned mod tagbelægningen, her anbefales at udskifte den underliggende teglsten med en metalplade (som er designet til den aktuelle tegltype)).

Tagkrogene er udviklet af tyske firmaer og det er deres beregninger og anvisninger som ligger til grund for anvendelsen. Ved dimensioneringen anvendes de danske naturlaster. Lasttilfælde, bæreevner og kravene til mindste kantafstande for skruer i træ er iht. tyske regler (Eurocodes og de tyske nationale annekser, Zulassungen). Kan beslagene holde i Tyskland kan de nok også holde i Danmark, men i nogle tilfælde er det vanskeligt at overholde de tyske beslagleverandørernes anvisninger (som er en "betingelse" for at den dokumenterede bæreevne er til stede). For en tagkrog foreskrives således en mindste bredde af spærhovedet på 60 mm, hvor vi i Danmark ofte har 45mm brede spærhoveder.

Billede 26 viser en tagkrog på en fordelerplanke. Denne løsning foreslås anvendt ved tegltage med undertag på fabriksfremstillede gitterspær med 45 mm bredt spærhoved. Desværre er der endnu ikke udviklet beslag som passer helt til denne løsning, bl.a. skal der være et "knæk" på beslaget så hældningen kommer til at passe med teglstenens hældning. Dette problem kan dog løses ved at montere fordelingsbjælken eller beslaget med kiler. Teknologisk Institut samarbejder med firmaer, der vil producere et sådant beslag.



Billede 39 - Tagkrog på fordelerplanke

Fordelerbjælken skrues fast til spærhovederne med skruer dimensioneret til den aktuelle last fx ASSY spånpladeskruer 6 x 140 mm skruer (det antages at der ikke forekommer laster på tværs af spærhoved hvorved kantafstandskrav kan overholdes). Bedst ville det nok være at vælge ASSY 8 x 140 mm, som er vanskeligere at dreje "over", men her er krav om en mindste bredde af spærhovedet på 48 mm. Billede 40 viser et indledende udtræksforsøg på en prototype af beslaget (3 stk. undersænkede spun skruer 6 x 45 mm i fordelerbjælke; ved 1,8 kN var der blivende deformation af beslag) og Billede 41 viser en senere udformning af prototypen.

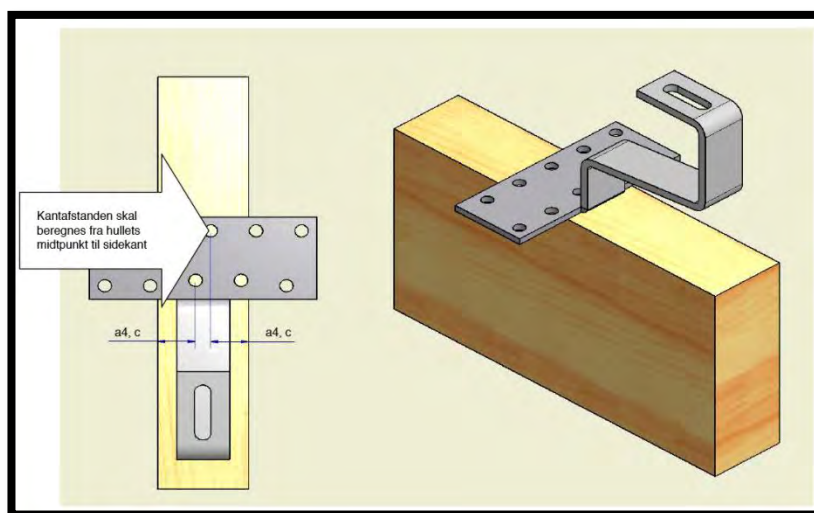


Billede 40 - Udtræksforsøg



Billede 41 - Beslag tagstentage (Kilde: Schletter)

11.4.3.5 Kantafstande



Billede 42 - Kantafstande

Ved anvendelse af skruer i træ er det vigtigt, at kravene til mindste kantafstande overholdes for at undgå flækning og bæreevnesvigt, se Billede 42. Mht. detaljerede krav til kantafstande i Danmark henvises til vejledningen ”Eurocode 5, Beregning af forbindelser” fra Træinformation [8].

I dette afsnit er valgt kun at se på skruer med forboring og kun skruer som er monteret vinkelret på fiberretningen i træet.

Ved forboring skal følgende krav opfyldes:

Skruer med rullet gevind:

Hullet bores med en diameter mindre end eller lig med kernediameteren (som producenten kan oplyse)

Franske skruer:

Hullet for skaftet bør have samme diameter som skaftet og samme dybde som skaftet

Hullet for gevinddelen bør have en diameter på ca. 70 % af skaftdiameteren

Den effektive forankringslængde i træet forudsættes $>6d$.

For skruer med $d \leq 6$ mm er kantafstandskravet $7d$ til belastet kant og $3d$ til ubelastet kant (og ved udtrækspåvirkning). Der er tale om ubelastet kant hvis der udelukkende belastes med træk eller tryk.

For skruer med $d > 6$ mm. (regnes som bolte) er kantafstandskravet $4d$ til belastet kant og $3d$ til ubelastet kant (og ved udtrækspåvirkning).

Ovennævnte kantafstandskrav er en forenklet gengivelse af de danske fortolkninger fra [8], hvortil der henvises for flere detaljer (fx afstandskrav til bjælkeende, indbyrdes afstand, forskellige vinkler mellem kraft og fiberretning mm). Eurocode [4] anfører $4d$ som mindste kantafstand for udtrækspåvirkede skruer ved trætykkelser $>12d$.

12 Litteraturliste

- [1]⁸ DS/EN 1991 last på bærende konstruktioner (flere dele)
- [2] DS/EN 1991-1-3 DK NA: 2012 (snelast)
- [3] DS/EN 1995-1-1 +AC:2007 (trænorm)
- [4] DS/EN 1995-1-1/A1:2008 (tillæg til trænorm)
- [5] Statische Anforderungen für Dach- und Freiflächenmontage, Dr. Ing. Cedrik Zapfe
- [6] Teknisk Ståbi , 21 udg., Nyt teknisk forlag
- [7] Byggningsberegninger, 2010, Nyt teknisk forlag
- [8] Eurocode 5, Beregning af forbindelser, Træinformation, 25/11-2011
- [9] Würth, Befæstelser til solceller ,WDK_100-2012
- [10] Schletter Solar Mounting Systems, 2012
- Stærkstrømsbekendtgørelsen, Afsnit 6, Elektriske installationer
- Stærkstrømsbekendtgørelsen, Afsnit 6A, Elektriske installationer
- SIK-meddelelser, bl.a. Elinstallationer 2/12
- Tæthed af rørgennemføringer og styrke af fastgørelser ved solfangerelementer, Rapport nr. 94-19, DTU
- Fastgørelse og rørgennemføringer ved solfangerelementer, Prøvestationen for solenergi, Teknologisk Institut
- www.levetider.dk
- Redningsberedskabets anbefalinger vedrørende etablering af solceller. Kan hentes på www.brs.dk

⁸ Tallet i [] angiver kildeanvisninger / referencepunkter i rapporten