

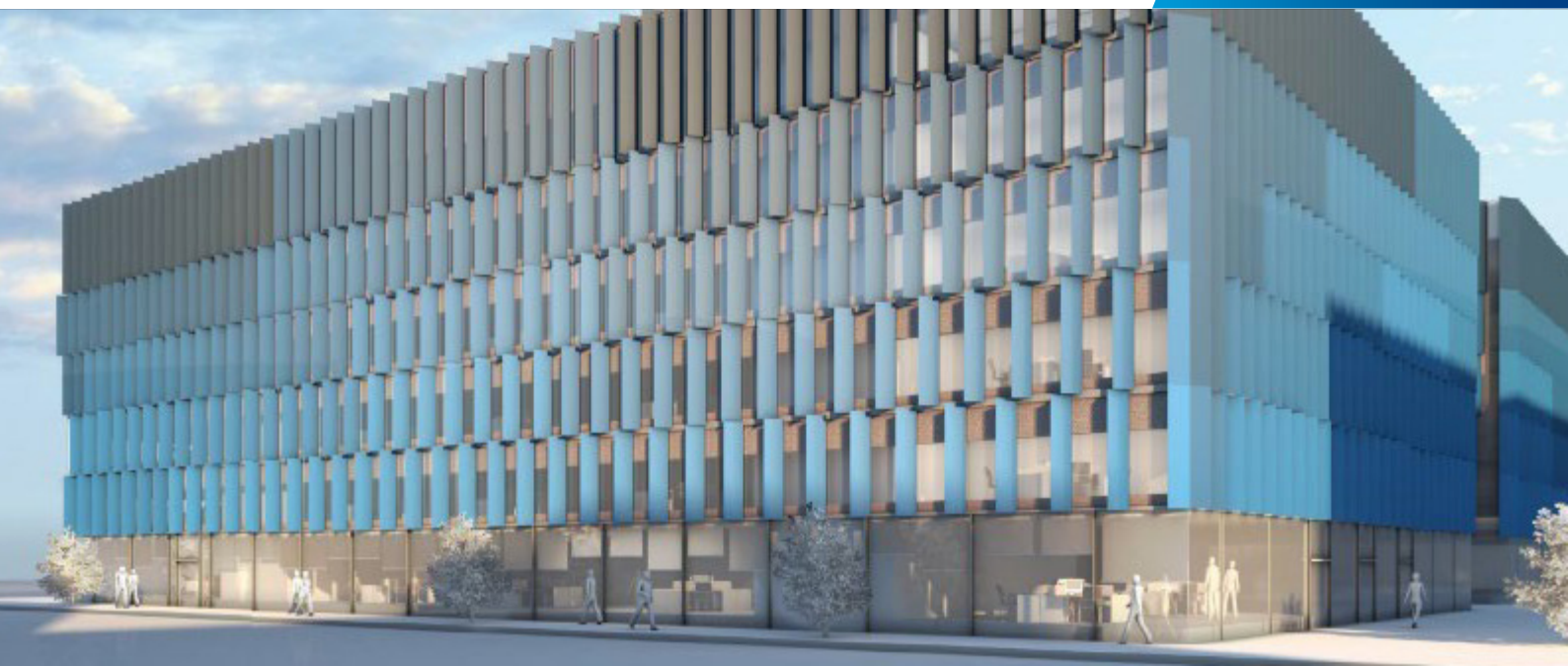
ELSA guiden

ELSA-guiden är ett delresultat från det tvärvetenskapliga projektet "ELSA" som står för ELgenerande SolAvskärmningar. Projektet har utforskat solavskärmningar i ett helhetsperspektiv – från energieffektivitet till energiproduktion och från produkt till arkitektur. Detta har skett i samarbete mellan olika branscher och aktörer, såsom solskydds- och solcellsleverantörer, beställare, arkitekter, konsulter och entreprenörer.



Solavskärmningar med integrerade solceller – hur och varför?

ELSA-GUIDEN – KUNSKAP OCH INSPIRATION TILL FASTIGHETSÄGARE,
ARKITEKTER, ENTREPRENÖRER OCH ANDRA NYFIKNA



Solavskärmningar med integrerade solceller – hur och varför?

VARFÖR DENNA SKRIFT?

Denna skrift är en del av resultatet från ett forskningsprojekt om solavskärmningar där solskydds- och solenergibranscherna har samarbetat med arkitekter, fastighetsägare, byggtreprenörer och forskare. Det främsta syftet med projektet och med denna skrift är att öka intresset och kunskapen kring solavskärmning i allmänhet och i synnerhet kring solceller som konstruktionsmaterial i solavskärmningsprodukter. Skriften riktar sig främst till fastighetsägare och arkitekter, men vi hoppas och tror att även konsulter, byggtreprenörer och inte minst innovatörer och designers ska kunna hitta inspiration till spännande projekt och nya lösningar här. En bra dialog och samarbete mellan dessa olika aktörer är en förutsättning för att uppnå lösningar med hög funktionalitet och teknisk prestanda, goda ekonomiska förutsättningar samt estetiska kvalitéer.

VARFÖR BEHÖVS SOLAVSKÄRMNING?

Solinstrålningen mot en byggnad påverkar både byggnadens energiprestanda och den visuella och termiska komforten för dem som vistas i byggnaden. Tillgång till dagsljus och visuell kontakt med utsidan är viktiga faktorer för trivseln inomhus. I Boverkets byggregler anges att rum eller avskiljbara delar av rum ”där människor vistas mer än tillfälligt ska utformas och orienteras så att god tillgång till direkt dagsljus är möjlig”. Fönster och glasparter med stort ljusinsläpp medför samtidigt en ökad värmelast och därmed behov av solavskärmning. Med en effektiv solavskärmning följer ökad produktivitet hos dem som arbetar i byggnaden:

- Minska behovet av effekt och energi för att kyla byggnaden
- Förbättra visuell och termisk komfort (undvika bländning, ge bra dagsljus och bibehållen visuell kontakt utåt, minskad värmestrålning)
- Få en bättre komfort och totalekonomi än om samma funktion ska uppnås med solskyddsglas och komfortkyla

Solavskärmning har dessutom blivit ett modernt arkitektoniskt uttrycksmedel med vars hjälp man till exempel kan synliggöra och profilera en högteknologisk och hållbar byggnad. Om avskärmningen kombineras med solceller, som oftast syns tydligare i en solavskärmning än på ett tak, bidrar man ytterligare till denna effekt.

Det finns många olika typer av solavskärmningslösningar, exempelvis utvändiga, invändiga eller mellanmonterade solavskärmningar. Solavskärmningarna kan vara fasta/rörliga, automatiska/manuella samt ogenomskinliga/delvis genomskinliga.

För att skapa en fullgod solavskärmning behövs ofta en kombination av utvändiga rörliga/ dynamiska och invändiga avskärmningar. Minskat kylbehov och förbättrad termisk komfort tar de utvändiga avskärmningarna hand om, men för att motverka bländning behövs även invändiga gardiner eller persienner. En optimal solavskärmningslösning behöver anpassas till byggnadens verksamhet liksom till dess orientering, dess installationssystem och klimatskal.

Läs mer om solavskärmning i REHVA Handbok NR 12. ”Solavskärmning – Hur man integrerar solavskärmning i energimässigt hållbara byggnader”. Boken ger en mycket bra fördjupning i ämnet.



Potsdam Universitet. Arkitekt: BLK2 Böge Lindner K2 Architekten, Hamburg

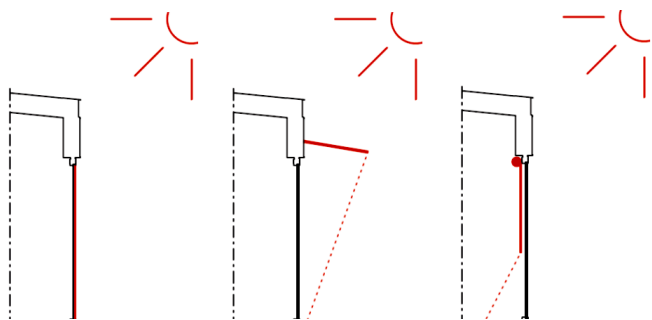
VARFÖR KOMBINERA SOLAVSKÄRMNING MED SOLCELLER?

Investeringar i solcellsinstallationer ökar starkt sedan flera år i Sverige, främst till följd av kraftigt sjunkande priser men också som ett resultat av en framsynt regeringspolitik. Intresset är därför stort hos många fastighetsägare då solelen ses som ett bra sätt att minska mängden köpt energi med stor klimatnytta som följd.

I Sveriges nationella mål för klimatneutralitet år 2045 ska solenergin enligt Energimyndigheten kunna bidra med 5 – 10 % av den svenska elproduktionen. Med denna skrift vill vi medverka till utvecklingen mot en fossilfri bygg- och anläggningsbransch.

Solavskärmningar kan minska behovet av luftkonditionering och därmed ofta avsevärt reducera byggnadens energianvändning och effektbehov. Om solavskärmningsytan dessutom beläggs med solceller genereras lokalt producerad förnybar el som ytterligare minskar behovet av köpt el. De elgenererande solavskärmningarna som utvecklats i forskningsprojektet och nu demonstreras på RISE i Borås genererar till exempel mellan 160 och 220 kWh per meter avskärmning och år beroende på utformning.

Elgenererande solavskärmningar utgör en kombinerad lösning för solavskärmning och byggnadsintegrerade solceller. Solceller kan integreras i fönsterglas eller glastak, installeras som utvändiga solavskärmningar eller integreras i invändiga solskydd (mindre vanligt), enligt skisserna nedan.



På detta sätt behöver inte solceller, fönsterglas och solskydd utgöra separata delar. Solcellsglasen finns i olika färger och kan ha olika grad av transparens.

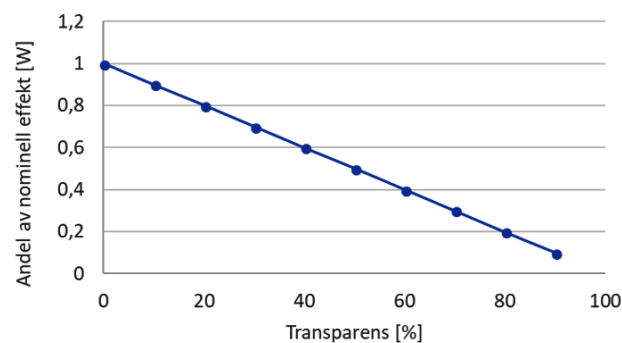
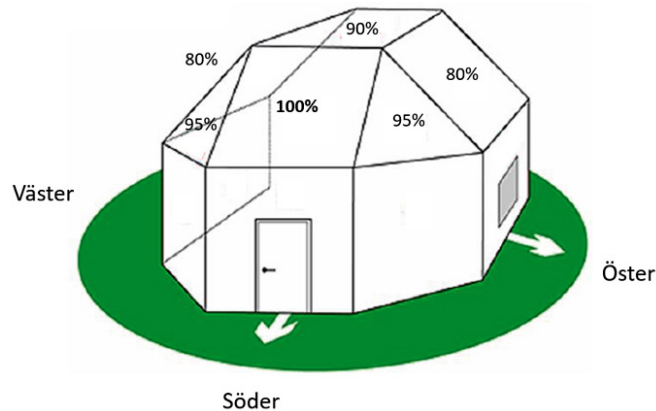
Läs mer om solceller och solelproduktion i RISE-Rapport 2018:47 "Solel i renovering och nybyggnad". Rapporten ger en bred översikt över området och hänvisar vidare till många bra fördjupningar.

VAD ÄR VIKTIGT ATT TÄNKA PÅ VID VAL AV ELGENERERANDE SOLAVSKÄRMNINGAR?

Vilken lösning för elgenererande solavskärmningar som passar bäst för en byggnad beror delvis på dess specifika förutsättningar, i synnerhet om det gäller en befintlig byggnad. Framför allt beror dock valet av lösning på vilka av följande parametrar som anses vara viktigast för projektet.

- Inomhusmiljö
- Arkitektur
- Ekonomi
- Elproduktion
- Underhåll

Hur mycket sol som genereras beror till stor del på solcellernas orientering och lutning, se figuren nedan. Många kommuner har tagit fram solkartor som visar hur mycket solenergi som strålar in mot taken och i vissa visas även instrålning mot fasader. Elproduktionen beror även på vilken typ av solcell som installeras samt vilken grad av transparens PV-modulen har. Störst elproduktion ger en helt ogenomskinlig solcellsmodul. Med ökad transparens minskar den nominella effekten linjärt, se figuren längst ner. Skuggning förekommer ofta på fasader, vilket reducerar solcellers elproduktion, men olika tekniska lösningar kan hantera detta så att skuggningseffekterna minimeras.



Solceller ger vid fullt solsken cirka 150 W/m², och årsutbytet är i bra lägen uppemot 150 kWh/m²

FAKTORER SOM PÅVERKAR LÖNSAMHETEN

Som med all teknik är det på sin plats att förmedla en förståelse för kostnadsbilden, så att man kan uppskatta projektets kostnader och intäkter. Solavskärmning ger flera ekonomiska nyttor där de mest påtagliga, som höjd produktivitet och ökat välbefinnande, ofta är svåra att kvantifiera. Vad som krävs för att en investering ska betraktas som lönsam är därför upp till var och en att bedöma. Tänk alltså på att figuren nedan bara visar "hårda" kvantifierbara siffror som kan uppskattas med acceptabel noggrannhet!

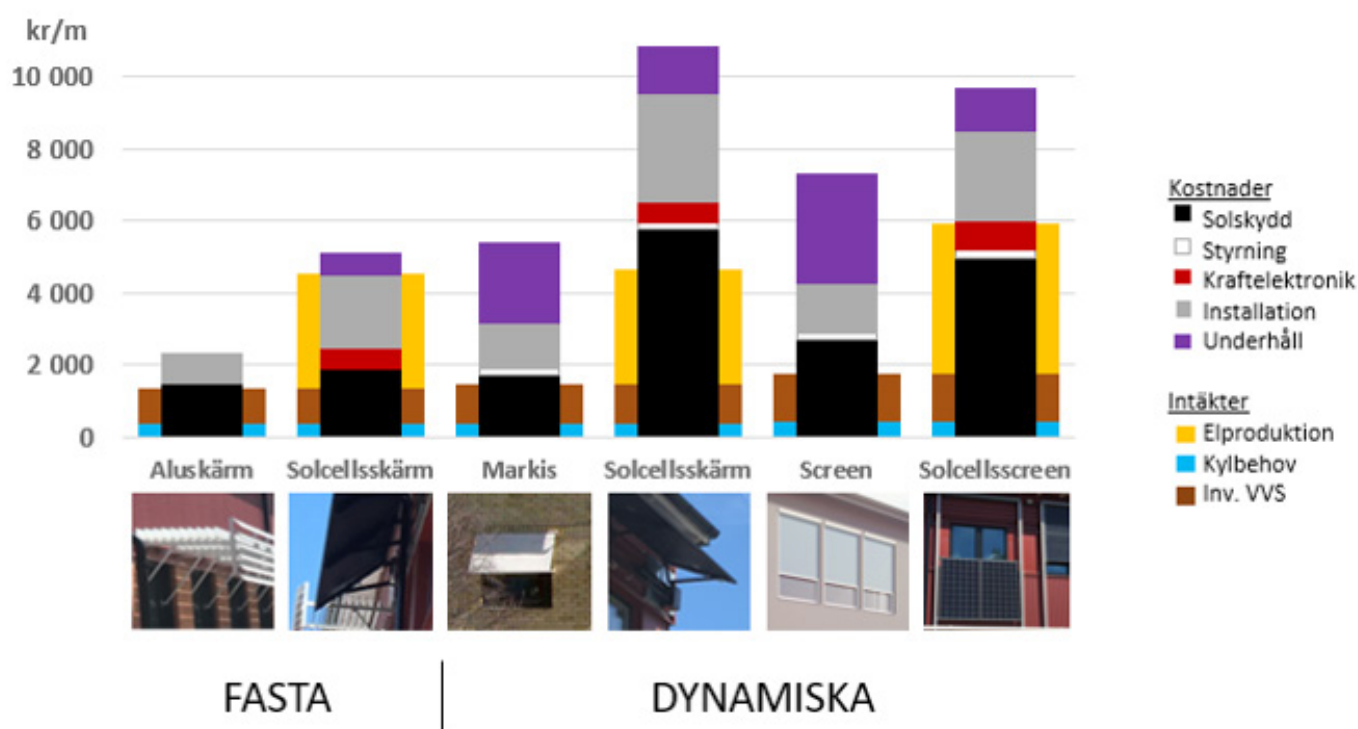
Vid nyproduktion är solavskärmning ofta en förutsättning för att klara energi- och funktionskraven, åtminstone om byggnaden ska certifieras enligt Miljöbyggnad eller liknande. Även annars är en kombination av fönster med rätt glaskvalité och solavskärmning ofta mer kostnadseffektivt än ett alternativ som ska förlita sig på solskyddsglas och ett kraftigt dimensionerat kylaggregat.

När det gäller befintliga byggnader (utan omfattande renoveringsbehov) består den kvantifierbara ekonomiska nyttan främst av det minskade energibehovet för

komfortkyla. För elgenererande solavskärmningar tillkommer också värdet av den el som produceras vilket i exemplen nedan är den klart dominerande intäkten. På gamla byggnader med högt värmebehov är det bra att inte skärma av solen för mycket höst-vinter-vår eftersom den kan bidra med mycket gratisvärme.

Att komplettera solavskärmning med solceller är ännu ovanligt och för att få en kostnadseffektiv lösning är det lämpligt att utgå ifrån serietillverkade solcellsmoduler. På mer prestigefyllda byggnader finns större frihetsgrader. I figuren nedan redovisas översiktligt exempel på kostnader och intäkter för några olika typer av fasta och dynamiska solskydd, med och utan solceller¹. Som framgår av figuren är ett fast solskydd det mest ekonomiska, med eller utan solceller. De har dock sina begränsningar, se avsnittet om fasta solavskärmningar.

¹ Kostnader och intäkter har nuvärdesberäknats över en 30-årsperiod, där underhållet utgörs av reinvestering helt eller delvis efter 15 år. Kalkylränta 3 %, elpris 1 kr/kWh.



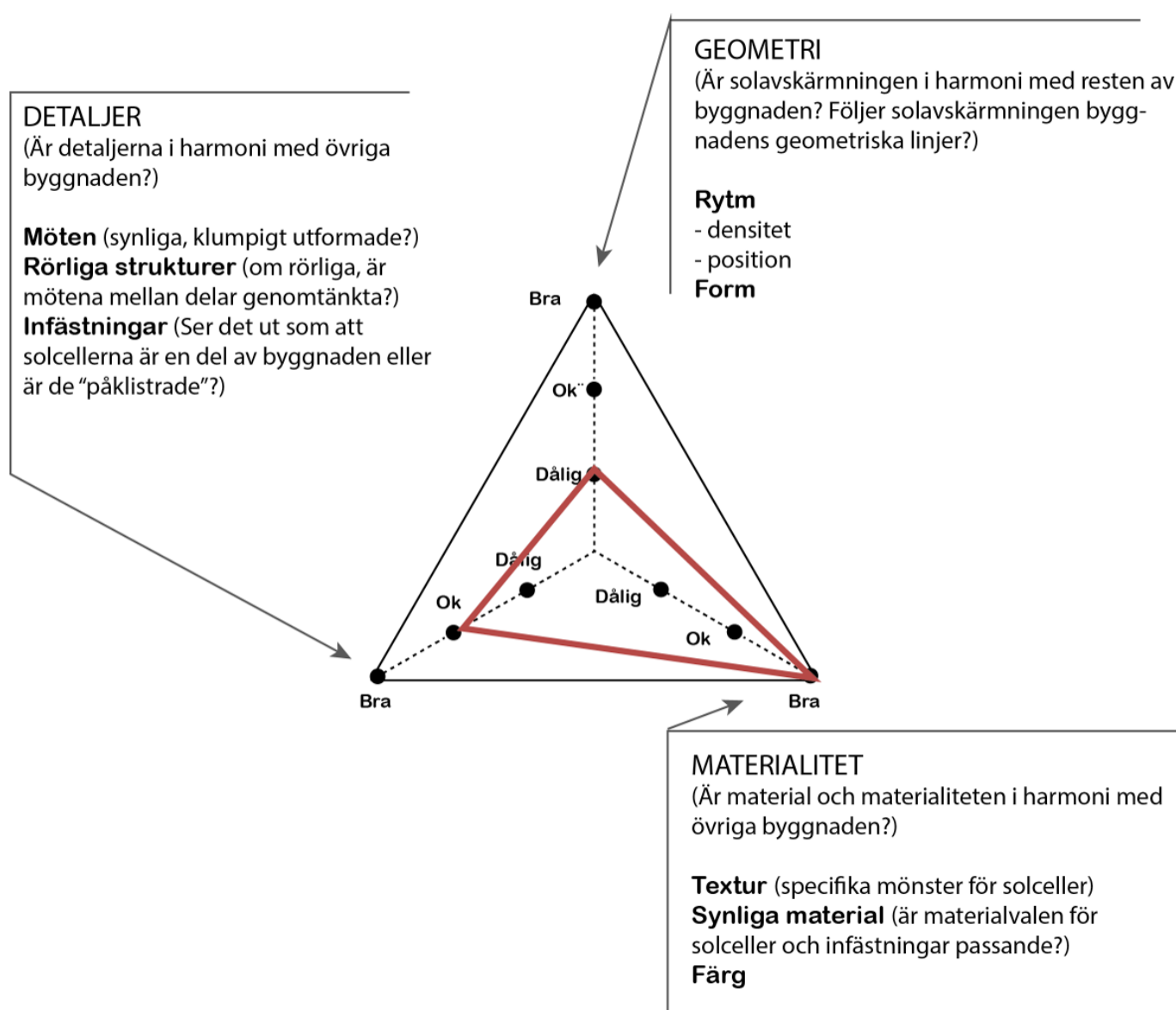
Figur 1. Ekonomisk jämförelse mellan solavskärmningar med och utan solceller (per meter fasad) för en exempelbyggnad med 20 fönster i två plan. Intäkten "inv. VVS" betecknar minskad investering i VVS-komponenter jämfört med en installation med solskyddsglas, utan yttre solavskärmning.

ARKITEKTONISKA VÄRDEN ÄR VIKTIGA!

Solavskärmningar och solceller på fasaden påverkar byggnadens utseende och acceptansen av tekniken bland till exempel bygglovshandläggare, arkitekter och brukare. Ibland kan det vara svårt att förstå hur solavskärmningen påverkar en ny eller befintlig byggnad. En modell som vi kallar för AIQ (Architectural Integration Qualities) kan hjälpa till att formulera visuella intryck av arkitektonisk integration. Modellen fungerar som ett kommunikationsverktyg för diskussioner om arkitektoniska värden mellan olika aktörgrupper.

AIQ-modellen består av en triangel där varje hörn representerar en av följande aspekter: geometri, materialitet och detaljer. Med stöd av dessa kan man utvärdera huruvida solavskärmningssystemet är välintegrerat i den övergripande byggnadsdesignen. Modellen har tre betygsnivåer: dålig, ok och bra.

Modellen beskrivs mer utförligt i artikeln *Improving the market up-take of energy producing solar shading: A communication model to discuss preferences for architectural integration across different professions* (Femenías m.fl., 2017).



AIQ-MODELLEN: ETT ANALYSVERKTYG OCH ETT SÄTT ATT SKAPA DIALOG OM ARKITEKTONISKA VÄRDEN

Utöver utformningen och integrationen i byggnadens arkitektur bedöms i modellen även systemets synlighet med hjälp av en ögonsymbol. Här utvärderas om solavskärmningen är dominerande, synlig eller osynlig. Hög synlighet kan bedömas som negativ i ett känsligt område men det kan vara positivt om man önskar visa sin miljöprofil och sin investering inom solenergi. Olika värderingar från olika personer kan sedan läggas på varandra i semi-transparenta lager i triangeln och ger på så sätt en sammantagen uppfattning om projektets AIQ. Bilden nedan visar ett exempel på resultat från en workshop där denna modell använts på nio olika byggnader. Exempel 3, 4, 6 och 7 har goda arkitektoniska integreringskvaliteter.

SYNLIGHET



Osynligt solavskärmningen eller solcellerna syns inte eller uppmärksammas inte av ögat



Synligt solavskärmning och solceller syns tydligt



Dominerande solavskärmningen eller solcellerna dominerar det visuella uttrycket av byggnaden och arkitekturen

Olika syn på estetik är inte nödvändigtvis det främsta hindret för en bredare implementering av elgenererande solavskärmningar. Utmaningen ligger i att estetiska integreringskvaliteter behöver samspela med andra grundläggande kriterier, se punkterna nedan.

Design och utformning

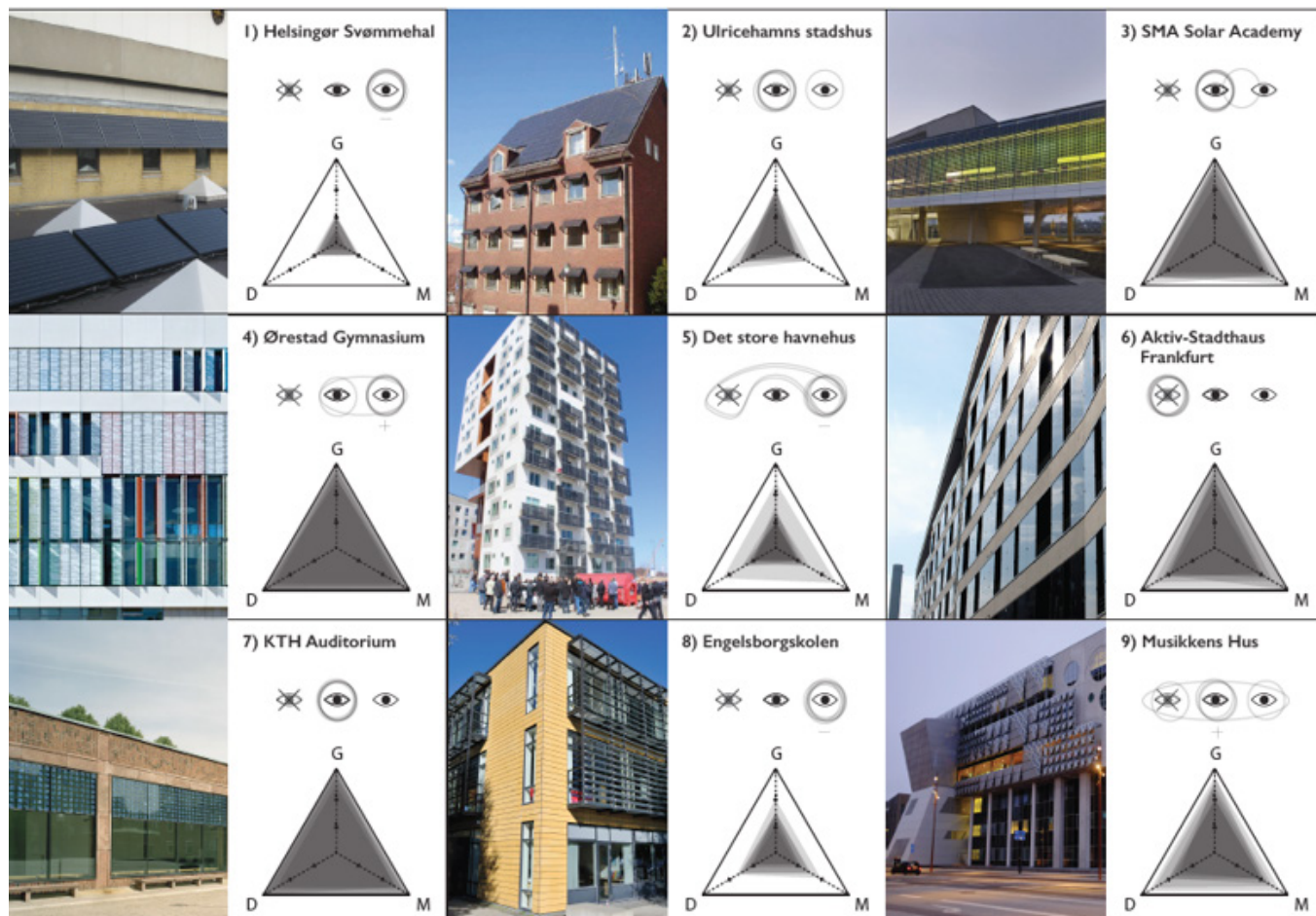


Synlighet



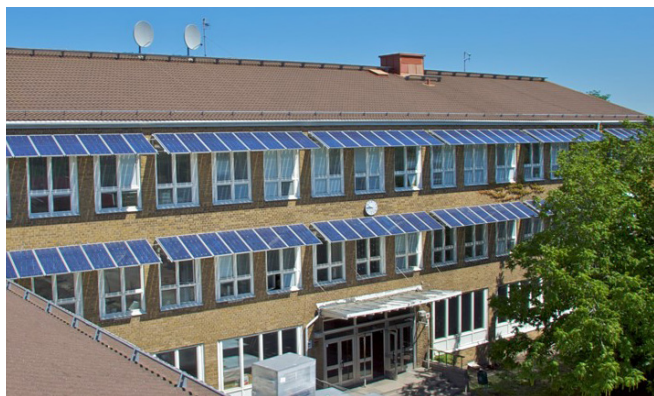
Men också följande kriterier:

- Ekonomi
- Energibesparing
- Elproduktion
- Inomhusmiljö
- Underhåll



Här följer en beskrivning och exempel på de vanligaste grundtyperna av solavskärmningar, det vill säga fasta/ rörliga samt "utstickande"/ parallellt med fasaden/ integrerade i glas. Varje typ har sina för- och nackdelar, alla passar inte överallt och beroende på tillämpning kan de olika solcellsteknikerna vara mer eller mindre lämpliga som konstruktionsmaterial i avskärmningarna.

FASTA SOLAVSKÄRMNINGAR



Fasta skärmar är än så länge den absolut vanligaste typen av solskydd som kombineras med solceller. Bilden ovan visar solceller av kristallint kisel men även tunnfilm förekommer. I fallet kristallint kisel väljs transparensen genom att ändra avståndet mellan cellerna, i fallet tunnfilm kan man med laser ta bort material för att göra ett valfritt mönster eller raster. Fördelar med fast avskärmning är enkelhet, minimalt underhåll och lång livslängd och därmed lägre kostnad jämfört med rörlig avskärmning. Nackdelarna är att man periodvis får en bristfällig avskärmning, till exempel genom att ljusinsläppet begränsas vid mulet väder. Om man istället väljer att inte låta avskärmningen gå så långt ner, kan resultatet bli att man inte lyckas skärma av tillräckligt mycket instrålning. Fasta skärmar fungerar bäst i söderlägen.

Solskydds- och solelfunktionen kan läggas i byggnadens glasning. Solskyddsfilm och olika beläggningar på rutorna är väl etablerade lösningar. Solceller mellan rutorna i ett laminat är en annan möjlighet. Solcellsglasen finns i olika färger och kan ha olika grad av transparens. Följande två bilder på solcellsglas (Tennet, Göteborg och KTH Auditorium, Stockholm) visar kristallina kiselceller i vissa delar av glaspartierna. Denna typ av solskydd är av flera skäl inte särskilt lämpad för fönster i utrymmen där människor vistas permanent som till exempel kontor eller utbildningslokaler. Som framgår av bilderna är de vanligare i utrymmen där människor passerar förbi där solcellerna kan bidra påtagligt till byggnadens uttryck. Med tunnfilm kan färger och mönster varieras inom ett bredare spektrum än med kristallint kisel.



Semitransparenta solceller integrerade i tak (Atrium). Kontorsbyggnad "Tennet", Göteborg. Bild: Elsa Fahlén.



Semitransparenta solceller integrerade i glas (KTH Auditorium). Bild: Paula Femenias

RÖRLIGA SOLAVSKÄRMNINGAR

Rörliga (dynamiska) solavskärmningar är de som generellt förespråkas av solskyddsbranschen eftersom det alltid ger, i kombination med ett invändigt bländskydd som en gardin eller persienn, en bättre funktion än en motsvarande kombination med fast avskärmning. Fördelarna är bland annat att man kan få in bra dagsljus under mulna dagar och att utsikten är bättre när så önskas. De rörliga solskydden kan ligga i liv med fasaden eller i vinkel mot den som lameller, markiser eller skärmar.

Utbudet av rörliga elgenererande solskydd är ännu mycket begränsat.

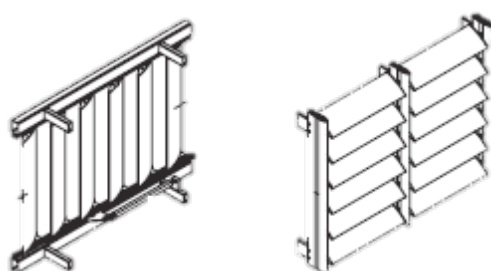
Solskydd i liv med fasaden och fönstren smälter in i byggnaden på ett annat sätt än markiser eller skärmar över fönstren. Det krävs dock oglasade partier antingen vid sidan av, under och/eller över fönstren för att det ska fungera bra tillsammans med solceller. Skjutbarhet i horisontal- eller vertikalled (uppifrån och ner eller nerifrån och upp) ger också olika resultat med avseende på ljusmiljö och kontakt med omgivningen. Luckorna på bilden nedan utgörs av solcellsmoduler (glas/glaslaminat) av tunnfilmsmaterial.



Olika varianter av elgenererande solavskärmningar demonstreras på RISE kontor i Borås. Nedan visas en del av demonstrationsanläggningens prototyper där modulerna är uppbyggda av kiselceller. Ett inre bländskydd behövs för att få en riktigt bra funktion. Här är tunnfilmssolceller att föredra eftersom de möjliggör en finmönstrad, halvgenomskinlig yta till skillnad från kristallina kiselceller vars celler är helt ogenomskinliga med mellanrum mellan cellerna som kan ge skarpa kontraster. Materialet som täcker cellernas baksida kan vara vitt, svart eller genomskinligt vilket också har stor inverkan på ljusupplevelsen i rummet och på utseendet från utsidan. Med tunnfilm får man vanligtvis ett lägre elutbyte per kvadratmeter yta än med kristallint kisel.



Rörliga och fasta lameller finns i stående och liggande utförande. Bredden på lamellerna avgörs ibland av solcellstekniken. Illustrationerna nedan visar en modul av tunnfilmssolceller som till sin uppbyggnad är endast 10 millimeter breda, vilket gör att måtten på lamellerna i stort sett kan väljas fritt. Om man använder kristallina kiselceller så byggs de ofta upp av celler med 156 millimeters sida vilket begränsar möjligheterna till behovsanpassade lösningar.



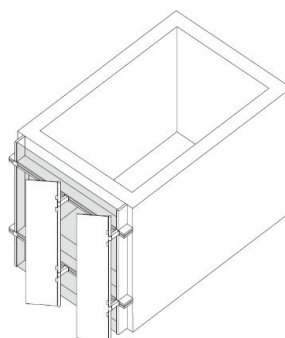
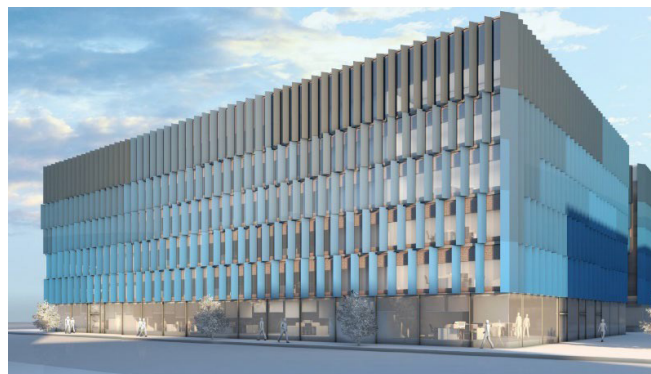
Rörliga skärmar över fönster

Det rörliga solskyddet (till höger i bilden nedan) ger både ökat dagsljusinsläpp vid mulet väder och kraftigare avskärmning vid lågt stående sol jämfört med de fasta (till vänster i bilden nedan).



Rörliga vertikala skärmar

Måttanpassade och eventuellt färgade glaspartier med solceller kan också användas som vertikala solskydd. Denna typ fungerar bäst för fasader som är orienterade mot sydöst och sydväst. Bilderna nedan visar det vinnande bidraget i en tävling för arkitektstudenter vid Chalmers Tekniska Högskola.



ELSA-GUIDEN

ELSA-guiden är ett delresultat från det tvärvetenskapliga projektet "ELSA" som står för ELgenerande SolAvskärmningar. Projektet har utforskat solavskärmningar i ett helhetsperspektiv – från energieffektivitet till energiproduktion och från produkt till arkitektur. Detta har skett i samarbete mellan olika branscher och aktörer, såsom solskydds- och solcellsleverantörer, beställare, arkitekter, konsulter och entreprenörer. Nedan presenteras projektets medverkande partners och finansiärer.

Projektrapporten och mer information om projektet finns på <https://www.e2b2.se/forskningsprojekt-i-e2b2>

HUVUDFINANSIÄRER:



MEDVERKANDE PARTNERS OCH MEDFINANSIÄRER:

