



Byggnadsintegrerade solcellsanläggningar

Europeisk Best-Practice

Elforsk rapport 10:41



Michiel van Noord

Juni 2010

ELFORSK

Byggnadsintegrerade solcellsanläggningar

Europeisk Best-Practice

Elforsk rapport 10:41

Förord

Denna rapport har författats av Michiel van Noord, tidigare projektledare för solcellsinstallationer på Switchpower och numera verksam som konsult på Esam AB.

Projektet ingår i det tillämpade solcellsprogrammet SolEI 08-11 etapp III. Programmet finansieras av:

- Energimyndigheten
- Svenska Byggbranschens Utvecklingsfond via NCC och JM
- Vattenfall
- E.ON Sverige
- Fortum
- ABB Corporate Research
- Göteborg Energi
- Exotech
- HSB
- Malmö stad Serviceförvaltningen
- Sharp Electronics Nordic
- Switchpower
- Mälarenergi
- Tekniska Verken i Linköping AB
- Jämtkraft
- Umeå Energi
- Falkenberg Energi
- Växjö Energi Elnät



Rapporten finns fritt nedladdningsbar från SolEI-programmets webbsajt: www.solelprogrammet.se.

Monika Adsten
Elforsk AB

Sammanfattning

Byggnadsintegrerade solcellsanläggningar (eller BIPV-anläggningar) är de anläggningar där en solcellslösning utöver sin funktion att generera el även uppfyller en byggnadsfunktion, i de flesta fall klimatskyddet. Tänk på ett tak där mindre solcellsmoduler ersätter takpannorna och därmed även får en väderskyddande funktion. Att förena två eller fler funktioner på det sättet i en integrerad solcellsprodukt innebär en del utmaningar, men det skapar även nya möjligheter. Man måste se till att produkten håller samma standard vad gäller vatten- och brandskydd som byggnadsprodukten som den ersätter, samtidigt som elsäkerheten måste garanteras (även i vissa extremfall) och solesproduktionen optimeras. Med ett duktigt projekteringsteam bestående av arkitekter, byggnadsingenjörer och solcellsexperten klaras den uppgiften och i belöning får man en solcellsanläggning som kompletterar husets estetik. Dessutom kan det finnas kostnadsfördelar, genom minskad materialanvändning och installationstid och inkomster skapade av solcellerna.

För att kunna utnyttja BIPV:s fördelar till fullo behövs en ömsesidig kompetensöverföring mellan den klassiska byggbranschen och solcellsbranschen. Stött av EU-direktiv om förnybar energi och byggnaders energiprestanda, samt olika (ekonomiska) stödåtgärder har dialogen i Europa kommit igång. Solcellsbranschen lär sig tala arkitekternas språk och vice versa. Tillverkarna av både bygg- och solcellsprodukter tar fram nya lösningar. Byggnadsingenjörer möter solcellsexperten i utvecklingen av standarder för byggnadsintegrerade solcellsprodukter.

Förslagen till BIPV-standarder ligger nu hos de Europeiska standardiseringsinstituten (CEN, CENELEC) och de första resultaten förväntas i början av 2011. Till dess gäller de standardförslag som beskrivs i denna rapport som handledning för best-practice vad gäller personsäkerhet, brandsäkerhet, uthållighet och funktion. Även vad gäller stadsdelsplanering och arkitektur beskrivs ett antal praktiska råd och designriktlinjer. Solcellerna ska peka åt rätt håll och skuggning av solcellshuset eller närliggande objekt undvikas. Samt inte att förglömna att det behövs arkitektoniskt tilltalande lösningar.

Föreliggande rapport avslutas med det som ska vara en startpunkt och inspirationskälla vid design och projektering av byggnadsintegrerade solcellsanläggningar. Beskrivningar, analyser och exempel på olika produkter och lösningar finns enkelt rubricerade efter de byggprodukter de liknar, eller ersätter. Allt från solcellstakpannor till -balkongräcken och från solcellsglasfasader till elproducerande solskydd.

Summary

Building integrated photovoltaics (or BIPV) comprises those solar PV applications where the PV-product or –solution has a double function: it generates electricity and fulfils a building specific function, which most commonly is weather protection. Consider a roof covered with small-size PV modules that replace ordinary roofing tiles and become a part of the building's weather protection. In order to combine these different functions in a single BIPV-product one is faced by a number of challenges and opportunities. Not only should this new product compete with its non-PV equivalent when it comes to watertightness and fire safety, it should also guarantee electrical safety (even in some extreme situations) and allow for optimized electricity yield. It needs a skilled planning team of architects, building engineers and PV experts to tackle these issues, but the reward is a PV installation as an esthetical complement to the building. Even financial rewards can be within reach, with less material and installation time and income from the electricity yield.

To fully benefit from the advantages of BIPV a mutual knowledge transfer between the conventional building industry and the solar PV industry is required. This dialog has been accelerated in Europe by EU directives on renewable energy and energy performance of buildings, as well as several national (financial) incentives. The PV industry and architects are finding a common language. Manufacturers of both building products and solar products invent new BIPV-products. Building engineers meet solar PV experts when developing BIPV standards.

Proposals for BIPV standards have been presented to the European committees for standardization (CEN, CENELEC) and first results are expected by early 2011. Meanwhile these proposals, summarized in this report, give guidance for best-practice regarding personal safety, fire safety, endurability and functionality. Practical advice and design guidelines are also given for urban planning and architecture. After all the solar PV modules should be properly orientated and kept free from shadowing caused by the solar house or nearby objects. Not to forget the building and its PV installation should form an architecturally pleasing unity.

This report concludes with what is intended to be a starting point and source of inspiration for the planning and design of building integrated photovoltaics. Descriptions, analyses and examples of different products and approaches, neatly categorized by the conventional building products they resemble or mean to replace. From solar roof tiles to balcony racks and from PV glass facades to solar shading devices.

Innehåll

1	Bakgrund	9
1.1	Hur definieras "byggnadsintegrerad"?	9
1.2	Spridning av byggnadsintegreringslösningar	9
1.3	Omfattning av denna rapport.....	9
2	Möjligheter och hinder för byggnadsintegrerade solcellssystem	11
2.1	Fördelar med byggnadsintegrerade solceller	11
2.2	Aspekter som behöver uppmärksamhet	12
2.2.1	Produktionspåverkande faktorer	12
2.2.2	Dubbla funktioner ger extra funktionskrav	13
2.2.3	Dagens prisläge.....	14
2.2.4	Produktstandardisering.....	14
2.2.5	Aktuellt utbud av integrerade produkter och lösningar.....	15
2.3	Externa drivkrafter	15
2.3.1	Särskilda stödsystem för BIPV.....	15
2.3.2	EU:s energiprestandadirektiv	15
2.3.3	EU:s direktiv för förnybar energi.....	16
2.3.4	Solcellsteknikens popularitet bland allmänheten	16
2.4	Hinder på vägen	17
2.4.1	Tillståndprocesser	17
2.4.2	Prisdefinitionsskillnad mellan bygg- och solcellsbransch.....	18
2.4.3	Spridning av BIPV-kunskaper	19
2.4.4	Glapp mellan byggnads- och solcellsstandarder	19
2.5	Sammanfattning	19
3	Best-Practice spelregler	21
3.1	Inledning	21
3.2	Arkitektoniska spelregler.....	21
3.2.1	Praktiska råd.....	21
3.2.2	Designriktlinjer för BIPV	22
3.3	Byggnadstekniska spelregler	24
3.3.1	Säkerhet	25
3.3.2	Regnskydd.....	27
3.3.3	Kondens och mögel.....	27
3.3.4	Snölast.....	28
3.3.5	Ventilation	29
4	Best-Practice-lösningar	30
4.1	Produktindelning	30
4.2	Integrerade taklösningar.....	31
4.2.1	Takpannetak	31
4.2.2	Shingeltak och skiffertak	34
4.2.3	Falsade plåttak.....	36
4.2.4	Papp- eller duktak	38
4.2.5	Glastak eller takfönster	40
4.2.6	Modultak (standard solcellsmoduler på ca 1m ² , olika färgval)	43
4.3	Integrerade fasadlösningar.....	45
4.3.1	Plåtfasader	45
4.3.2	Glasfasader och fönsterpartier.....	47
4.3.3	Modulfasader (jfr blindglas- eller polerade stenfaser)	49
4.3.4	Balkongräcken	52
4.4	Integrerade solskyddslösningar.....	53
4.4.1	Lameller	53
4.4.2	Markiser	56

4.4.3	Övriga solskyddslösningar.....	58
5	Slutsatser	59
6	Litteraturförteckning	60

1 Bakgrund

1.1 Hur definieras "byggnadsintegrerad"?

I solcellsvärlden finns det en del olika användningar för termen "byggnadsintegrerade solceller" som är mer eller mindre exkluderande. I den här rapporten används en strikt uppdelning av alla solcellsanläggningar på byggnader i två kategorier: byggnadsapplicerade solceller (BAPV, Building Applied Photovoltaics), och byggnadsintegrerade solceller (BIPV, Building Integrated Photovoltaics).

En anläggning kallas för byggnadsapplicerad när den har monterats på en byggnad enbart som ett tillägg för produktion av solel. För att kallas byggnadsintegrerad ska solcellsmodulen eller solcellsprodukten dessutom uppfylla en extra byggnadsfunktion. Denna extra funktion kan till exempel vara att solcellsprodukten utgör en del av klimatskalet eller att den fungerar som solskydd.

Denna rapport begränsar sig till byggnadsintegrerade system enligt definitionen ovan.

1.2 Spridning av byggnadsintegreringslösningar

Det finns fler och fler aktörer som inser potentialen av integrerade byggnadsprodukter. Tillverkare både av solcellsmoduler och av byggnadsprodukter har tagit fram speciallösningar för solskydd, tak och fasader. Myndigheter i länder som Frankrike och Italien har utformat stödprogram för solceller så att byggnadsintegrerade system gynnas lite extra och försöker på så sätt driva på utvecklingen. I Sverige har insatserna för byggnadsintegrering av solceller än så länge varit begränsade till utbildning och informationsspridning bland arkitekter och till några enstaka anläggningar. Huvuddelen av de tekniska byggnadslösningar som används i landet idag är baserade på enkla lösningar och beskrivs snarare som byggnadsapplicerade än som byggnadsintegrerade.

1.3 Omfattning av denna rapport

Det finns en allmän uppfattning om konceptet byggnadsintegrerade solceller hos en växande del av Sveriges arkitekter och ingenjörer, dock saknas det ofta konkret kunskap om specifika lösningar och produkter. Denna kunskap är nödvändig redan i de första projekteringsstegen av BIPV-anläggningar för att minska barriärer för planering och genomföring av sådana solcellssystem.

I denna rapport vill vi sammanställa kunskapen om BIPV genom att visa best-practice från Europas ledande marknader. Rapporten belyser strategiska fördelar och hinder för byggnadsorienterade system samt de viktigaste projekteringsfrågorna, men inte minst sammanställer rapporten intressanta befintliga tekniska lösningar genom teknisk & funktionell beskrivning av de främsta produktlösningarna på marknaden.

En rapport kan inte ge all nödvändig solcellsexpertis för fullständig projektering av en (byggnadsintegrerad) solcellsanläggning. Föreliggande rapport ska ses som inspirationskälla och hjälpmedel vid förprojektering och kan ligga till grund för beslutsunderlag. Vid realisering av byggnadsintegreringsprojekt rekommenderas alltid att en solcellsexpert tas in i projekteringsgruppen så tidigt som möjligt i processen.



2 Möjligheter och hinder för byggnadsintegrerade solcellssystem

2.1 Fördelar med byggnadsintegrerade solceller

När solcellsteknikens potential diskuteras används ofta exempel i stil med att det skulle räcka att täcka sju procent av Saharas yta med solceller för att täcka hela världens energibehov. Dessa siffror är en bra beskrivning av teknikens möjligheter men kanske inte av dess användning. Utöver de politiska implikationerna av centraliserad produktion av solceller ska man komma ihåg att solcellstekniken i grunden är en teknik för distribuerad elproduktion. Det är också det som utgör teknikens stora kraft: att producera el där den behövs.

Nästan hälften av elen som användes i Sverige 2009 användes till bostäder, service, m.m. och knappt en tredjedel användes i tillverkningsindustrin(1). Merparten av vår el används alltså i bebyggd miljö där möjligheterna att tillämpa solcellstekniken är utmärkta. Solceller kan täcka annars helt oproduktiva ytor såsom tak och fasader, eller ge en extra funktion åt solavskärmning eller skärmtak. På detta sätt får dessa husdelar plötsligt ett komplett annat värde i byggnaderna.

Idag byggs de allra flesta solcellssystem genom att utgå från ett helt vanligt hus och sedan skruva på några solcellsmoduler på taket eller annan lämplig yta. I stället skulle man kunna använda sig av produkter som kombinerar "vanliga" byggnadsfunktioner (klimatskal) med en solcellsfunktion.

Om en produkt kan ersätta t.ex. både tegelpannor och solcellsmoduler som annars läggs ovanpå, är det första man kan spara på rena materialmängden och antal separata produkter. Varje "byggsten" i en byggnad innebär en viss hanteringstid, så genom att ha färre produkter att hantera kan man även minska installationskostnader med BIPV-produkter. Det säger sig självt, att kan man spara på material och installation, då finns det även bra potential att minska kostnader.

Utöver dessa fysiska och ekonomiska vinstmöjligheter ger integrerade solcellsprodukter dessutom mycket bättre möjligheter att skapa solcellsareor med olika utseenden. Byggnadsintegrering underlättar för solcellssystem som ska gömmas och för dem som ska lyftas fram. Solcellsanläggningen kan återspegla eller vara en fortsättning på mönster och stora linjer i byggnadens design. BIPV ger kort sagt nya verktyg åt arkitekter som vill skapa energigenererande byggnader. Mer praktiska råd och exempel på produkter och designarbete med solceller finns i kapitel 3 (Best-Practice spelregler) och 4 (Best-Practice-lösningar).

2.2 Aspekter som behöver uppmärksamhet

Fördelarna med byggnadsintegrerade solcellssystem är tydliga och lovande för framtiden. Man kan i teori vinna på utseende, materialkostnader och installationstid med samma produkt. Samtidigt är det i många fall så att fördelarna inte kommer till sin fulla rätt på grund av omogenheter i produkterna eller industrins utveckling i helhet.

2.2.1 Produktionspåverkande faktorer

Precis som för alla solcellsinstallationer är produktionen av byggnadsintegrerade solcellssystem känslig för temperatur, orientering och skuggning. Byggnadsintegrering i sig medför ingen större känslighet men det ökar sannolikheten att en eller flera av dessa faktorer kräver extra uppmärksamhet, antingen vid design av produkten eller vid anläggningens design.

Celltemperatur

Solcellernas verkningsgrad minskas när celltemperaturen stiger. En tidigare SolEl-studie(2) visade att solcellerna som är monterade utanpå en tegelvägg (i södra Sverige) med en luftspalt på 2cm, når en temperatur som ligger 30° över omgivningstemperaturen vid hög instrålning. Detta innebar i det undersökta systemet en minskad årsproduktion på runt 7 %. Vid integrerade solcellsanläggningar är det ofta svårare att skapa bra ventiler för solcellerna. Slutsatser från en litteraturstudie under IP Performance projektet pekar på celltemperaturer på mer än 50° över lufttemperaturen och förluster på upp till 11 % i BIPV-anläggningar(3). Det finns BIPV-produkter eller lösningar där mycket uppmärksamhet har getts åt ventilation eller alternativ kylning. Där sådana färdiga lösningar inte kan användas kan det vara värt att vid projektering försöka skapa fördelaktiga kylförhållanden på annat sätt. Detta gäller ännu mer där höga temperaturer på solcellsmodulerna även har negativa effekter på inomhusmiljön.

Orientering

Den högsta årsproduktionen av ett (icke-följande, skuggningsfritt) solcellssystem uppnås i Sverige genom att rikta solcellsmodulerna rakt mot söder samtidigt som de lutar ungefär 40° grader från horisonten. När man bygger ett byggnadsintegrerat solcellssystem kan orientering och lutning inte alltid väljas fritt, speciellt då det gäller en befintlig byggnad. I så fall kan man använda tumregeln att årsproduktionen inte minskar med mer än 5 % om man håller orienteringen mellan sydväst och sydöst eller lutningen mellan 20° och 60°. Bygger man däremot ett nytt hus eller ett helt nytt område bör man tänka på den optimala orienteringen från början. Husen ska då helst planeras i rad från öst till väst, för att skapa låga horisonter mot syd, och taklutningen kan anpassas efter den optimala lutningen.

Skuggning

En annan mycket viktig aspekt under designfasen av ett BIPV-system är skuggningen. Då solcellsmoduler kopplas i serie och parallellt för att uppnå rätt spänning och ström för växelriktaren, påverkar skuggning på en solcellsmodul (eller en del av modulen) produktionen från en hel slinga moduler. I största möjliga mån ska man alltså undvika skuggning av

solcellerna, med prioritering av timmarna mitt på dagen under vår, sommar och höst. Detta kan uppnås genom att inte projektera några ventilationsdon eller andra objekt på söderlutande tak och i stället ha dessa på de norra taken som inte lämpar sig för solceller. För solcellsfasader gäller det att tänka till var till exempel stuprör placeras. I båda fall, fast mest för fasader, ska man också vara medveten om var det finns objekt som ljusstolpar, flaggstänger eller träd och hur stora dessa kan (får) bli samt hur närplacerade byggnader orsakar skuggning på solcellsobjektet. Fasadsystem ska som regel inte ha solcellsmoduler längst ner på fasaden.

Ytor som på grund av skuggning döms som olämpliga för solceller, men som är omgivna av solcellsmoduler kan täckas med dummiemoduler (ej aktiva solceller) eller blindglas för att behålla ett enhetligt utseende. Där man inte helt kan undvika skuggning (utanför de prioriterade produktionstimmarna) kan man överväga att använda tunnfilmmoduler som inte är lika känsliga för skuggning som kristallina kiselmoduler, eller så kan man använda separata Maximum-Power-Point-Trackers (MPPT:s) för varje modul som optimerar effekten från varje modul och därmed begränsar skuggningsförlusterna. Ett antal sådana MPPT-lösningar har under 2009 introducerats på marknaden och används antingen med tillhörande växelriktare eller med anpassning av vanliga växelriktare.

Reflektion om produktionspåverkande faktorer och BIPV

I detta avsnitt har beskrivits vilka faktorer som påverkar ett solcellssystemets produktion och vad man bör tänka på vid optimering av produktionen. Elproduktionen är dock inte den enda faktorn av betydelse i byggnadsintegrerade system. För varje individuell anläggning ska en avvägning göras mellan elproduktion, estetik, övriga byggnadsfunktioner och ekonomi för att hitta det optimala systemet.

2.2.2 Dubbla funktioner ger extra funktionskrav

Själva grundtanken med byggnadsintegrerade solcellssystem, att kombinera byggprodukter och solcellsprodukter, leder till ett ökat antal funktionskrav på BIPV-produkter. De krav som ställs på "vanliga" byggprodukter ska gälla för BIPV-produktens byggfunktion och likadant ska kraven på en standard solcellsmodul gälla för produktens solcellsfunktion. Dessutom får den sammanlagda produkten varken innebära större risker vad gäller personlig säkerhet, brandsäkerhet eller saksador, än vad som är tillåtet för produktens användningsområde.

Några exempel som visar på funktionskraven vad gäller BIPV:

- En fasad med integrerade solcellspaneler som ytskikt får inte innebära en högre brandrisk eller ökad personskaderisk för förbipasserande om modulen skulle spricka.
- En solcellstakpanna ska inte ha sämre vattentäthet än en vanlig takpanna bara för att solcellerna ska vara elektrisk kopplade och taket ska fortfarande kunna beträdas för service och underhåll.
- Solskydd med integrerade solceller ska såklart uppfylla solavskärmningskraven för att uppnå en bra inomhusmiljö.

Den ökade kravprofilen för integrerade solcellsprodukter behöver inte utgöra ett problem så länge både tillverkaren eller designern och installatören är medvetna om vilka krav som gäller och tar dessa på allvar. Därför är det tillrådligt att experter på de aktuella områdena är delaktiga från och med första början vid projektering av integrerade solcellssystem.

2.2.3 Dagens prisläge

Solcellsindustrin befinner sig mitt i en mycket snabb utveckling. På tio år mellan 1998 och 2008 har den totala installerade effekten i världen femtondubblats (från 962 MW till 14 730 MW). År 2008 (5 559 MW) installerades cirka 36 gånger så mycket solceller som under 1998 (155 MW) och den Europeiska branschorganisationen EPIA förväntar att den siffran hamnar mellan 12,3 och 22,3 GW för 2013(4). Denna exponentiella tillväxt av solcellsindustrin har så klart haft sin påverkan på solcellsmodulernas prisnivå. I takt med tillbyggnaden av solcellssystem har priserna för standardmoduler sänkts med i snitt 20% per fördubbling av total installerad effekt.^a Även priserna för specialmoduler som huvudsakligen används vid byggnadsintegrering har minskat, dock gäller inte samma skalfördelar här eftersom dessa produkter oftast tillverkas i små mängder. Byggnadsintegrerade solcellssystem kan i dagens läge därför vara kostnadsintensivare per installerad effekt än byggnadsapplikerade system plus standard byggnadsskal. En ökad standardisering av produkten skulle kunna snabba på prisutvecklingen.

En intressant jämförelse av kostnader för solceller jämfört med andra byggnadsmaterial diskuteras i avsnitt 2.4.2.

2.2.4 Produktstandardisering

På onlineversionen av företagskatalogen för förnyelsebar energi, Source for Renewable Energy, finns idag 550 modultillverkare registrerade världen över(5). Skulle man välja ut ett femtal tillverkare av kristallina kiselmoduler och deras produkt i en viss effektklass, så finner man med största sannolikhet att samtliga produkter ser likadana ut, fast alla har olika mått. Dagens 170W moduler på standardiserade 5 inch kiselceller mäter cirka 80 x 160 cm, men där den ena tillverkaren lägger till någon millimeter i bredden tar den andra bort en i längden. För tunnfilmsmoduler gäller i princip samma sak, fast de inte bygger på samma cellkoncept som kiselmoduler.

Den brist på standardisering som finns är inget större problem när modulerna placeras utanpå ett tak eller fasad, men gör livet svårt för den som utvecklar en lösning med modulerna som byggnadsskal och som har krav på sig vad gäller vattentäthet m.m. Då måste produkten antingen vara anpassad eller anpassas efter vilken solcellsmodul som används. En sådan produktanpassning innebär ofta en omställning i produktionen och allt som hör till i produktivitetsförluster.

En väg som många tillverkare av solcellsmoduler har valt för integrerade taklösningar är att erbjuda ett specialtillverkat monteringsystem som passar

^a I mitten av och mot slutet av 2000-talet steg prisnivån på grund av brist på "solar grade" kisel, men 2009 har priserna minskat med runt 30%.

just deras modulmått. Detta är en kortsiktig lösning som inte gynnar utvecklingen av bra integreringslösningar i längden. Systemägaren ska kunna välja sina produkter utifrån kvalitet och inte leverantör. En tillverkare av bra solcellsmoduler producerar inte nödvändigtvis bra taktäckande monteringslösningar och vice versa. Dessutom skulle de resurser som finns tillgängliga för utveckling av byggnadsintegreringsprodukter användas mycket effektivare om produktutvecklare helt kunde fokusera på de viktiga byggnads- och eltekniska kraven och slapp anpassningar efter modulmått.

Vid sidan om modultillverkarna finns det tillverkare av monteringslösningar som har utvecklat fungerande anpassningsbara system. Vid en genomgående standardisering av modulmåten kan deras produktionsprocess förenklas och skalas upp, vilket bör gynna BIPV:s konkurrenskraft. Detta gäller till viss del även för de system som produceras av modultillverkarna.

2.2.5 Aktuellt utbud av integrerade produkter och lösningar

BIPV är än så länge en nisch tillämpning av solceller. Även om antalet produkter och integreringslösningar ökar så baseras många på samma koncept och utvecklingen av nya koncept tar tid. De stödsystem som finns i till exempel Frankrike och Italien med speciell inriktning på BIPV har dock lett till ökat fokus på byggnadsintegrering både från modultillverkare och från tillverkare av byggnadsprodukter och förväntas öka utvecklingstakten vad gäller nya BIPV-lösningar.

2.3 Externa drivkrafter

2.3.1 Särskilda stödsystem för BIPV

Som tidigare nämnts finns det ett flertal europeiska länder som har inrättat särskilda inmatningstariffer för solel från byggnadsintegrerade solcellssystem. Utvecklingen av BIPV främjas ordentligt av sådana särskilda insatser samtidigt som det finns ett antal mer allmänna drivkrafter inom EU.

2.3.2 EU:s energiprestandadirektiv

Under Sveriges ordförandeskap i EU presenterades i november 2009 den politiska överenskommelsen om ett nytt direktiv om byggnaders energiprestanda (Energy Performance of Buildings Directive, EPBD), där ett antal nya mål ställs för energianvändningen i byggnader som ska underlätta för målet att minska energiförbrukningen i EU med 20 % till 2020. Den Europeiska Kommissionen ska utveckla en metod för att räkna ut den kostnadsoptimerade nivån för energiprestanda för byggnader och byggnadselement. Varje medlemsstat ska sedan sätta sina mål för energiprestanda baserat på metoden. Intressant för solcellstekniken och BIPV är att definitionen på "kostnadsoptimerad nivå" utgår från den lägsta kostnaden under byggnadens livscykel, vilket leder till ett långsiktigt perspektiv som ger en mer rättvis bild av solcellssystemens potential.

Den andra för solel viktiga delen av direktivet är att senast 2020 ska alla nybyggda byggnader vara mycket energieffektiva, eller "nära-noll-energihus".

Detta gäller även för byggnader som genomgår väsentliga renoveringar.^b Alla byggnader som ägs eller används av offentliga myndigheter ska uppfylla dessa krav redan två år tidigare. Energianvändningen som kvarstår ska, enligt direktivet, till en mycket signifikant del komma från förnybara källor, inklusive förnybar energi som genereras på plats eller i närheten. Vilka nivåer som precis kommer att gälla för att uppfylla kravet på "nära-noll-energihus" är inte vidare definierat i direktivet och frågan är om olika länder kan använda sig av olika definitioner. Specifiserade krav saknas tyvärr också för den största gruppen av byggnader, nämligen de befintliga (99 %). Dessa behöver enligt direktivet endast få en förbättrad energiprestanda när de renoveras väsentligt och om det är tekniskt, funktionellt och ekonomiskt lämpligt. Kravnivån kommer troligen att sättas på nationell nivå. Det är bra att notera att i dagens byggregler faller byggnadsintegrerade solceller inom systemgränsen och deras elproduktion minskar därför byggnadens energianvändning.

2.3.3 EU:s direktiv för förnybar energi

Ett annat mål som EU har antagit är att öka andelen energi från förnybara energikällor till 20 % senast år 2020. Detta mål har tolkats i olika delmål för medlemsstaterna. De länder som har befintliga stimulansåtgärder för BIPV har krav på sig att minst fördubbla den andelen förnybar energi, i Italiens fall till och med att tredubbla den. Detta är en klar drivkraft för utvecklingen av BIPV som kommer att gynna teknikens tillämpning i hela Europa.

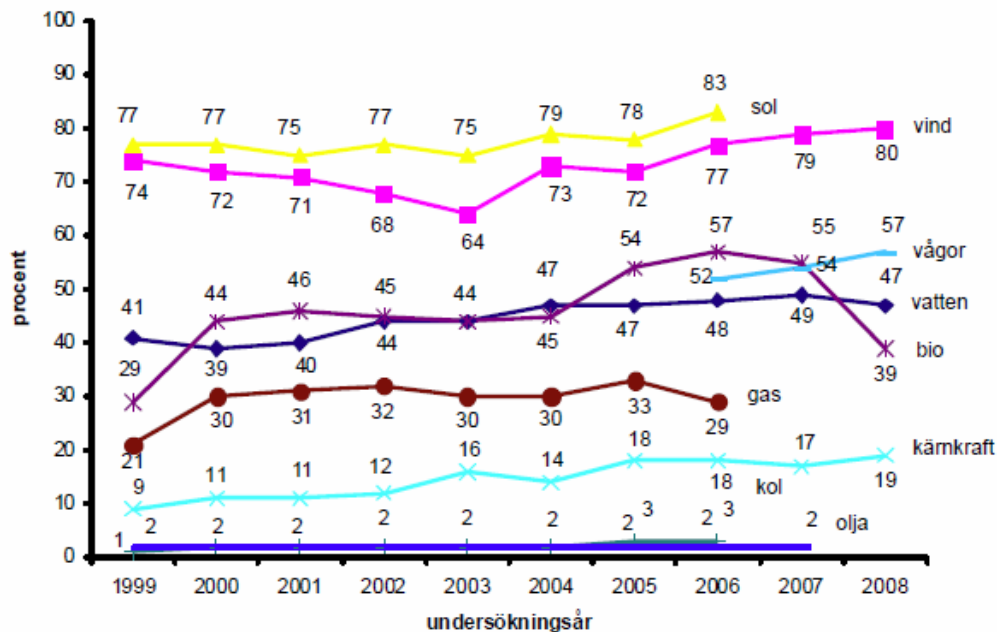
2.3.4 Solcellsteknikens popularitet bland allmänheten

Solcellerna brukar kunna räkna på ett brett stöd bland allmänheten. Enklaste sättet att visa populariteten för solenergi bland svenskar i siffror är att referera till SOM-undersökningen som har gjorts fram till 2006 (då solenergi togs bort ur undersökningen) i Figur 1 (6). 2006 ansåg så mycket som 83 % av Sveriges befolkning att Sverige borde satsa mer på solenergi. Räknas även de som ville satsa ungefär lika mycket som redan görs, blir siffran hela 93 %. Detta är mer än stödet för vindkraft eller något annat förnybart energislag och mycket mer än de som ville satsa mer på fossila bränslen och kärnkraft tillsammans (52 %, 2006).

En mindre vetenskaplig opinionsundersökning som ändå är värd att nämna är en enkät som tidskriften "Vi i villa" höll bland sina läsare 2007. På Björn Sandéns (Chalmers) förslag var det med en fråga om solel, där villaägarna frågades om de var beredda att betala ett lite högre pris för en begränsad mängd (100kWh) solel per år. 8,1 % av de tillfrågade svarade att de var villiga att betala 3 kr/kWh eller mer. Solel från en medelstor byggnadsapplikerad anläggning som byggs idag med 60 % investeringsstöd kostar ca. 2:- kr/kWh inkl. moms (ekonomisk kalkyl på 30 år, kalkylränta 3%).

^b En "väsentlig renovering" definieras som en renovering eller ombyggnad av byggnadsskalet eller byggnadens tekniska system där kostnaden för renoveringen är lika med mer än 25 % av byggnadens totala värde (exkl. tomtvärde), eller där renoveringen omfattar mer än 25 % av byggnadsskalets area.

Att populariteten för solcellstekniken bland allmänheten är så pass stor och det över det hela politiska spektrat, samt att det finns en beredskap att betala är något som lovar mycket gott för solceller i framtiden. Redan idag kan det första praktiska resultatet hittas i Sveriges första solellolektiv i Sala och Heby kommun.



Figur 1 - Andel av svensk befolkning som vill satsa mer på olika energislag, enligt Energiopinionen i Sverige, SOM-institutet (6)

2.4 Hinder på vägen

Som för de flesta tekniker och utvecklingar finns det inte bara externa drivkrafter, men även externa hinder. I detta avsnitt presenteras de viktigaste hindren samt vad som görs eller kan göras för att avlägsna dessa.

2.4.1 Tillståndprocesser

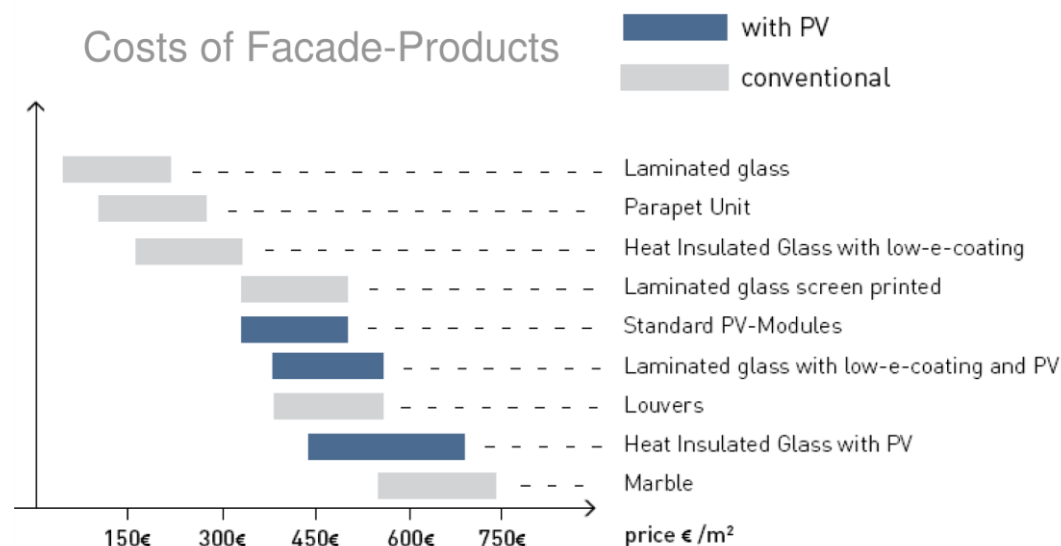
Det mest kända exemplet där en tillståndprocess utgjorde hinder för en (icke-byggnadsintegrerad) solcellsanläggning i Sverige är fallet med Fläckebo kyrka. Solcellsmodulerna var tänkta att sitta på kyrktaket men Riksantikvarieämbetet ansåg att kulturmiljön runt kyrkan skulle förvanskas och satte stopp för planerna. I en del europeiska länder, speciellt i Sydeuropa, kan tillståndprocessen för anslutning till elnätet ta flera månader och det kan hända att anslutningen bara får ske på stamnätet och medför väsentliga extrakostnader. I Sverige däremot bygger nätanslutningsprocessen på att nätbolaget är informerat, vilket sker via en förhandsanmälan, och bolaget kan inte vägra anslutning. Denna process har fungerat bra, även om många nätbolag är ovana med solcellsanläggningar och behöver informeras om säkerhetssystemen i solcellsanläggningen.

Eventuella problem eller förseningar i tillståndprocesser beror oftast på kunskapsbrist hos, och otydlig informationsspridning från myndigheter eller ansökanden. Som ansökande kan man underlätta processen genom att ta reda på vad som gäller för bygglov och andra tillstånd samt att samla den information som handläggaren kan behöva innan ansökan skickas in. Vad gäller kulturminnesmärkta byggnader så är chansen att få tillstånd för ett solcellssystem mycket liten. Att byggnadsintegrera systemet på ett sätt anpassat efter byggnaden har i flera länder gjort solceller på minnesmärkta byggnader möjligt. Om det även är en lösning i Sverige är i dagsläget omöjligt att säga.

2.4.2 Prisdefinitionsskillnad mellan bygg- och solcellsbransch

I byggvärlden är det regel att byggmaterial värderas per kvadratmeter. Solcellsmoduler värderas däremot per kWp (toppeffekt) och prisen är praktiskt samma oavsett om en kWp tar upp sju eller fjorton kvadratmeter. Väljer man solcellsmoduler med lägre verkningsgrad så sparar man alltså på kostnad per byggnadsarea. Den tyska arkitekten Ingo Hagemann har år 2007 gjort en jämförelse av kvadratmeterpris för olika byggnadsmaterial med och utan solceller (PV) och kom fram till resultaten som visas i Figur 2. Där kan avläsas att standard solcellsmoduler kostar ungefär lika mycket per kvadratmeter som laminerat glas med screentryck. Avancerade BIPV-produkter såsom isolerglas med solceller är inte heller de dyrast per area, marmor kostar i genomsnitt mer.

Notera att grafen avser endast prisen för själva produkten och inte för monteringslösningar, installation och – i solcellernas fall – elektrisk kringutrustning.



Figur 2 - Kostnader per kvadratmeter för olika byggnadsmaterial 2007, solcellspriserna har sänkts ytterligare sedan dess © www.gipv.de

Man ska komma ihåg att priserna för solceller utvecklas nedåt i snabb takt, alltså skulle samma grafik redan idag se annorlunda ut. Dessutom är

solcellsprodukterna de enda produkter där man överhuvudtaget kan tala om en återbetalningstid.

2.4.3 Spridning av BIPV-kunskaper

Kunskaperna om solceller är begränsade hos många arkitekter och byggnadsingenjörer, för vanliga byggnadsapplicerade solcellssystem och ännu mer för byggnadsintegrerade system. Mycket beror på begränsat samarbete och kunskapsöverföring mellan solcellsingenjörer å ena sidan, och arkitekter, konstruktörer och elingenjörer å andra sidan. Kunskapsnivån om solcellernas möjligheter och tillämpningar behöver höjas hos byggaktörerna, medan solcellsexperter bör öka sina kunskaper vad gäller byggnadslösningar på den lokala marknaden. Ett viktigt steg för att uppnå den informations- och kunskapsöverföring som behövs är framförallt ett tidigt och nära samarbete mellan de olika experterna i planeringsfasen för byggnadsintegrerad solcell. På så sätt sänks tröskeln för att påbörja fler projekt med byggnadsintegrerade solceller.

SolEI-programmet har som ett av målen att bidra till kunskapsspridningen. Grundläggande insatser som SolEI-programmet bidrar med på detta område är workshops för arkitektstudenter, denna best-practice rapport, med flera.

2.4.4 Glapp mellan byggnads- och solcellsstandarder

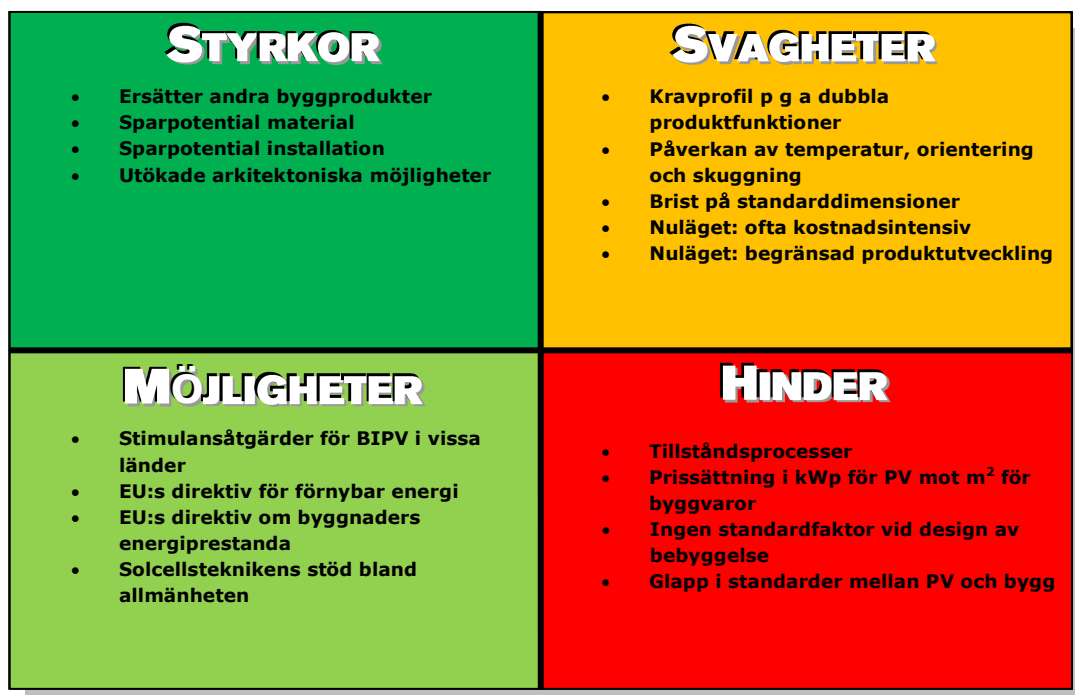
Normer och standarder som finns idag för solcellsmoduler täcker saker som prestanda, elektrisk säkerhet samt uthållighet i utemiljön. Samtliga dessa standarder och tillhörande tester är inriktade på att säkerställa att solcellsmodulen genererar el på ett säkert sätt och kommer att göra det under en livslängd på 30-40 år utan stora förändringar vad gäller elproduktion eller säkerhet. Vad standarderna däremot inte är skrivna för och därmed inte heller kan säkerställa är att solcellsprodukten håller som en säker och uthållig byggkomponent. Att en solcellsmodul inte ska vara lättantänd för att inte öka brandskaderisken på taket, är en helt annan sak än att modulen tillsammans med monteringsystemet ska hålla brandklassningen för ett yttertak.

Samtidigt som befintliga solcellsstandarder inte rakt av kan användas för BIPV-produkter kan inte heller byggstandarder det. När en glasruta testas för tålighet och genomfallssäkerhet behöver testen inte innehålla något avsnitt om elsäkerhet. Byter man ut glasrutan mot en solcellsmodul kan elsäkerhetsrisken plötsligt bli livsviktig.

Problematiken som beskrivits har uppmärksammats av flera aktörer och en viktig insats för BIPV-standarder och inte minst testmetoder för BIPV-produkter har gjorts i de EU-finansierade projekten EUR-ACTIVE ROOFer och IP Performance. Mer konkret information om projektresultaten hittas i nästa kapitel om Best-Practice spelregler.

2.5 Sammanfattning

De trender och situationer som har beskrivits i detta kapitel sammanfattas i nedanstående SWOT-diagram.



Figur 3 - SWOT-diagram för byggnadsintegrerade solceller. Flera insatser pågår för att ta bort hinder och stärka svagheter.

3 Best-Practice spelregler

3.1 Inledning

I förra kapitlet skapades en bild av förutsättningarna för byggnadsintegrerade solcellssystem. En del utvecklingar i samhället presenterades bredvid en del konkreta frågor om produktens funktion och säkerhet. I detta kapitel fokuseras på de viktigaste förutsättningarna som behövs för att göra en BIPV-anläggning lyckad. De aspekter som presenteras här har delats in i två delar, de som kan kallas arkitektoniska spelregler och de som kallas för byggnadstekniska spelregler.

I detta kapitel går vi inte in på de allmäntekniska designkrav som gäller för alla solcellsanläggningar, såsom elektrisk konfiguration, m.m.

3.2 Arkitektoniska spelregler

Arkitektur handlar mycket om estetik och det gör det svårt att definiera vad som är bra arkitektur. Ändå finns det hundratals arkitekturpriser och utlyses många arkitekttävlingar för ambitiösa byggprojekt. Finns det kanske något mer allmängiltigt att säga om arkitektur än att det handlar om personliga åsikter? I avsnitt 3.2.2 sammanfattas ett försök att destillera några riktlinjer eller designprinciper som riktar in sig specifikt på byggnadsintegrerade solcellsanläggningar. Först följer här dock en snabb genomgång av några praktiska råd för den som designar stora eller små BIPV-projekt.

3.2.1 Praktiska råd

Byggnadsintegrerade solcellsprojekt finns i alla storlekar, från ett balkongräcke på ett befintligt hus till nybyggnation av ett helt stadsområde med hög andel solceller. Möjligheter att påverka skiljer sig stort mellan de olika BIPV-projekten men principen är samma: man måste från första början tänka på soltillgången.

Finns det möjlighet att påverka stadsplaneringen med solenergi i tanken så ska det göras. Man kan tycka att det borde vara en förutsättning för alla nya områden även om solceller inte planeras just nu. Gatornas sträckning och byggnadernas placering och höjd fastläggs för många decennier framöver och sannolikheten är stor att solenergi ska tillämpas i området någon gång i framtiden. Alltså ska gatuplanen vara utformad för att optimera ytor med riktning mellan sydväst och sydöst. Högre bebyggelse bör planeras på norra sidan av området för att inte skugga lägre hus som står runtom. Ett bra exempel på ett område som har planerats med solceller i tanken är "Stad van de Zon" (Solstaden) i Heerhugowaard, Nederländerna, som visas i Figur 4.



Figur 4 - Vy söderifrån över "Stad van de Zon" under byggnation. Gatuplanen har tydligt designats för optimal soltillgång på husen © Cees Bakker

Har området planerats med tanke på soltillgång så blir det också mycket enklare för arkitekten för varje enskilt hus eller husrad att integrera solceller i byggnaden på ett effektivt sätt. Det enda som kan hindra optimalt solutnyttjande är byggnadsdelar eller tekniska objekt på själva huset som skuggar solcellsytor. Håller man sig till regeln att allt sådant som från- och tilluftsdon eller taknischen placeras på norra sidan av huset så brukar problemen vara borta. Det enda som arkitekten då behöver bekymra sig över är att skapa en tilltalande byggnad.

3.2.2 Designriktlinjer för BIPV

Hur man gör för att skapa attraktiva hus med integrerade solceller har IEA PVPS-programmets första delprogram för solcellsanvändning i bebyggd miljö, Task 7, funderat på. Ett tiotal experter (alla med bakgrund inom arkitektur) gjorde ett försök att komma fram till riktlinjer för bra solcellsarkitektur, som skulle vara så objektiva som möjligt. Att följa dessa riktlinjer leder inte till att alla kommer att tycka om resultatet, men sannolikheten är stor att de flesta tycker att resultatet formar en konsekvent helhet och har utstrålning. Resultat av Task 7:s insats är de sju kriterierna nedan, som kan tjänstgöra som handledning vid design och bedömning av byggnadsintegrerade solcellsanläggningar.

Kriterier för bra solcellsarkitektur (7)

1. Naturlig integrering av solcellssystemet

Solcellerna utgör en självklar del av byggnaden, inte en tillägg.



Figur 5 - Naturlig integration:
Semitransparenta solceller har
integrerats i det välvda taket.
© Novem

2. Solcellssystemet är arkitektoniskt tilltalande, inom byggnadens kontext

Tilltalande solcellslösningar, som inte i sig förbättrar byggnadens design.

3. Bra komposition med färger och material

Solcellernas färg och struktur ska vara anpassade till resten av byggnadens material.

Figur 6 - Bra komposition: tre
färgade block formas på
fasaden, samtidigt som
strukturen i tegelpelarna
återkommer i solcellsytan.
© Scheuten Solar



4. Solcellssystemet passar det visuella rutnätets mönster (är i harmoni med byggnaden och utgör en bra komposition i helheten)

Mönster, former och genomgående linjer i byggnaden ska återkomma eller fortsättas i solcellsanläggningen.

5. Solcellssystemet passar byggnadens kontext (kontextualitet)

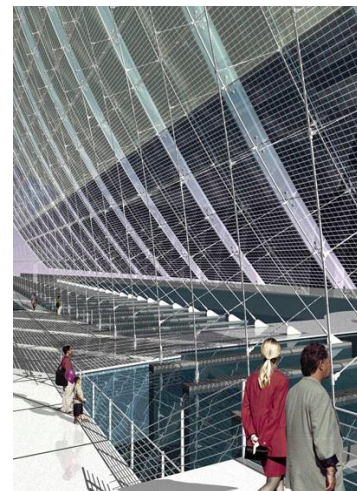
En historisk byggnad ska t.ex. inte utrustas med ett system med high-tech utseende och vice versa.



**Figur 7 –Passar byggnadens kontext:
Solcellsskiffer smälter in i husets klassiska
utseende.**
© SolarCentury.com

6. Solcellssystemet och dess integrering är välprojekterade
Det ska utstråla elegans genom uppmärksamhet på detaljerna.
Materialminimering är ett bra exempel i detta sammanhang.
7. Tillämpningen av solceller har lett till innovativ design
Tänk fritt och nytt, långt från allt som kan göras med solceller har gjorts.

**Figur 8 - Innovativ design: Vinnande
design för renovering av huvudsädet för
Department of Energy (DOE), Washington,
USA**
© Solomon Cordwell Buenz & Ass.



3.3 Byggnadstekniska spelregler

Hur säkerställer man som projektör eller byggherre att en byggnadsintegrerad solcellsanläggning fungerar bra och är säker? Idag behövs expertkunskaper och i vissa fall tester anpassade efter den specifika tillämpningen, eftersom det för tillfället inte finns avgörande standarder eller standardtester för BIPV-produkter. I detta avsnitt sammanfattas några praktiska förslag och råd vad gäller säkerhet och systemoptimering.

3.3.1 Säkerhet

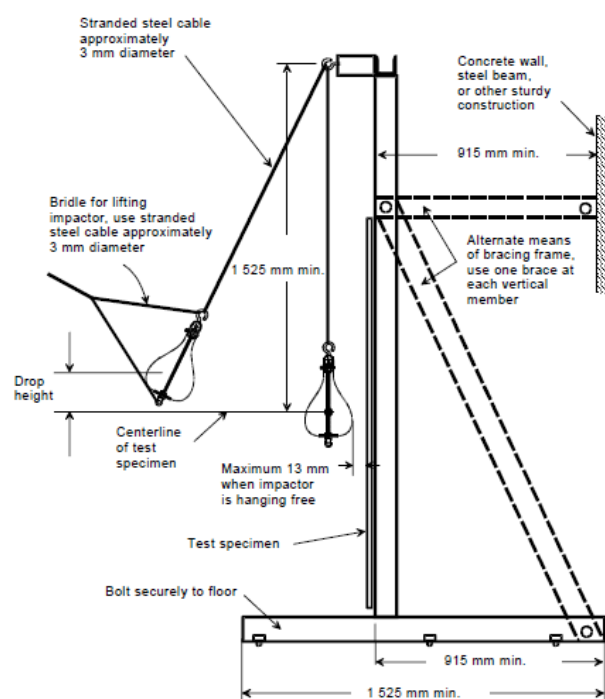
IP Performance projektet har varit en av de engagerade aktörerna för att ta fram förslag till nya standarder för testmetoder för integrerade solcellsprodukter(8). Förslaget utgår från den Europeiska Gemenskapens direktiv för byggprodukter (Construction Product Directive, CPD) och inkluderar tre testmoment, en för modulbrott, en för brandsäkerhet och en för dynamisk belastning. Samtliga tre tester har sitt ursprung i befintliga standarder och testmetoder för solcellsmoduler och byggprodukter (i synnerlighet glasprodukter). Eftersom standarderna är under utveckling följer här nedan en kort sammanfattning av testerna och avvikelser från befintliga testmetoder. IP Performance förslagen har på vissa punkter i denna sammanfattning kompletterats med information från andra källor.

Samtliga testförslag från Performance projektet (och även t.ex. EUR-ACTIVE ROOFer projektet) har överlämnats till de Europeiska standardiseringsinstituten CEN och CENELEC. Förväntningen är att instituten kommer med ett utarbetat koncept senast våren 2011.

Personsäkerhet

Beroende på tillämpning och placering av integrerade solcellsmoduler ska dessa uppfylla vissa säkerhetskrav vad gäller motstånd mot fysisk belastning och omfattning av avfallande partiklar. De allra flesta solcellsmoduler är glasbaserade och IP Performance's rekommendation bygger därför på en klassificering i enlighet med den för byggnadsglas, med tillägg för elsäkerhetskrav. För rekommendationer av vilken klass som bör användas vid vilka tillämpningar hänvisas (inom Sverige) till glasbranchens Monteringstekniska Kommitté (MTK) som utger riktlinjer i linje med Boverkets Byggregler(9) och branschens erfarenheter.

Modulbrott testas förslagsvis (IP Performance) med ett pendelprov (Figur 9),



Figur 9 - Pendelprovuppställning enligt IP Performance's testförslag

där en vikt på ca. 50kg träffar mitt på en solcellsmodul. Modulen är en av fyra stycken som monteras enligt instruktionen på det tillhörande monteringsystemet.

Träffen görs vid tre olika fallhöjder för pendelvikten och efter varje träff analyseras risken för elchock enligt solcellsstandard IEC 61730-2 samt den fysiska skadan på glaset eller modulen enligt standarden för byggnadsglas SS-EN 12600. Klassificering för byggnadstillämpningar

kan sedan ske enligt EN 12600.

Pendeltestförslaget från IP Performance baseras på en pendeluppställning enligt IEC 61730-2, vilken är lik uppställningen enligt de utgångna standarderna för byggnadsglass (SS 22 44 25 och SS 22 44 26). En logisk ändring till IP Performance's förslag skulle vara att i stället använda testuppställningen enligt (SS-)EN 12600 för att få fullt kvalificerade klassificeringsresultat.

Institutet för byggnadskonstruktion på Tekniska Universitetet i Dresden har utfört många tester på glas/glasmoduler just vad gäller uppfyllande av kraven för laminerat säkerhetsglas(10). Bland de viktigaste kraven (SS-EN 14449, SS-EN ISO 12543) är den så kallade restbelastbarheten, alltså att solcellsmodulerna i kombination med monteringsystemet måste kunna bära en uniform belastning även efter att båda glasskivorna har brutits. Detta ska ske under en viss tid beroende på tillämpning och utan att delar av glaset faller ned. Resultatet av deras mätningar är att de flesta glas/glasmoduler i kombination med en välutformad monteringsprofil uppfyller kraven, även om ett typgodkännande idag inte är möjligt. Vad gäller lamineringsmaterialen rekommenderas polyvinylbutyral (PVB) och polyetylen (PE) framför etenvinylacetat (EVA). EVA finns i många sammanställningar och dess egenskaper är inte kända för alla fall. Det bör dock nämnas att en tillverkare av EVA nyligen har fått en av sina produkter godkänd för användning i laminerat säkerhetsglas.

Brandsäkerhet

Solcellslösningen ska motstå en extern brandkälla på samma sätt som byggprodukten som ersätts. Det betyder att BIPV-produkten ska förhindra brandspridning längs med och genom produkten, samt att inga brinnande droppar eller partiklar får avges från baksidan.

Förslaget från IP Performance är gjort för integrerade taksystem men kan med några relevanta ändringar även tillämpas för fasadsystem. Provet är, precis som vid brottestet, en uppställning med minst fyra exemplar av solcellsprodukten, monterad med tillhörande monteringsystem och underlag. Testet utformas i övrigt helt enligt gällande standarder EN 13501 och ENV 1187. Olika testmetoder används för olika länder eller geografiska regioner och i Norden används testmetoden enligt ENV 1187-2. Vid uppfyllande av kraven vid testen klassas produkten enligt $B_{ROOF}(t_2)$, vilket motsvarar tidigare klass T (för taktäckning).

Uthållighet

Vid användning av solcellsprodukter i bebyggd miljö utsätts de för vindlaster av varierande slag. För att testa om produkten klarar av dessa påfrestningar föreslår IP Performance nedanstående testprocedur. Proceduren bygger vidare på den mekaniska belastningstesten enligt IEC 61215/61646 som kompletteras med delar av standarder från byggbranschen.

På nytt används solcellsprodukten med sin monteringslösning och eventuella relevanta underlag. Produkten utsätts för 500 belastningscykler på $\pm 2\,400$ Pa uniform belastning. Under samtliga cykler övervakas produktens elektriska förbindningar. Som avslutning till testet genomgår provet en klimattest enligt IEC 61215/61646.

Efter testet analyseras solcellsprodukten på brytningar och annan visuell skada eller deformation, eventuell ändring avseende toppeffekt (max. $\pm 5\%$), elektrisk isolering samt utifrån ett kontinuitetstest.

Vid den mekaniska belastningstesten för standardsolcellsmoduler (IEC 61215/61646) kan ett tillägg väljas för test av kombinerad snölast och vindlast. Då simuleras en snölast på 5 400 Pa under den sista av tre belastningscykler. I IP Performance's förslag finns detta tillägg inte med, dock rekommenderas den för tillämpningar i Sverige.

Tester för flexibla solcellsmoduler

Utöver ovanstående tre tester som är mest inriktade på glasbaserade solcellsprodukter föreslår IP Performance även tre specifika tester för mekaniska påfrestningar på flexibla solcellsmoduler. Testerna avser att kontrollera påverkan av deformationer genom ett sträcktest (1 dimensional deformation), ett böjtest (2 dimensional) och ett presstest (3 dimensional).

3.3.2 Regnskydd

När integrerade solcellsprodukter används som klimatskal ställs krav på hur tät integreringslösningen är för regn. I en pre-standard för tak med solenergielement som tagits fram av EU-projektet EUR-ACTIVE ROOFer beskrivs tester för regntäthet av exempelvis solcellstak(11).

Testerna ska utföras vid fyra kombinationer av olika regnmängder och vindhastigheter:

- A. Låg vindhastighet och mycket hög regnmängd
- B. Hög vindhastighet och hög regnmängd
- C. Allvarlig vindhastighet och låg regnmängd
- D. Maximal regnmängd, ingen vind (störtflod)

De precisa vindhastigheterna och regnmängderna i ovanstående kombinationer är olika i olika delar av Europa.

Solcellstaket utsätts för var och en av situationen A, B och C i 5 minuter vid olika tryckfall mellan takets ut- och insida medans genomträngning av vatten inspekteras visuellt och vattenmängden mäts. Situation D körs i en tvåminuters test. Resultaten jämförs med resultaten för en godkänd solcellslösning alternativt den "vanliga" taktäckningslösningen som ersätts, för det tryckfall som orsakar ett vattenläckage på $10 \text{ g/m}^2/5 \text{ min}$.

3.3.3 Kondens och mögel

Samma projekt som tog fram pre-standarderna för taktäthetstesten har även tittat på kondens- och mögelproblematiken(11). Förslagen bygger på befintliga standarder för att simulera risken för kondens och risken för mögelbildning med hjälp av ARPI-metoden alternativt WUFI-metoden.

För de flesta solcellstak påverkas inte kondens- och mögelbildning i någon större utsträckning av solcellsintegrering. Vid användning av solcellsmoduler

som en vattentät yta (liknande glastak eller fönster) finns dock en ökad kondensrisk då solcellstak i motsats till vanliga glastak oftare används ovanför uppvärmda utrymmen. I övrigt kan noteras att större risk för kondensbildning finns för solcellstak med högre lutning.

3.3.4 Snölast

Det tredje resultatet från EUR-ACTIVE ROOFer projektet (11) som är intressant att nämna här är arbetet som gjorts i Norge runt snölastfrågan. Där har en viktig funktionsskillnad mellan solcellsmoduler och vanliga taktäckningsmaterial uppmärksamats. På vanliga tak vill man att snön som faller ligger kvar på taket och därmed inte förblir till en säkerhetsrisk. På solcellstak däremot är målet att taket förblir rent från snö, snön ska helt enkelt inte täcka solcellerna och deras jämna glasyta hjälper till att snön glider ner.

I standardberäkningar för snölast tas ingen hänsyn till friktionen mellan snö och takyta. Det nya förslaget öppnar upp möjligheten att ändra på det och åstadkomma snölastberäkningar som bättre återspeglar verkligheten på solcellstak och därmed kraven på konstruktionen. Förslaget presenterar två testmetoder för mätning av friktionskoefficienten mellan snö/is och takyta. Tabell 1 nedan visar preliminära resultat från friktionsmätningar.

Tabell 1 – Klassificering av takmaterial enligt glidvinkel och snöfriktionskoefficient (mätt och rekommenderat värde) (11)

Slip angle of roofing or roof installation						
θ	Type of roofing or material surface	θ_{meas}	θ_{rec}	μ_{meas}	μ_{rec}	Desirable to keep snow on roof ?
Very small	Glass Roof windows Solar cell panels BIPVs	0.17	$\leq 3^\circ$	0.003	≤ 0.05	no
Very small	Smooth roofing with no need for snow removal	2.3	$\geq 3^\circ$	0.04	≥ 0.05	yes
Small	Steel plates Brick tiles Slates	3.5	$\geq 15^\circ$	0.06	≥ 0.3	yes
Moderate	Rough concrete tiles Granulated bitumenous roofing	31	$\geq 25^\circ$	0.6	≥ 0.5	yes
Large	Turf roof covering	42	$\geq 35^\circ$	0.9	≥ 0.7	yes

NOTE 1: The given values in the table are at this preliminary stage only meant as example values to visualize the application and dynamics of the table, and are therefore subject to changes.

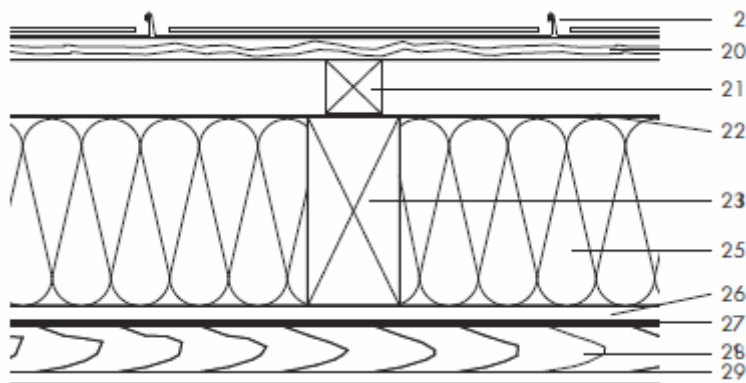
NOTE 2: See also SINTEF Building Research Design Sheet 525.931 Snow guards [1].

Tabellen visar att snö glider bort från solcellsmoduler eller BIPV-tak vid en lutningsvinkel långt under 3° (även om resultaten är preliminära) och därmed även att en anpassning av snölastnormen för glasliknande tak är rimlig.

3.3.5 Ventilation

I avsnitt 2.2.1 (Produktionspåverkande faktorer) diskuterades vilken följd höga solcellstemperaturer får på elproduktionen. Även åldring av modulens material har visat sig ske snabbare vid höjda temperaturer. Att skapa en bra ventilerad miljö för solcellsmodulerna är alltså en viktig del av projekteringen av en byggnadsintegrerad anläggning: det ökar produktionen och förlänger livslängden. En välventilerad lösning minskar dessutom risken för kondensproblem.

I linje med IP Performance (3) kan vi dra slutsatsen att de högsta temperaturerna uppstår där solcellsmodulerna är placerade direkt på ett isoleringslager (t.ex. papptak, falsade plåttak). I dessa fall används oftast tunnfilmmoduler, vilkas verkningsgrad i för sig är mindre temperaturkänslig, men även här finns flera procent att vinna genom att skapa bättre kylande ventilation. Rekommendationen är att alltid använda ventilerade konstruktioner med en luftspalt mellan isolering och undertak, se Figur 10 för exempel.



Figur 10 - Exempelkonstruktion för ventilerat plåttak. En luftspalt skapas mellan isolering och undertak med hjälp av fyrkantsvirke (markerad 21)

4 Best-Practice-lösningar

Hittills i rapporten har det varit fokus på processer och utvecklingar som driver på byggnadsintegrerade tillämpningar samt på de viktiga aspekterna när man ska bygga och designa BIPV. Den bakgrunden behövs för att enklare kunna förstå vad som är bra byggnadsintegrering och för att omsätta förståelsen i praktiken. Det räcker däremot inte, det behövs också inspiration och goda exempel. I detta kapitel lyfts ett antal lyckade och/eller innovativa lösningar för BIPV fram. Sammanställningen är inte tänkt att vara alltomfattande, den kan ses som en skissbok med idéer och koncept. Använd dem rakt av eller som startpunkt för vidareutveckling av dina egna idéer. Kom ihåg bara att det finns fler befintliga produkter i varje produktklass som inte visas här men kanske passar bäst för just ditt projekt.

Vid varje produktklass presenteras snabbfakta om antal kvadratmeter som behövs för en kilowatt topp effekt samt en prisbild per kWp och per kvadratmeter. Observera att priserna är budgetpriser som gäller för slutet 2009 – början 2010 och att de avser endast solcellsprodukten, om inte annat specificeras. Monteringslösning, installationskostnad och kringutrustning, m.m. ingår inte i priset.

4.1 Produktindelning

I nästan alla sammanhang klassificeras solcellsprodukter, till och med integrerade solcellsprodukter, baserat på solcellsmaterialet eller möjligtvis den byggtekniska lösningen. Där det handlar om att skapa attraktiva solcellsanläggningar underlättar inte en sådan indelning, eftersom utseenden på de olika produkterna i en klass kan variera mycket. I denna rapport klassificeras BIPV-produkterna utifrån utseende och tillämpning. Klasserna uppkallas efter de "vanliga" byggprodukter som solcellsprodukten mest liknar och oftast också ersätter eller kombineras med. Detta ska göra det enklare för dem som designar anläggningen att förknippa produkten med ett visst utseende. En arkitekt har oftast en mycket bättre bild av hur en takpanna kan se ut än av hur en kiselsolcell ser ut. Lösningar som bygger på standardsolcellsmoduler kan vara svårare att klassificera på detta sätt och har i något fall fått en egen klass.

Baserat på beskriven princip har produkterna och lösningarna delats in i 3 olika klasser, som i sin tur är uppdelade i ett antal subklasser.

1. Integrerade taklösningar
 - a. Takpannetak
 - b. Shingeltak
 - c. Plåttak
 - d. Papp- eller duktak
 - e. Glastak eller takfönster

- f. Modultak (standard solcellsmoduler på ca 1m², olika färgval)
- 2. Integrerade fasadlösningar
 - a. Plåtfasader
 - b. Glasfasader och fönsterpartier
 - c. Modulfasader (jfr blindglas- eller polerade stenfasader)
 - d. Balkongräcken
- 3. Integrerade solskyddslösningar
 - a. Lameller
 - b. Markiser
 - c. Övriga solskyddslösningar

Ovanstående indelning följs i de kommande avsnitten, där lösningarna beskrivs och exemplifieras.

4.2 Integrerade taklösningar

4.2.1 Takpannetak

Byggprodukten

Vanliga takpannor finns i många olika sorter, färger och storlekar, men det som alla har gemensamt är att de är relativt små och kupade och därmed skapar ett visst mönster på takytan. Takpannor läggs på läkten och hålls ned av sin egen samt angränsande pannornas vikt. Själva takpannorna är inte 100 % vattentäta, därför monteras alltid en underlagstäckning som leder bort vattnet som kommer in mellan pannorna.

Solcellsprodukten

Solcellspannor är antingen vanliga takpannor med några solceller på eller en liten solcellspanel som ersätter ett antal takpannor. Solcellspannan monteras på samma sätt som takpannor med tillägget att de fästs i läkten.

Snabbfakta solcellstakpannor

*Area: 8-18 m²/kWp
Prisklass: ca. 4-6 €/Wp
250- 750 €/m²*

Utseende

Solcellspannan passar tätt mellan vanliga takpannor eller används på hela takytan. Solcellerna är i regel kiselceller i blå eller mörkblå färg. Bakgrundsfärgen brukar vara vit eller svart. Där solcellerna bara utgör en del av pannan kan själva pannan vara exempelvis orangefärgad. I övriga fall uppstår en färgbrytning mellan solcellspanna och vanlig takpanna, som dock är minimal vid användning av gråa eller svarta takpannor.

I flera länder har solcellspannor godkänts som ersättning för tegelpannor på minnesmärkta hus.

Tekniska noteringar

Då måtten på vanliga takpannor skiljer sig åt mellan tillverkare och tegeltyp är det viktigt att kontrollera att solcellspannan är kompatibel med takpannorna och läktavståndet.

Undertaket till solcellspannorna ska i allmänhet vara uppbyggt med strö- och bärläkt. Även där detta inte finns som krav rekommenderas användning av ströläkt, då den underlättar för enkel och säker kanalisation och förbättrar ventilationen för solcellernas baksida. Både kanalisation och ventilation är för övrigt viktigt att uppmärksamma för denna integreringslösning.

Solcellspannor är relativt små och det behövs därför flera pannor per kvadratmeter och per kWp. Detta medför ofta större kabelåtgång och mer elektriskt arbete för inkoppling och kanalisation.

Modulerna och monteringsystemet utsätts för snölast och ska vara dimensionerade för att klara denna.

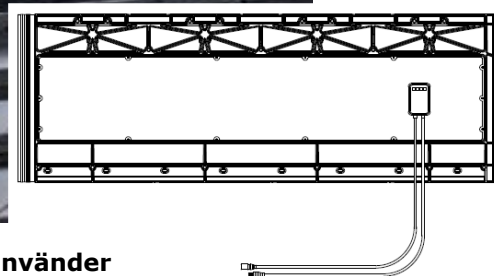
Övrigt

Takpannetak kan även kombineras med integrerade standardmoduler (se 4.2.6) där bevarandet av tegeltakets karaktär är av mindre vikt.

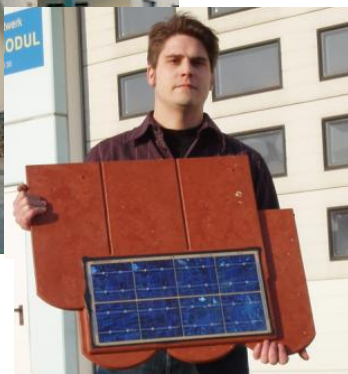
Exempelprodukter



**Figur 11 - Imerys solcellspanna
ersätter 5-7 vanliga takpannor © Imery**



Figur 12 - SolarCenturies C21e tile använder Sunpower back-contact celler för ett uniformt svart utseende © Solarcentury.com



Figur 13 - SED:s solcellspanna kombinerar en blå solcellsyta med den klassiska orange färgen på återvunnen PVC-fri plast © SED

4.2.2 Shingeltak och skiffertak

Byggprodukten

Shingeltak liknar egentligen papptak, med den skillnaden att det översta lagret med papp består av lösa remsor med inskärningar, som spikas fast och placeras överlappande. Resultatet liknar till utseendet ett skiffertak, dock är shingel mer lätthanterlig än de många skifferstenarna som dessutom kan gå sönder.

Solcellsprodukten

En solcellsskiffer liknar vanliga shinglar eller skiffer i utseende, fast med större yta. Monteringen sker dock på läkten, på liknande sätt som solcellspannor. Skillnaden mot solcellspannan är att solcellsskiffer bygger mindre i höjden och håller upp varandra med en liten krok.

Snabbfakta solcellsskiffer

*Area: ca. 9 m²/kWp
Prisklass: ca. 6 €/Wp
el. 650 €/m²*

Utseende

Solcellsskiffer liknar mest fyrkantiga skiffer, i vissa fall nästan kvadratiska, i andra fall mer breda än höga. Precis som vid solcellspannor är färgen mörkblå/svart, vilket stämmer bra överens med vanliga skiffer- eller shingeltak.

Även solcellsskiffer har i olika länder tillåtits på minnesmärkta hus.

Tekniska noteringar

Om solcellsskiffer ska kombineras med vanlig skiffer eller shingel ska man kontrollera om utseende och speciellt skifferlängd stämmer överens. Solcellsskiffer monteras på läkten som är fäst i det befintliga undertaket.

Både kanalisation och ventilation är viktiga punkter att tänka på för denna integreringslösning.

Solcellsskiffrar är relativt små och det behövs därför flera skiffrar per kvadratmeter och per kWp. Detta medför ofta större kabelåtgång och mer elektriskt arbete för inkoppling och kanalisation.

Modulerna och monteringsystemet utsätts för snölast och ska vara dimensionerade för att klara denna.

Exempelprodukter



Figur 14 - Atlantis Energy Systems SunSlate består av en eternitskiva med solceller på © Atlantis Energy Systems



Figur 15 - SolarCenturies C21e solcellsskiffer baseras på högeffektiva solceller © Solarcentury.com

4.2.3 Falsade plåttak

Byggprodukten

Falsade plåttak används på många byggnader i Sverige och finns i många varianter, allt från koppartak på historiska kyrkor till aluminiumtak på high-tech kontorslokaler. Metallplåten fästs i undertaket vid falsarna.

Solcellsprodukten

Falsad plåt med integrerade solcellsmoduler består av vanliga takplåtar i t.ex. aluminium eller titanium-zink, där en flexibel solcellsmodul har klistrats på ovansidan och en junction box med anslutningskablar på baksida. Den flexibla solcellsmodulen som används av flera leverantörer är UniSolars triple-junction tunnfilmsmodul baserat på amorf kisel.

Snabbfakta solcellsplåttak

Area: 20-26 m²/kWp
Prisklass: ca. 7 €/Wp
 el. 300 €/m²

Montering sker på samma sätt som för vanliga plåttak.

Utseende

Solcellsplåttaket har precis samma utformning som plåttak utan solceller, dock med en blå/mörklila färg på solcellsytan. Modulerna brukar ha en fast längd som av praktiska skäl (olika överlapp vid montering) är kortare än plåten. Det beror därför på takets längd och utformning hur stor del av taket som är täckt med solceller.

Solcellsplåten kan precis som den vanliga plåten användas för lätt böjda tak, eftersom solcellsmodulen är flexibel.

Tekniska noteringar

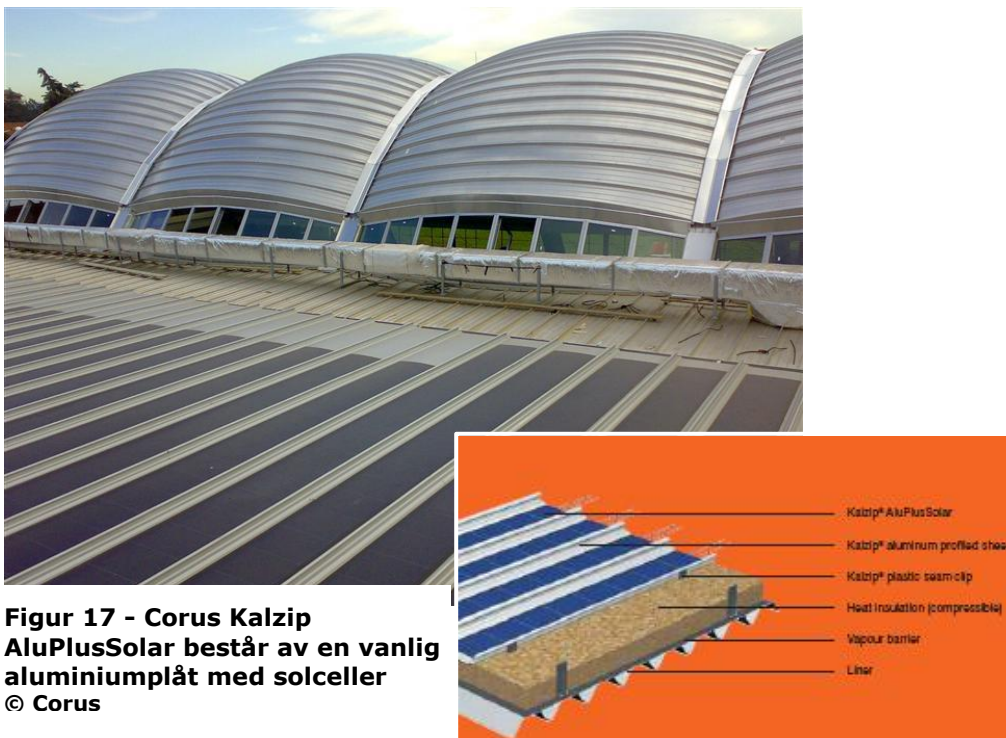
Precis som vid de två tidigare solcellsproduktklasser är tätheten av taket inget problem, då samma teknik används som för vanliga tak. Kanalisationen behöver viss uppmärksamhet, precis som ventilation på baksidan av solcellsplåten. Solcellsintegrerade plåttak har visat sig uppnå mycket höga temperaturer, speciellt om undertaken inte är ventilerade. För att optimera produktionen och begränsa åldring av materialen rekommenderas att alltid använda ventilerade undertak.

Tunnfilmsmodulerna som används har en lägre verkningsgrad än kisel-solcellerna i t.ex. solcellstakpannor. Toppeffekten per plåt kan vara av samma storleksordning som effekten på en takpanna. På grund av den mycket större ytan på plåten blir anslutningsarbeten (och anläggningens toppeffekt) för en viss takyta dock mycket mindre.

Övrigt

Vissa solcellsplåtar kan även användas till falsade plåtfasader (se 4.3.1).

Exempelprodukter



4.2.4 Papp- eller duktak

Byggprodukten

Många industrilokaler, butiker, idrottshallar m.m. har takpapp eller takduk som taktäckningsmaterial. Takpapp är baserad på bitumen och har i de flesta fall en svart yta. Takduk baseras på gummi eller plast såsom TPO, EPDM eller PVC, och brukar ha ljusgrå eller vit färg.

Solcellsprodukten

Ett antal integrerade produkter finns för takduk på plast- eller gummibas, där duken levereras med en flexibel tunnfilmsmodul påklistrad. Anslutningskablar kan finnas på ovan- eller undersidan av produkten.

Snabbfakta solcellsduk/-papp

*Area: 23-33 m²/kWp
Prisklass: ca. 2-3 €/Wp
el. 100 €/m²*

Bituminösa takpapp levereras idag inte som integrerade lösningar från fabriken, dock finns leverantörer som säljer paket med speciell takpapp med vitt ovanlager (akryl) och flexibla tunnfilmsmoduler som klistras på pappen på plats.

Själva solcellerna är av samma eller liknande typ som de på plåttaken, dubbel- eller triple-junction a-Si.

Utseende

Ett solcellsintegrerat duk- eller papptak ser ut som vanliga ljusa duktak med en blå/mörklila färg på solcellsytan. Solcellsmodulerna är något mindre än pappen eller duken så att en vit/blårandig takyta uppstår.

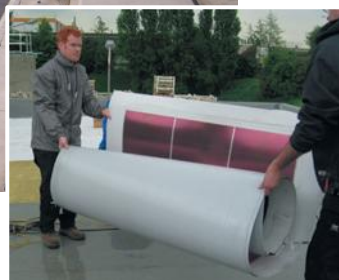
Solcellsprodukterna kan precis som vanlig takpapp och -duk även användas för lätt böjda tak, eftersom solcellsmodulen är flexibel.

Tekniska noteringar

Montering och tätskikt görs på samma sätt som för vanliga tak av samma typ.

Denna produktlösning kräver extra uppmärksamhet vad gäller ventilation på bak/undersidan av modulen. Ventilerade undertak bör användas. Även kanaliseringen kan behöva uppmärksamhet vid de produkter som har anslutningen på undersidan (taksidan).

Exempelprodukter



Figur 18 - Flexcells solcellsduk har anslutningen på ovansidan av produkten © Flexcell



Figur 19 - Alwitrans produkt, Evalon Solar, använder UniSolars tunnfilmsmodul © Alwitra



Figur 20 - Derbigum levererar vit takpapp samt flexibla moduler att klistra på
© Derbigum

4.2.5 Glastak eller takfönster

Byggprodukten

Ett glastak är vanligtvis uppbyggt av en stomme med aluminium- eller stålprofiler på som håller glaset på plats. Beroende på takets placering och vilken funktion utrymmet under taket har, byggs det med härdat och/eller laminerat glas, enkelglas eller kanske isolerrutor, och i vissa fall säkerhetsglas. Infästning av glaset och utformning av profilerna anpassas efter krav på säkerhet, isolering och tjocklek på fönstren.

Takfönster ses i sammanhanget som ett specialfall av glastak.

Solcellsprodukten

För att uppnå semiträparenta solcellstak används så kallade glas/glasmoduler, där solceller lamineras mellan två glasskivor (härdat glas). Som lamineringsskikt används oftast PVB vilket är samma produkt som används för laminerat säkerhetsglas, eller EVA som är vanligt i många typer av (standard) solcellsmoduler.

Celltekniken som idag är vanligast i glas/glasmoduler är kristallina kiselceller, men moduler med amorf kisel- och CIS-tekniken finns också representerade på marknaden.

Vid behov kan de semiträparenta modulerna även integreras i isoleringsfönster.

Snabbfakta glas/glasmoduler

<i>Area:</i>	<i>10-15 m²/kWp</i>
<i>Prisklass:</i>	<i>ca. 4-8 €/Wp 300-700 €/m²</i>

Eftersom själva solcellerna är ogenomskinliga har dessa moduler även en solskyddande effekt.

Utseende

Solcellerna kan i princip vara alla möjliga tekniker, med olika estetiska resultat. Kiselceller ger (nära) kvadratiska ogenomskinliga areor med genomskinligt glas runtom och emellan cellerna. Cellerna i sig kan placeras i valfritt mönster. Tunnfilmstekniken (a-Si, CIS, m.fl.) kan vara lite mer flexibel och skapa moduler med olika mindre mönster, till exempel ytor med små perforeringar, randiga moduler eller till och med ett företagslogga i modulen.

Glas/glasmoduler är mycket lämpade för att uppnå olika färgnyanser genom att PVB-lagren kan levereras i (genomskinlig) färg. Själva de kristallina kiselcellerna kan också färgas på framsidan men detta rekommenderas inte i vanliga fall, då det minskar verkningsgraden för elgenereringen.

Med hjälp av screentryck kan man ytterligare komplettera utseendet. Exempelvis kan ett mönster eller figur tryckas på baksidan av solcellsarean som syns av åskådare under taket. Screentryck kan dessutom användas för dummiemoduler som placeras där aktiva solcellsmoduler inte är lämpliga på grund av skuggning eller små restytor.

Tekniska noteringar

Tak och fönster med semitransparenta glas/glasmoduler har samma byggegenskaper som glastak eller -fönster. En välbyggd lösning ska fungera utan problem, men det är viktigt att designa anläggningen så att kondensbildning undviks i största möjliga mån. Detta är mer en designfråga för ramverket och isoleringen där än för själva solcellsmodulerna.

Monteringsprofilerna kan med fördel även användas för kanalisation.

Vad gäller krav eller rekommendation på glasklasser hänvisas till MTK:s publikationer. I allmänhet rekommenderas laminerat glas till glastak placerade högre än 2,5 m över golvhöjd. Solcellsmoduler är standard laminerade och uppfyller den rekommendation. I vissa specialfall, där risk för fall genom glaset finns, rekommenderas laminerat säkerhetsglas.

Modulerna och monteringsystemet utsätts för snölast och ska vara dimensionerade för att klara denna.

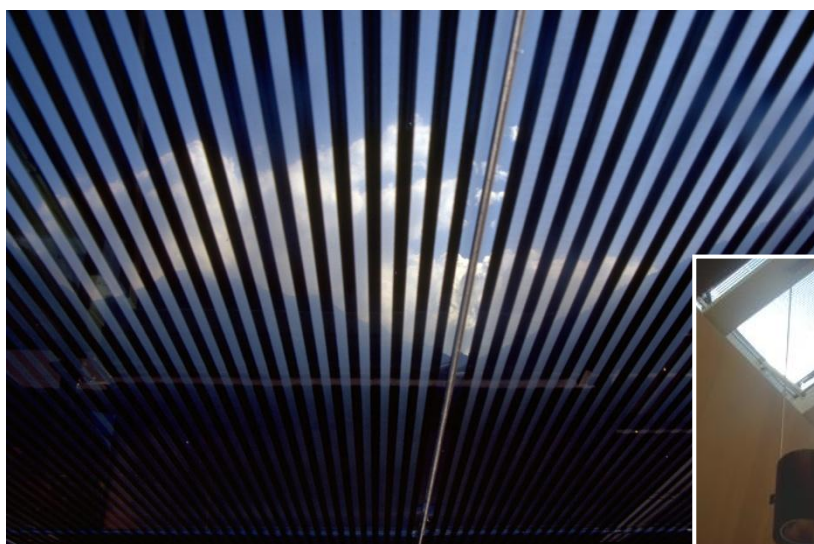
Övrigt

Samma eller liknande solcellsprodukter som används till glastak kan även användas till glasfasader.

Exempelprodukter



Figur 22 - På Akademie Mont-Cenis används kiselmoduler med olika täckningsgrad för att åstadkomma olika klimatzoner i byggnaden
©M van Noord (ovan) / Scheuten Solar (t.h.)



Figur 21 - Würth Solars CIS-baserade modul kan tillverkas i med omväxlande glas- och solcellsränder © Würth Solar



4.2.6 Modultak (standard solcellsmoduler på ca 1m², olika färgval)

Solcellsprodukten

Tak med integrerade standardmoduler är svårare att jämföra med befintliga taktyper. I utseende liknar de snarast glastak med blindglas. Från byggteknisk synpunkt liknar de antingen takpannetak (med ett tätskikt under moduler) eller glastak.

Monteringssystemet är basen för denna typ av takintegrering. Sedan kan i princip vilken standardmodul som helst användas, oavsett solcellsteknik.

*Snabbfakta modultak
(solcellsmoduler +
monteringssystem)*

*Area: 7-10 m²/kWp
Prisklass: ca. 3-5 €/Wp
350-600 €/m²*

De flesta lösningar för integrerade modultak kan integreras i (befintliga) takpannetak, så att solcellsytan hamnar på samma höjd som takpannorna.

En totallösning har lanserats på marknaden 2009 där all kanalisation och eventuellt också växelriktaren är förberedd i monteringsystemet. Det enda som återstår är att sätta på solcellsmodulerna och låsa fast dem. I stället för solcellsmoduler kan även solfångare eller takfönster monteras i samma totallösning.

Utseende

Som sagt kan utseendet av modultak bäst jämföras med blindglastak, men med olika färgsättningar beroende på de använda solcellsmodulerna. Vanligast är att använda ett svart monteringsystem i kombination med mörka moduler såsom monokristallin kisel med svart bakgrund, eller tunnfilmslaminat. Självklart finns inga tekniska hinder för andra färgkombinationer.

Tekniska noteringar

Solcellsmoduler med eller utan ram används beroende på monteringslösning. Monteringsystem med extra tätskikt under solcellsmodulerna använder oftast inramade moduler (ibland med specialram), medan systemen där modulerna utgör tätskiktet använder sig av laminat (utan ram) i glasningsprofiler.

Viktigt även vid modultak är att uppnå bra ventilation för att begränsa modultemperaturen. Rätt tätskikt ska väljas under de system som behöver det för att uppnå tillräcklig andning för taket och undvika fuktproblem.

Modulerna och monteringsystemet utsätts för snölast och ska vara dimensionerade för att klara denna.

Exempelprodukter



Figur 23 – Solrif-systemet (Ernst Schweizer) var bland de första takpaneliknande integreringslösningar. Specialram används på valfria moduler (se detalj) © Ernst Schweizer AG



Figur 24 - Renusols Intersole system integrerad i ett tegeltak © Renusol





Figur 25 - Systaic Energy Roof är en totallösning med ett enkelt system för både modulmontering och anslutning © Systaic AG

4.3 Integrerade fasadlösningar

4.3.1 Plåtfasader

Byggprodukten

Det finns ett antal tillämpningar med falsade plåtfasader, i många fall används dessa som en fortsättning på ett falsat plåttak för att skapa en enhetlig yta på fasad och tak. Produkten är samma som för plåttak fast kraven på underlaget vad gäller täthet brukar vara lägre då lutningen på fasader är så stor.

Solcellsprodukten

Falsad plåt med integrerade solcellsmoduler består av vanliga aluminium eller titanium-zink plåtar, där en flexibel solcellsmodul har klistrats på ovansidan och en kopplingsdosa med anslutningskablar på baksida.

Montering sker på samma sätt som för vanliga plåtfasader med lite extraarbete för elektrisk koppling.

Snabbfakta solcellsplåtfasader

<i>Area:</i>	<i>20-26 m²/kWp</i>
<i>Prisklass:</i>	<i>ca. 7 €/Wp el. 300 €/m²</i>

Utseende

Solcellsplåtfasader har en blå/mörklila färg på solcellsytan men i övrigt samma utformning som plåtfasader utan solceller. Modulerna brukar ha en fast längd som av praktiska skäl (olika överlapp vid montering) är kortare än plåten. Det beror därför på fasadhöjden och utformning hur stor del som är täckt med solceller.

Solcellsplåten kan precis som den vanliga plåten användas för lätt böjda fasader, eftersom solcellsmodulen är flexibel.

Tekniska noteringar

Både kanalisation och ventilation är viktiga faktorer vid design av solcellsintegrerade plåtfasader. Jämfört med tak baserade på samma material är det dock lättare att jobba med fasader eftersom täthetskraven är mycket lättare och ventilationsmöjligheterna större.

Övrigt

Solcellsplåten till fasader kan även användas till falsade plåttak (se 4.2.3).

Exempelprodukter



Figur 26 - ThyssenKrupps Solartec består av galvaniserad och plastcoatad stål med integrerad tunnfilmmodul © Thyssen-Krupp

4.3.2 Glasfasader och fönsterpartier

Byggprodukten

Byggnaders glasytor blir större och större och det är mest i fasaderna som glasanvändningen växer. Glaset monteras i metall- eller kompositprofiler eller i träram och bra isoleringsvärden kan uppnås.

Fönster ses i sammanhanget som ett specialfall av glasfasader.

Solcellsprodukten

Glas/glasmoduler används med solceller laminerade mellan två glasskivor

Celltekniken som idag är vanligast i glas/glasmoduler är kristallina kiselceller, men moduler med amorf kisel- och CIS-tekniken finns också representerade på marknaden.

Vid behov kan de semitransparenta modulerna även integreras i isoleringsfönster.

Eftersom solcellerna är ogenomskinliga har dessa moduler även en solskyddande effekt.

Utseende

Solcellerna kan i princip vara alla möjliga tekniker, med olika estetiska resultat. Kiselceller ger (nära) kvadratiska ogenomskinliga areor med genomskinligt glas runtom och emellan cellerna. Cellerna i sig kan placeras i valfritt mönster. Tunnfilmstekniken (a-Si, CIS, m.fl.) kan vara lite mer flexibel och skapa moduler med olika mindre mönster, till exempel ytor med små perforeringar, randiga moduler eller till och med en företagslogga i modulen.

Modulerna kan orsaka intressanta skuggningsmönster på närliggande golv- eller väggytor.

Glas/glasmoduler är mycket lämpade för att uppnå olika färgnyanser genom användning av ett färgat PVB-lager. Själva de kristallina kiselcellerna kan också färgas på framsidan men detta rekommenderas inte i vanliga fall, då det minskar verkningsgraden för elgenereringen.

Med hjälp av screentryck kan man ytterligare komplettera utseendet. Exempelvis kan ett mönster eller figur tryckas på baksidan av solcellsarean som syns av åskådare under taket. Screentryck kan dessutom användas för dummiemoduler som placeras där aktiva solcellsmoduler inte är lämpliga på grund av skuggning eller små restytor.

Tekniska noteringar

Fasader och fönster med semitransparenta glas/glasmoduler har samma byggegenskaper som vanliga glasfasader eller -fönster.

Monteringsprofilerna kan med fördel även användas för kanalisation.

När glas används i fasader nära mark- eller golvnivå så ska säkerhetsglas användas. Även där risk för personskada finns för förbipasserande av fallande glasbitar vid modulbrott kan laminerat glas rekommenderas. För detaljer på

Snabbfakta glas/glasmoduler

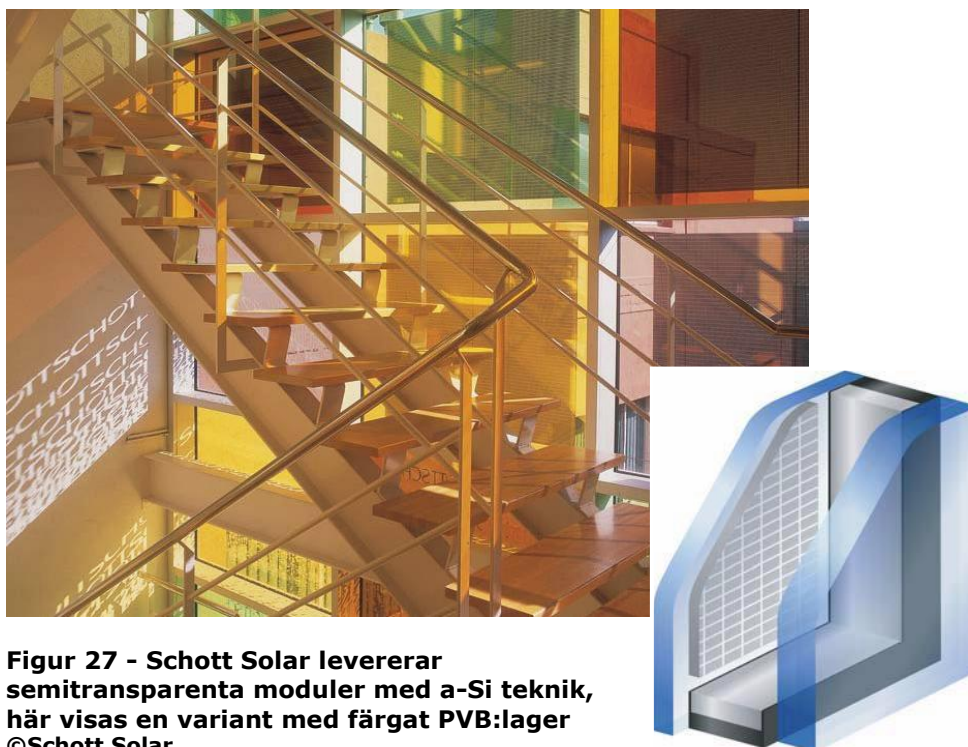
*Area: 10-15 m²/kWp
Prisklass: ca. 4-8 €/Wp
300-700 €/m²*

typ och klass på säkerhetsglas hänvisas till Byggreglerna och MTK. Utformningen av monteringslösningen ska också vara anpassad till säkerhets- och hållfasthetskraven för aktuellt tillämpningsområde.

Övrigt

Samma eller liknande solcellsprodukter som används till glasfasader kan även användas till glastak (se 4.2.5).

Exempelprodukter



Figur 27 - Schott Solar levererar semiträparenta moduler med a-Si teknik, här visas en variant med färgat PVB-lager
©Schott Solar



Figur 28 - Stora solcellsytor i kombination med vanliga fönster © Schüco International KG

4.3.3 Modulfasader (jfr blindglas- eller polerade stenfasader)

Byggprodukten

En fasad kan fungera som ett visitkort för en byggnad eller den som använder byggnaden. Byggnader kan ges ett exklusivt utseende genom att använda exklusiva material som exempelvis polerad sten.

Solcellsprodukten

Solcellsmoduler kan användas som ytterfasad i stället för marmor eller liknande material. Här kan standardsolcellsmoduler användas, möjligtvis med en anpassad bakgrundsfärg. Fokus ligger alltså inte så mycket på solcellsmodulen men mer på monteringslösningen som skapar en estetisk solcellsfasad utan missplacerade monteringsdon eller kablar.

*Snabbfakta modulfasader
(solcellsmoduler +
monteringssystem)*

*Area: 7-10 m²/kWp
Prisklass: ca. 3-6 €/Wp
350-700 €/m²*

Utseende

Hur en modulfasad ser ut beror mest på vilken solcellsmodul som väljs. För enhetligt färgade ytor är tunnfilmsmoduler lämpliga, som har en gråsvart färg, men även monokristallina kiselmoduler med svart bakgrundsfilm uppnår uniform färg. Är avsikten just att få en mer färgrik fasad kan man till exempel använda polykristallina kiselceller med vit eller färgad bakgrund.

Kundanpassade moduler ger ännu fler möjligheter. Kan man kompromissa lite med elproduktion så kan cellerna färgas mot en grönare eller gyllene nyans. Större avstånd mellan cellerna eller areor utan celler längs med modulens rand kan förstärka spänningen mellan de olika färgerna.

Monteringslösningar finns också i olika typer, som antingen bryter modulytan eller som nästan inte syns alls.

Tekniska noteringar

En aspekt som har kommit fram i många tillämpningar av integrerade solcellsanläggningar är bristen på välfungerande ventilation. Modulfasader som fungerar som ytterfasad har fördelen att det är relativt enkelt att skapa en ventileringsspalts bakom modulerna, så länge den hålls någorlunda vattentät.

Samma rekommendationer som för byggglas och glas/glasmoduler (se avsnitt ovan) bör följas vad gäller personsäkerhet.

Exempelprodukter



Figur 29 - Solcellsmodulerna på denna butiksfasad ger den ett exklusivt utseende
© Saint-Gobain Glass



Figur 30 - Altec Solartechnik har utvecklat ett profilsystem optimerat för smidig montering. Det kan användas med standardmoduler, men även med marmor eller till glasfasader. ©Altec Solartechnik



Figur 31 - GSS specialmoduler med grönfärgade kiselceller och breda vita ränder på Paul Horn Arenan ©Sunways AG

4.3.4 Balkongräcken

Byggprodukten

Ett balkongräcke har i första hand en säkerhetsfunktion som fallhinder men den estetiska funktionen ska inte glömmas bort. Många arkitektoniska varianter finns i lika många olika materialval.

Räcken i glas ska i princip vara byggda med laminerat säkerhetsglas.

Solcellsprodukten

Balkonger är med fördel placerade på husens solsida och lämpar sig därför för solcellsintegration. Monteringssystem för vanliga glasräcken kan användas om kanaliseringen löses på ett säkert och prydligt sätt.

Snabbfakta solcellsräcken

*Area: 10-15 m²/kWp
Prisklass: ca. 4-8 €/Wp
el. 4-6 k€/m²*

Utseende

Även för balkongräcken är det modulvalet som avgör utseendet. Olika teknik- och färgval har diskuterats bland annat i avsnittet om modulfasader ovan.

Tekniska noteringar

Standardmoduler som (oftast) inte uppfyller kraven för laminerat säkerhetsglas, bör endast användas om det finns annat skydd mot skärskador och fall. Om glas/glasmoduler används som kan betraktas som säkerhetsglas behövs inget ytterligare skydd så länge infästningslösningen är tillräckligt hållfast.

Kanalisation ska vara säker och genomföring i byggnadsskalen vältätad mot fukt.

Balkongräckessystemen utsätts för större vindlaster än de flesta byggnadsintegrerade system och ska vara rätt dimensionerade för detta.

En positiv följd av öppenheten för vind är att modulerna är välventilerade.

Exempelprodukter



Figur 32 - Balkongräcken med glas/glasmoduler
© Hotel Aguas de Ibiza (Courtesy of Vidursolar)

4.4 Integrerade solskyddslösningar

4.4.1 Lameller

Byggprodukten

Att använda lameller som solskydd har fördelen att man kan blockera direkt solinstrålning medan diffust dagsljus som reflekteras från omgivningen ändå tränger in i byggnaden. Samtidigt har den som befinner sig inne i huset, bakom lamellerna, möjlighet att titta ut mellan lamellerna.

När lamellerna i solskyddet är rörliga och kan vändas mot solen optimeras mixen av skydd mot direkt solljus och genomsläpp av diffust ljus.

Solcellsprodukten

Solcellsmoduler fungerar i princip bättre med direkt solljus än med diffust ljus, eftersom en större del av det diffusa ljuset reflekteras av glaset på framsidan av modulen. Att integrera solceller i solskydd, som just har som funktion att fånga upp det direkta solljuset är alltså mycket funktionellt.

Snabbfakta solcellslameller

<i>Area:</i>	<i>7-15 m²/kWp</i>
<i>Prisklass:</i>	<i>4-10 €/Wp</i> <i>0,5-15 k€/m²</i>

Den solskyddande funktionen av lameller påverkas i princip inte av solcellsintegreringen. I många fall används dock semitransparenta solcellsmoduler vilket gör att en del av det direkta solljuset tränger genom lamellen.

Vändbara lameller kan förutom att optimera solskyddsfunktionen också optimera anläggningens elgenerering.

Solceller kan appliceras på lamellernas ovansida, eller så kan avlånga solcellsmoduler ersätta själva lamellerna. För att hålla kablarna och junction boxen på modulen ur sikt kan det behövas lite kreativitet.

Utseende

Det specifika utseendet för lamellsolskydd förändras naturligtvis inte genom att integrera solceller. I detaljerna kan en integrering dock medföra förändringar, tänk på mönstret som solcellerna formar eller genomskinligheten vid glas/glasmoduler. För att skydda och gömma elektriska delar av solcellssystemet används i vissa fall en baksida bakom solcellsmodulerna, i de fall dessa inte är semitransparenta.

Riktlinje nummer 6 för bra BIPV-arkitektur (3.2.2), om en välprojekterad integrering känns extra viktigt vid solskyddslösningen. Detaljerna ska vara estetiskt utformade och materialet minimaliserat.

Tekniska noteringar

Solskyddslameller utsätts för såväl vindlaster som snölaster och solcellsmodulerna på konstruktionen ska vara tålig för dessa påfrestningar. Dessutom är det viktigt att bedöma om trasiga modulbitar kan utgöra risk för personsäkerhet.

Kanaliseringen ska vara genomtänkt, i synnerhet för vändbara lameller, där risk för fysiska påfrestningar eller klämrisk ska elimineras.

Lameller kan skapa "intern skuggning", där en lamell skuggar närliggande lameller. Intern skuggning på solcellerna ska under vissa tider på dagen undvikas helt och därför är många lamellösningar inte täckta med solceller över hela ytan.

Exempellösningar



Figur 33 – Genom att placera de semitransparenta solcellslamellerna på diagonalen minimerar "Shadovoltaic" intern skuggning © Colt International Licensing Limited 2010



Figur 34 - Spanska arkitekterna Estudio Lamela designade denna lamellösning med Schücos kundanpassade moduler © Estudio Lamela

4.4.2 Markiser

Byggprodukten

En annan vanlig solskyddsvariant är markisen, som i vanliga fall ofta utförs med ett tyg som solskyddande material. Vinkeln eller längden på tygmarkiser kan oftast varieras för att anpassas efter rådande solförhållanden. Den flexibiliteten är en viktig fördel för vanliga markiser, de kan fällas eller rullas upp helt när man vill få in så mycket ljus som möjligt och täcka större delar av fönstren när solen står lågt och bländar folk inne i huset.

Solcellsprodukten

Att integrera solceller i markiser kan i många fall leda till en försämring av den solskyddande funktionen. Detta beror på att solcellerna i allmänhet är glasbaserade och därmed tunga och oflexibla, i motsats till tyget i vanliga markiser. Solcellsmarkiser utförs därför oftast som fasta markiser eller som nedfällbara med vridpunkten vid fönstrens ovansida. Beroende på den lokala solinstrålningsproblematiken kan dessa solcellslösningar vara helt tillfredställande. I vissa fall används persienner eller annat internt solskydd som komplement under timmarna då solen står som lägst.

Snabbfakta solcellsmarkiser

*Area: 7-15 m²/kWp
Prisklass: 3-10 €/Wp
0,4-1,5 k€/m²*

Tunnfilmstillverkaren Flexcell säger sig ha utvecklat det första markissystemet med flexibla solcellsmoduler, baserade på ett membran av etylenetrafluoroetylen (ETFE). Systemet har inte tillämpats än.

Utseende

Solcellsmarkiser liknar fasta markiser i utseende. Markiserna kan utformas som separata markiser för varje fönster eller som en obruten rad ovanför fönstren över fasadlängden.

Enhetlighet uppnås enklast med mörkgrå eller svart färg, där solcellerna inte sticker ut från resten av systemet. I vissa fall leder den mörka färgen dock till ett för mörkt inomhusklimat. Ska utseendet vara mer varierat kan kiselmoduler med vit eller annan bakgrund användas, eller semitransparenta glas/glasmoduler med valfri täckningsgrad.

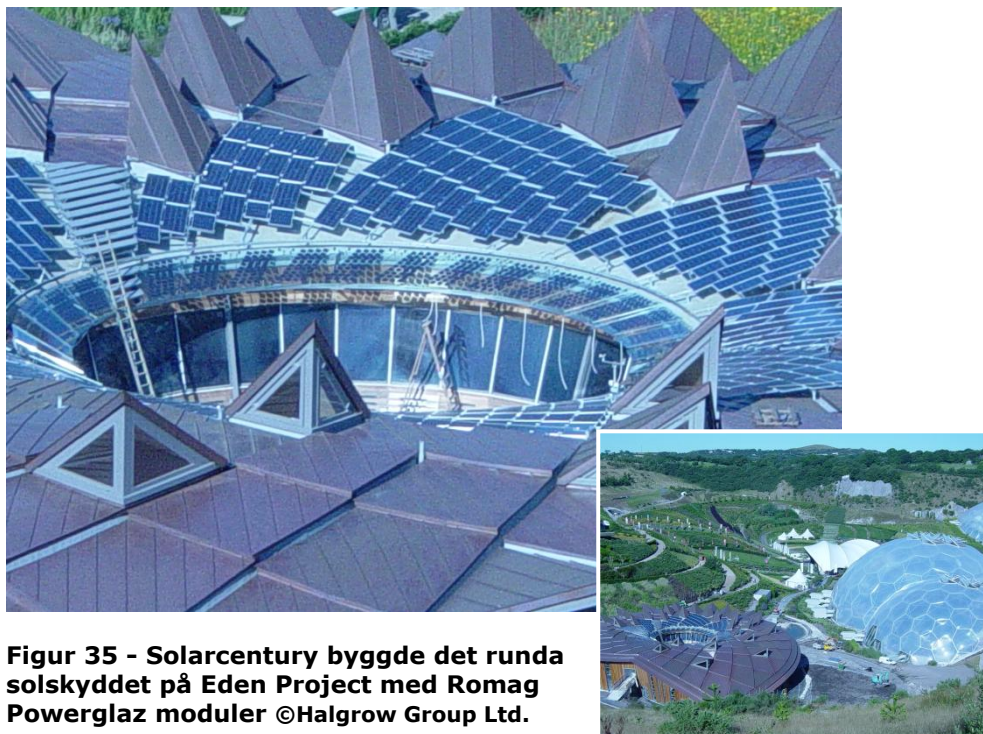
Tekniska noteringar

Helt fasta markiser är tekniskt sett den enklaste formen av solcellsintegrerat solskydd. Väljs en vridbar variant så ska kanaliseringen utformas så att kablarna inte kan klämmas mellan de rörliga delarna och inte utsätts för fysiska påfrestningar.

I samtliga fall ska kabelgenomföringar i klimatskalet utföras på ett säkert och vädertätt sätt.

Alla solskyddssystem ska vara dimensionerade för vind- och snölaster i enlighet med gällande standarder.

Exempellösningar



Figur 35 - Solarcentury byggde det runda solskyddet på Eden Project med Romag Powerglaz moduler ©Halgrow Group Ltd.

4.4.3 Övriga solskyddslösningar

Här visas en intressant solskyddslösning som är svårare att klassificera.



Figur 36 - Colt Group utvecklade en stor roterande glas/solcellsvägg som följer solen © Colt International Licensing Limited 2010

5 Slutsatser

Eftersom utvecklingen för byggnadsintegrerade solcellstillämpningar sker ständigt och på många plan är det svårt att enkelt sammanfatta statusen som tekniken har idag. Det går dock bra att dra ett antal slutsatser om BIPV:s potential, dess teknikutveckling, och dess tillämpningar.

Eftersom integrerade solcellsprodukter helt eller delvis ersätter andra byggprodukter används mindre material och/eller installationstid än för byggnadsapplicerade solcellsanläggningar. Vid design och framtagning av BIPV-produkterna har dessutom betydligt mer hänsyn tagits till estetiska aspekter än vid vanliga solcellsmoduler. På grund av ovanstående skillnader har byggnadsintegrerade solcellsanläggningar en fördel jämfört med byggnadsapplicerade anläggningar. Fördelen kan även finnas jämfört med lyxbetonade byggnadsprodukter som kostar mycket men inte generar inkomster, såsom polerade stenfasader.

Kraven som ställs på BIPV är kostnadsmässiga (investeringskostnaderna bör vara jämförbara med solcellssystem plus byggnadsskal eller exklusiva byggprodukter) och byggnadstekniska (vädertäthet, uthållighet, m.m.). Uppfylls dessa krav så kommer främst EU-direktiv om förnybar energi och byggnaders energiprestanda driva på tillväxten för BIPV. Om solcellsindustrin dessutom lyckas anpassa sin kommunikation och produktplacering bättre till arkitekter och byggnadsindustrin så kommer BIPV-marknaden att växa ytterligare.

Flera initiativ har påbörjats i Europa de senaste åren där solcellsindustrin samarbetar med arkitekter och byggindustrin i gemensamma forskningsinsatser. Dessa insatser kombinerat med konkreta BIPV-projekt har exempelvis lett till designriktlinjer, kommunikation i termer av kvadratmeterpriser och ett pågående arbete att ta fram standarder för tester av byggnadsintegrerade solcellsprodukter.

Många BIPV-tillämpningar håller sig nära befintliga byggmetoder och använder samma byggtekniska principer som vedertagen taktäckning eller fasadbeklädnad. Detta gör det enklare att uppfylla byggnadsfunktionen med solcellsprodukter och begränsar osäkerheten i största mån till själva solcellsprodukten. Tyngdpunkten i standardiseringsarbetet hos CEN och CENELEC ligger därför på tester för personsäkerhet, brandsäkerhet samt uthållighet. Även om de första resultaten förväntas först i början av 2011 finns arbetet som ligger till grund för standardiseringen tillgängligt i publikationer. Preliminära testmetoder skulle redan idag kunna användas på solcellsprodukter för byggnadsintegrering, för att undersöka deras funktionsenlighet.

Integreringslösningar baserade på befintliga byggtekniker som redan idag används i Europa är till exempel solcellstakpannor eller falsad plåt med tunnfilmmoduler för tak- och fasadtillämpningar. Även konstruktioner där solcellsmoduler med dubbla glaslager ersätter vanligt (säkerhets)glas har tillämpats i stor omfattning och med goda resultat.

6 Litteraturförteckning

1. **SCB/Energimyndigheten.** <http://www.scb.se/>. *SCB - Månatlig elstatistik.* [Online]
2. **Håkan Håkansson, Bengt Hellström & Björn Karlsson.** *Mätning och simulering av temperaturrens inverkan på prestandan hos byggnadsintegrerade solceller.* Stockholm : Elforsk (SolEl programmet), 2007.
3. **Berrie van Kampen, EU IP Performance SP6.** *Actual Temperatures of Building Integrated PV Modules.* u.o. : EU IP Performance (www.pv-performance.org), 2008.
4. **European Photovoltaic Industry Association (EPIA).** *Global Market Outlook until 2013.* Brussel : EPIA, 2009.
5. Photovoltaic Module Manufacturers in the World. *The Source for Renewable Energy.* [Online] Momentum Technologies LLC, den 13 Mars 2010. <http://energy.sourceguides.com/businesses/byP/solar/pvM/byB/mfg/mfg.shtml>.
6. **Per Hedberg, Sören Holmberg.** *Svenska folkets åsikter om olika energikällor 1999 - 2008.* Göteborg : SOM-Institutet / Energimyndigheten, 2009.
7. *Photovoltaics in an Architectural Context.* **Henk Kaan, Tjerk Reijenga.** 12, Bognor Regis : John Wiley & Sons, Ltd., 2004, Progress in Photovoltaics: Research and Applications, Vol. 2004, ss. 395-408. DOI: 10.1002/pip554.
8. *New Test Methods for BIPV: Result from IP Performance.* **J.C. Jol, B.J.M. van Kampen, B.J. de Boer, F. Reil, D. Geyer.** Hamburg : EU PVSEC, 2009.
9. **Boverket.** *Regelsamling för byggande, BBR 2008.* Karlskrona : Boverket, 2008. ISBN 978-91-86045-03-6 (tryck) / 978-91-86045-02-9 (pdf).
10. *Testing Procedures for Building Integrated Photovoltaics.* **Bernhard Weller, Claudia Hemmerle, Michael Kothe.** Hamburg : EU PVSEC, 2009.
11. **Berrie van Kampen, Paul Blackmore, Chris Geurts, Björn Petter Jelle, Harald Mayr, Károly Matolcsy.** *Proposal for Pre-Standardization of Active Roof Components - Solar Energy Systems -.* Delft (the Netherlands) : TNO, 2008. TNO 2008-D-R0801/B.
12. **Consortium of the Sunrise Project.** *Barriers for the introduction of Photovoltaics in the building sector.* u.o. : <http://www.pvsunrise.eu/>, 2008.
13. **Arkitekturbüro Hagemann.** *Costs of Facade-Products.* u.o. : <http://www.architekturburo-hagemann.de/>, 2007.