



SAMHÄLLSBYGGNAD
ENERGI OCH CIRKULÄR
EKONOMI



Solceller som solavskärmning

Forskning, utveckling och demonstration

Peter Kovacs, Olleper Hemlin, Jon Persson, Patrik Ollas, David Larsson, Paula Femenias, Liane Thuvander och Elsa Fahlen

RISE Rapport : 2018:59

Solceller som solavskärmning

Forskning, utveckling och demonstration

Peter Kovacs, Olleper Hemlin, Jon Persson, Patrik Ollas, David Larsson, Paula Femenias, Liane Thuvander och Elsa Fahlen

Abstract

Solar cells in solar shading devices- Research, development and demonstration

This report presents the implementation, results, discussion and conclusions of the project "Solar Shading in an Overall Perspective - From Energy Efficiency to Energy Production and from Product to Architecture". From 2015 to 2018, companies from the solar shading and solar PV industries, together with architects, researchers, contractors and property managers, have explored the area in order to increase interest, knowledge and acceptance for solar shading in various important target groups. A strong focus has been on the combination of solar cells and solar shadings in a product named electricity generating solar shading. Among the results is a literature summary and an experience feedback from eight installations, as well as a database of examples from about 70 solar-shading installations, most of which are built up of solar cells. A development effort in collaboration between solar shading- and solar PV companies has resulted in several new products that were evaluated in the project and now being demonstrated at RISE's office in Borås.

Key words: Photovoltaics, Solar shading, multifunctional, BIPV, design, daylighting

Omslagsbild: PPAM Solkraft AB

RISE Research Institutes of Sweden AB

RISE Rapport : 2018:59

ISBN: 978-91-88907-03-5

Borås 2018

Innehåll

Abstract	2
Innehåll	3
Förord	5
Sammanfattning	6
1 Inledning och bakgrund	8
1.1 Projektgruppen	9
1.2 Projektets syfte och mål.....	9
2 Genomförande	10
2.1 Projektledning och kommunikation.....	10
2.2 Kunskapsöversikt, erfarenhetsåterföring och dialog.....	10
2.2.1 Kunskapsöversikt – en litteraturstudie.....	10
2.2.2 Kvantitativ erfarenhetsåterföring – sammanställning av exempelprojekt11	
2.2.3 Kvalitativ erfarenhetsåterföring genom fallstudier av åtta byggnader med solavskärmning	11
2.2.4 AIQ modellen- Ett dialogverktyg.....	12
2.3 Produktutveckling, demonstration och studie av solavskärmningar.....	13
2.3.1 Utveckling av två nya solavskärmningslösningar	13
2.3.2 Demonstration och studie av solavskärmningar.....	14
2.4 Kommersialisering och vidare tillämpning	14
2.4.1 Mini-enkät till fastighetsbolag	14
2.4.2 En guide till elgenererande solavskärmningar.....	15
2.5 Generalisering och samhällsrelevans	15
2.5.1 Samverkan och innovation.....	15
2.5.2 Designworkshop	15
2.5.3 Tävling för arkitektstudenter Chalmers	15
2.5.4 SOLution, Göteborg.....	15
3 Resultat	17
3.1 Projektledning och kommunikation.....	17
3.1.1 Kommunikation och informationsspridning.....	17
3.1.2 Spin-off projekt.....	17
3.1.3 Framtida behov och satsningar	19
3.2 Kunskapsöversikt, erfarenhetsåterföring och dialog.....	19
3.2.1 Kunskapsöversikt	19
3.2.1 Kvantitativ erfarenhetsåterföring - sammanställning av exempelprojekt20	
3.2.2 Kvalitativ erfarenhetsåterföring genom fallstudier av åtta byggnader med solavskärmning	21

3.2.3	AIQ modellen- Ett dialogverktyg.....	22
3.3	Produktutveckling, demonstration och studie av solavskärmningar.....	24
3.3.1	Erfarenheter och resultat från produktutveckling	24
3.3.2	Resultat från installation och utvärdering av demonstrationsanläggning 26	
3.4	Kommersialisering och vidare tillämpning	40
3.4.1	Jämförelse mellan el-genererande och vanliga solavskärmningar.....	40
3.4.2	Strategi för kommersialisering av el-genererande solavskärmningar	41
3.4.3	Resultat från mini-enkät till fastighetsbolag.....	42
3.4.4	Guide till elgenererande solavskärmningar	43
3.5	Generalisering och samhällelig relevans	44
3.5.1	Samverkan och innovation.....	44
3.5.2	Designworkshop	47
3.5.3	Arkitekturtävling, Chalmers.....	49
4	Diskussion	51
5	Slutsatser	53
5.1	Kunskapsöversikt.....	53
5.2	Erfarenhetsåterföring	53
5.3	AIQ modellen.....	53
5.4	Produktutveckling och demonstration	54
5.5	Kommersialisering av ELSA-produkter	54
5.6	Innovation i mellanrummet.....	55
6	Publikationslista	56
7	Litteraturförteckning.....	57
A.	Bilagor	i
A.1	Parameter som finns beskrivna i ELSA-databasen	ii
A.2	Workshop AIQ-modell.....	iii
A.3	Testresultat AIQ-modellen, exempel från en arkitekt.....	vi
A.4	Ramverk för utvärdering av befintliga system	vii
A.5	ARK415 BUILDING DESIGN LAB	12

Förord

En av forskningsinstitutet RISE viktigaste uppgifter är att fungera som en brobyggare mellan industri och akademi och i projektet Solavskärmningar i helhetsperspektiv, även kallat ELSA har denna uppgift praktiserats på ett påtagligt och framgångsrikt sätt. Två ganska olika branscher, solavskärmnings- och solexbranscherna, vilka fram till projektstart inte har samarbetat men som intuitivt inses kunna utträta något bra tillsammans, har förts samman i projektet. Under RISE ledning man där fått möta verksamma arkitekter liksom arkitekter inom akademien, byggtreprenörer, beställare, energiexperter med flera för att tillsammans med dessa utforska området.

Sammanfattning

Denna rapport redovisar genomförande, resultat, diskussion och slutsatser från projektet ”Solavskärmningar i helhetsperspektiv- Från energieffektivitet till energiproduktion och från produkt till arkitektur”. Företag från solskydds- och solevbranscherna har från 2015 till 2018 tillsammans med arkitekter, forskare, byggentreprenörer och fastighetsförvaltare utforskat området i syfte att öka intresse, kunskap och acceptans för solavskärmningar inom olika viktiga målgrupper. Ett starkt fokus har legat på kombinationen solceller och solavskärmningar i produkten elgenererande solavskärmningar, vilket gav oss projektakronymen ”ELSA”. Dessa avskärmningar refereras i rapporten till som ”ELSA-produkter”. En hypotes bakom projektet har varit att även den etablerade marknaden för solavskärmningar skulle kunna dra nytta av att solceller kommer in i bilden, bland annat som ett resultat av arkitekternas intresse för multifunktionella fasadprodukter. Andra starka drivkrafter som projektets industriaktörer framgent förväntas kunna dra nytta av är prognoser om mycket kraftigt ökande energibehov för kylning av byggnader och en mycket stark teknik- och marknadsutveckling på solevområdet. Projektet har genomförts i fyra olika arbetspaket utöver arbetet med projektledning och kommunikation:

- Chalmers Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik har lett arbetet med litteraturstudier, en kvantitativ och en kvalitativ erfarenhetsåterföring från existerande solavskärmningsprojekt samt en inledande produktutvärdering inför utvecklingsarbete och demonstration
- RISE har lett arbetet med demonstration och studie av sex utvalda solavskärmningar på en egen kontorsbyggnad i Borås
- Solkompaniet har lett arbetet med produktutveckling, kommersialisering och vidare tillämpning av ELSA-produkter
- RISE har lett ett arbete kallat generalisering och samhällelig relevans som syftat till att generalisera projektets erfarenheter kring tvär- och multidisciplinärt arbete och innovation i förhoppningen att det ska kunna tillämpas i andra sammanhang inom bygginnovationen

Kunskapsöversikten har gjorts genom en omfattande sammanställning av litteratur på området och slutsatsen från denna är att fortsatt forskning bör fokusera mer på mätningar än på simuleringar, på visuell komfort och bländning, utsikt genom fönstren, den nordeuropeiska kontexten och inte minst estetiska aspekter och arkitektonisk integration. Erfarenhetsåterföringen har dels omfattat en kvantitativ undersökning där främst tekniska data och bilder från ett 70-tal installationer samlats in och publicerats i en databas och dels en mer detaljerad undersökning baserad på intervjuer av en rad aktörer i anslutning till åtta olika installationer. Studien visar på behov av ett tätt interdisciplinärt samarbete för att kunna samordna ekonomi, teknik, funktion, drift och estetik till en bra helhet, vilket visat sig svårt i de flesta fall som studerats. Sammanställningen av byggda anläggningar har inte kunnat visa på någon etablerad marknad för elgenererande solavskärmningar, tvärtom verkar varje anläggning vara unik vilket bör innebära stora möjligheter för en ny aktör att arbeta upp en marknad.

Projektet har undersökt ett flertal olika designbaserade hjälpmedel tänkta att uppmuntra och stötta en mångdisciplinär innovationssamverkan. Vid en halvdags workshop fick projektdeltagarna till exempel prova på två etablerade processer för problemlösning – SCAMPER och Synectics. AIQ modellen som tagits fram i projektet är ett användbart verktyg i gruppdiskussioner med representanter från olika yrken där det kan förbättra kommunikationen kring estetik mellan dessa aktörer. En slutsats är också att olika syn

på estetiken inte kommer att vara det främsta hindret för en bredare implementering av elgenererande solavskärmningar. Utmaningen ligger istället i att estetiska integreringskvaliteter behöver samspela med andra aspekter som funktion, effektivitet, energiproduktion och ekonomi. Två olika tävlingar med elgenererande solavskärmningar i fokus som arrangerats på projektets initiativ har gett intressanta resultat. I idétävlingen "SOLution Göteborg" som samlade ett 50-tal tävlande prisades ett tävlingsbidrag om avancerad visualisering av ELSA-produkter som nu fått projektstöd från Formas för att utvecklas vidare. En arkitektstudenttävling inom ramen för Chalmerskursen "Building design lab" coachades och jurybedömdes av ett antal av ELSA-projektets partners. Resultatet blev tre väl genomarbetade kontorsrenoveringskoncept med innovativa ELSA-produkter i fokus.

En produktutvecklings- och kommersialiseringsinsats har trots begränsade erfarenheter av liknande uppgifter hos parterna och trots en rad oförutsedda svårigheter resulterat i en uppsättning nya produkter som har installerats på RISE kontor i Borås. Arbetet har på ett påtagligt sätt bidragit till att nya samarbeten mellan solskydds- och solelbranscherna har etablerats och en kommersialiseringsstrategi som belyser olika möjligheter att ta konceptet vidare har skisserats. Utvärderingen av produkterna med hjälp av brukarupplevelser och mätningar har visat sig mer komplex än beräknat att genomföra på ett övertygande sätt. Den har dock lett till intressanta resultat som formulerats i rekommendationer inför framtida utvecklingssamarbeten. Essensen av dessa har sammanställts i en vägledning riktad till arkitekter, beställare och andra intressenter. Rekommendationerna om framtida test- och utvärderingsresurser handlar om att tillgodose behov av kvalificerade mätningar och simuleringsmodeller som kan hantera kombinationen solceller och solavskärmning snarare än att arbeta vidare med ett levande labb.

I en avslutande del om innovation i bygg- och anläggningsbranschen generellt konkluderas att öppenhet och nyfikenhet hos industriaktörerna är en mycket viktig förutsättning. En annan är att forskningsfinansiärer för tillämpad forskning behöver ställa krav på och skapa förutsättningar för "innovationshöjd" snarare än "forskningshöjd". Rapporten avslutas med ett försök att konkretisera hur detta ska gå till.

1 Inledning och bakgrund

Forskningsprojektet ”Solavskärmningar i helhetsperspektiv- Från energieffektivitet till energiproduktion och från produkt till arkitektur” har huvudsakligen ägnats åt olika frågeställningar kring kombinationen utvändiga solavskärmningar och solceller. Den produkt som blir resultatet av denna kombination - En ELgenererande SolAvskärmning, gav upphov till projektakronymen ”ELSA”. Denna rapport redovisar projektets genomförande, resultat och slutsatser efter tre års samarbete (2015-2018) i en grupp som omfattat en rad olika branschaktörer och aktiviteter.

Solavskärmningar kan minska behovet av energi till kyla i luftkonditionering och därmed ofta avsevärt reducera en byggnads energianvändning och eleffektbehov. Behovet av att kyla byggnader ökar i dag snabbt världen över enligt en färsk prognos från IEA som förutser att kylbehovet globalt kommer att tredubblas fram till 2050 (OECD/IEA, 2018) Den huvudsakliga ökningen sker i länder med snabb befolknings- och välståndsökning där rapporten bland annat pekar på att el till komfortkyla i många fall kommer att utgöra mer än 25% av landets totala effektbehov. Även i Skandinavien ökar energibehoven för kyla, bland annat som en följd av mer välisolerade (nya) byggnader och högre komfortkrav.

Förutom att reducera energi- och effektbehov så bidrar en bra solavskärmning till bättre ljusmiljö och bättre termisk komfort vilket man har kunnat visa leder till produktivitetsökningar och ökat välbefinnande hos de som arbetar i byggnaden. Eftersom lönekostnader utgör den helt övervägande delen av driftkostnaderna i ett kontor så är denna produktivitetsökning oftast mer värd än energibesparingen, men betydligt svårare att kvantifiera. Om solavskärmningsytan dessutom beläggs med solceller genereras förnybar el lokalt vilket ytterligare kan minska behovet av köpt el och bidra med klimatnytta genom minskning av de globala koldioxidutsläppen. IEA-rapporten lyfter specifikt solel som en möjlighet att kapa de effekttoppar som komfortkylan bidrar med eftersom elproduktionen sammanfaller väl, om än inte perfekt, med behovet av komfortkyla.

Elgenererande solavskärmningar utgör en kombinerad lösning för solavskärmning och byggnadsintegrerade solceller där solcellerna helt enkelt ersätter annat material för att skärma av solinstrålningen. Solceller kan integreras i fönsterglasen, installeras på utvändiga solavskärmningar eller möjligen integreras i invändiga solskydd. Ännu finns väldigt få kombinerade produkter tillgängliga på marknaden och samarbetet mellan solskydds- och solenergibranscherna har, åtminstone i Sverige, just inletts som ett resultat av detta projekt.

De huvudsakliga drivkrafterna för projektets tillkomst har alltså sammanfattningsvis varit:

- En stor outnyttjad potential för energieffektivisering, effektreduktion och förbättrad inomhusmiljö genom utnyttjande av solavskärmningsteknik
- Ett energibehov för komfortkyla som förväntas växa kraftigt under många år framåt
- Goda möjligheter till sänkta livscykelkostnader och till förnybar elproduktion genom att kombinera solavskärmnings- och solcellsteknik

- Bristande kunskap och få samarbeten kring kombinationen solskydd-solel och som en följd av detta en avsaknad av produkter som utnyttjar de möjligheter som kombinationen erbjuder

1.1 Projektgruppen

De utmaningar vi står inför i omställningen till ett hållbart samhälle behöver på grund av sin komplexitet och mångfacetterade natur breda aktörssammansättningar för att hanteras. Det har i alla fall varit en grundläggande tanke som präglat utformningen av projektgruppen och följaktligen finns så gott som alla aktuella aktörer representerade: Forskare med arkitektur- och energifokus, verksamma arkitekter, bygg-, solskydds- och solelentreprenörer, fastighetsägare/ förvaltare och sist men inte minst de två branschföreningarna Svensk solenergi och Svenska solskyddsförbundet. Gruppens bredd har gett oss unika möjligheter att dela och ta del av kunskap och erfarenheter från två ganska väsensskilda teknikområden. Även om långt ifrån alla goda idéer och insikter som kommit ut av detta har lett fram till något konkret så finns det många exempel där så har skett. Ett antal frön till nya projekt och samarbeten har också satts, något som på lite sikt kan komma att visa sig vara än viktigare. Projektets centrala partners och deras respektive uppgifter beskrivs närmare i Tabell 2-1.

1.2 Projektets syfte och mål

Projektets övergripande syfte har varit att öka intresse, kunskap och acceptans för solavskärmningar inom olika viktiga målgrupper och ett starkt fokus har legat på kombinationen solceller och solavskärmningar. Skälet till denna prioritering var att vi tidigt i projektet konstaterade att solavskärmningar i sig är relativt väl utforskade och etablerade men att tekniken att använda solceller för att bygga avskärmningar till och med var mindre spridd än vad vi tidigare förstått. Dessutom var en hypotes bakom projektet att även den etablerade marknaden för solavskärmningar skulle kunna dra nytta av att solceller kommer in i bilden. Detta eftersom arkitekterna, som en viktig aktör i utformningen av byggnadernas fasader, tilltalas av tillkommande funktioner och värden som förnybar el och en ökad möjlighet att via fasaden kommunicera miljömedvetenhet till omgivningen.

Följande mål har satts upp för projektet:

- Ta fram och etablera en enkel kalkylmodell för solavskärmningsprojekt
- Utveckla minst en ny solavskärmningsprodukt
- Genomföra minst två solavskärmningsprojekt
- Ta fram en vägledning för byggherrar, arkitekter och byggare
- Öka antalet genomförda solavskärmningsprojekt med solceller i Sverige
- Ta fram ny kunskap och förståelse för
 - Innovationsprocesser i byggsektorn
 - Betydelsen av bred samverkan i innovationsprocessen
 - Standarders betydelse i innovationsprocessen

2 Genomförande

Projektet har delats in i fem delprojekt enligt Tabell 2-1 som också beskriver rollerna i projektet. Aktörer inom parentes haft mindre, konsultativa roller. I följande kapitel 2.1 – 2.5 redovisas genomförandet av respektive delprojekt och resultaten redovisas sedan i respektive resultatkapitel 3.1 – 3.5.

Tabell 2-1 Projektupplägg och arbetsfördelning

DP nr. och Innehåll	Ledning	Medverkande
0. Projektledning och kommunikation	RISE	Samtliga d.v.s. RISE Research Institutes of Sweden (RISE), Lunds Tekniska Högskola (LTH), Chalmers, Kjellgren Kaminsky Architecture, Inobi, Västfastigheter, Allbohus, Solkompaniet, PPAM, Svensk Solenergi & Svenska Solskyddsförbundet, Vestamatic, Erco Systems, NCC, PEAB, Wästbygg, Sveriges Byggindustrier
1. Litteraturstudie, erfarenhetsåterföring och inledande produktutvärdering	Chalmers	LTH, RISE (Övriga)
2. Demonstration och studie av utvalda solavskärmningar	RISE	RISE, Solkompaniet, PPAM, Vestamatic, Erco Systems (Kjellgren Kaminsky, Inobi)
3. Produktutveckling Kommersialisering och vidare tillämpning	Solkompaniet	RISE, Svensk Solenergi, Svenska Solskyddsförbundet (Övriga)
4. Generaliserbarhet och samhällsrelevans	RISE	(Samtliga)

2.1 Projektledning och kommunikation

Delprojektet som leddes av Peter Kovacs på RISE har bestått i ledning av projektet och kommunikation av dess resultat där samtliga projektpartners varit delaktiga. Projektet har kommunicerats via seminarier, konferenser, artiklar i fackpress, nyhetsbrev och i sociala media. En referensgrupp med deltagare från RISE, Chalmers, Bengt Dahlgren AB, Solkompaniet och White Arkitekter har etablerats och tre referensgruppsmöten har genomförts. Projektledningen har också inneburit initiering av ”spin-off projekt” och planering av fortsatt arbete med solavskärmningar generellt och specifikt i kombination med solceller, se vidare resultatavsnittet.

2.2 Kunskapsöversikt, erfarenhetsåterföring och dialog

2.2.1 Kunskapsöversikt – en litteraturstudie

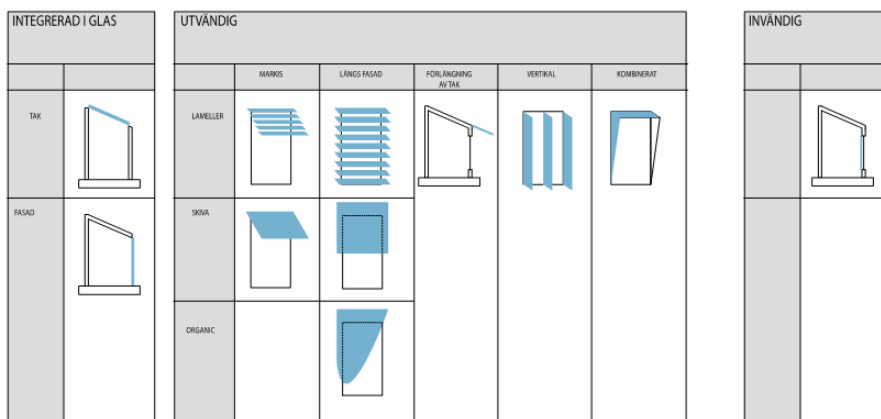
I kunskapsöversikten, som är baserad på en litteraturstudie, sammanställs resultat av tidigare forskning inom området elgenererande solavskärmningar.

Fokus ligger dels på kunskaper och erfarenheter från solcellsintegrerade solavskärmningar, deras energiprestanda och studerade parameter och dels på utmaningar relaterade till arkitektonisk integration. Litteraturen har sökts i databaser som Google Scholar, Inspecta, Scopus, Science Direct, Summon, och Web of science. Sammanlagt har ungefär 100 artiklar granskats i detalj.

2.2.2 Kvantitativ erfarenhetsåterföring – sammanställning av exempelprojekt

Den kvantitativa erfarenhetsåterföringen består av en sammanställning av ett 70-tal byggda exempel. Syftet med sammanställningen var att få inspiration och kunskap kring byggda exempel med solavskärmningar och solceller. Exempelen omfattar svenska och europeiska projekt och har sammanställts i en databas (Thuvander, 2018).

Följande parametrar ingår i beskrivningen: Namn och bild på projekt, Typ av byggnad, Typ av projekt, Geografiskt läge, År för färdigställande, Typ av solavskärmning, Typ av solceller, Installerad topp effekt, Arkitekt, Ägare, Information på webben (Bilaga A.1). Projekten har också kategoriserats i typologier för solavskärmningar, Figur 1.



Figur 1 Typologier för solavskärmningar

Kriterierna för att inkludera projekten i databasen var att de skulle vara belägna i norra Europa och Tyskland på grund av liknande klimat, och ha intressanta och arkitektoniskt inspirerande lösningar för solavskärmningar. Framförallt har projekt valts som kombinerar solavskärmning med solceller, men även projekt som saknar solceller men har en potential att integrera sådana har valts. Ambitionen med exempelsamlingen är att visa en bredd på olika lösningar och den är inte allomfattande. Sökningen genomfördes främst via sökmotorn Google.

2.2.3 Kvalitativ erfarenhetsåterföring genom fallstudier av åtta byggnader med solavskärmning

Utifrån listan med 70-talet anläggningar valde projektgruppen gemensamt ut åtta projekt för en erfarenhetsåterföring baserat på: intressant konstruktion, därav flera dynamiska lösningar, samt estetik och arkitektonisk integration. Fyra projekt är nybyggnationer och fyra är renoveringsprojekt. Information söktes genom sökningar på Internet och genom intervjuer med inblandade nyckelaktörer som beställare, arkitekt, förvaltare, och i den mån det var möjligt med brukare. Projekten och de som intervjuats

visas i Tabell 2-2. I två fall, projekt 6 och 8, Alvesta respektive KTH gjordes även besök på plats. Ett enkelt ramverk togs fram mot vilket projekten utvärderades. Ramverket arbetades gemensamt fram inom projektgruppen och fokuserar på fem områden som bedöms i fyra nivåer från dåligt till bra (för detaljer se Bilaga A.4): Energiproduktion, inomhusklimat, synlighet och kommunikation; utseende och arkitektonisk integration; projektering och installation; drift och underhåll.

Tabell 2-2 Projekt och informanter för erfarenhetsåterföringen

Fall	Typ	Byggnad	Intervjupersoner, representanter från
1	Nyproduktion 2007	Oslo operahus Norge	Byggherre/ägare, arkitekt, energikonsult och fasadtillverkaren. Det har varit svårt att få kontakt med fler inblandade. Byggherren ansåg att då solcellerna inte längre fungerar borde projektet inte vara av intresse och de hjälpte oss därför inte vidare. Information kommer också från IEA-SHC Task 41 på internet.
2	Nyproduktion 2007	Örestad gymnasium, Danmark	Energikonsulten som var underkonsult till arkitekten och förvaltaren. Skolan har inte svarat på upprepade försök att nå dem och inte heller arkitekten.
3	Nyproduktion 2004	Potsdam Universitet Tyskland	Enbart arkitekten har medverkat. Förvaltare, byggare, ingenjörer och leverantör av solavskärmningssystemet har kontaktats upprepade gånger, lovat svar men inte gett några.
4	Nyproduktion 2010	Energimidt, Danmark	Enbart en teknikkonsult har svarat. Byggherren har sagt sig villig att medverka men svarar inte, inte heller arkitekten. Information kommer också från IEA-SHC Task 41 från internet och en webartikel https://www.byggeplads.dk/byggeri/domicil/energimidt , av Mikkelsen, nedladdad 1 juli 2017.
5	Renovering 2011 på byggnad från 1980-talet	Umeå Energi huvudkontor Sverige	Enbart projektingenjören på Umeå Energi har svarat liksom leverantören av solsystemet. Umeå Energi representerar både byggherre och brukare. En arkitekt vara bara med initialt.
6	Renovering 2015 av byggnad från 1960-talet	Stadshuset, Alvesta Sverige	Energiansvarig hos byggherren, systemleverantören tillika projektör och 3 brukare.
7	Renovering 2010 av byggnad från 1960-talet	Sjukhuset, Sollefteå Sverige	Energiansvarig hos byggherren, arkitekten och systemleverantören.
8	Renovering 2006 av en byggnad från 1948	KTH entréhall Sverige	Byggherre, arkitekt, förvaltare och driftansvarig. Två grupper med brukare intervjuades vid ett platsbesök 2017.

2.2.4 AIQ modellen- Ett dialogverktyg

Inom projektet har Chalmers utvecklat en modell för att utvärdera arkitektoniska integreringskvaliteter, AIQ-modellen (*Architectural Integration Qualities*), och som fungerar som ett kommunikationsverktyg för estetiska värden med fokus på installation av solavskärmningar med solceller.

Parametrarna i AIQ-modellen stödjer sig på tre huvudkällor där integration av solavskärmningar och framför allt byggnadsintegrerade solceller rent visuellt och

estetiskt står i centrum (Britain, 2006) (Probst & Christian, 2015) (van Noord, 2010). Modellen utformades med hjälp av 4 arkitekter, se Bilaga A.2 för ett exempel på testresultat.

Modellen har testats i en workshop med ELSA gruppen för att undersöka olika yrkesgruppers uppfattningar kring arkitektonisk integration. Workshopen genomfördes i Lund i mars 2016 med 18 deltagare som representerade alla yrkesgrupper från projektgruppen under ledning av Chalmersforskarna (4 av deltagarna). Workshopen bestod av 4 delar:

- 1) en individuell bedömning av arkitektonisk integreringskvalitet på nio utvalda byggnader från den kvantitativa studien beskriven i 2.2.2 och 3.2.2 som presenterades genom ett urval av fotografier (hela byggnaden och detaljer) och genom att tillämpa AIQ-modellen (15 min),
- 2) indelning i grupper utifrån sina yrken (installatörer, kunder, och designers/arkitekter) för en gruppvis bedömning av AIQ (20 min),
- 3) formering av nya, interdisciplinära grupper för ytterligare en gruppvis bedömning (20 min), och
- 4) gemensam reflektion med alla workshopdeltagare kring AIQ-modellen.

Se Bilaga A.2 för de nio exemplen som ingick i utvärderingen. För detaljer om workshopen se (Femenías, Thuvander, Gustafsson, Park, & Kovacs, 2017).

2.3 Produktutveckling, demonstration och studie av solavskärmningar

2.3.1 Utveckling av två nya solavskärmningslösningar

Två av projektets mål - att utveckla minst en ny solavskärmningslösning samt att genomföra minst två solavskärmningsprojekt har uppfyllts genom arbetet med demonstrationsanläggningen på RISE kontor i Borås. Utvecklingsarbetet som har gällt två olika typer av avskärmningar, se avsnitt 3.3.2.1, har genomförts av Solkompaniet, PPAM, ERCO systems, RISE och Vestamatic. Den danska projektpartnern Gaia solar som inledningsvis arbetade med en lösning med vertikala skärmar försattes i konkurs tidigt 2017 varefter PPAM tog sig an uppgiften.

Solkompaniet sökte inledningsvis ett samarbete med det tyska solskydds företaget Warema men insåg så småningom att produkten skulle bli alltför dyr att tillverka. Genom projektpartnern Vestamatic introducerades då solskydds företaget ERCO systems i projektet. De inledde först ett samarbete med Solkompaniet som resulterade i de horisontella avskärmningarna och därefter ett med PPAM där man utvecklade de vertikalt skjutbara luckorna.

Potentialen för produkternas kostnadsreduktion har bedömts baserat på branschföreträdares kunskap och erfarenheter och inbyggd energi och klimatavtryck har uppskattats med hjälp av projektgruppens samlade expertis. Se vidare avsnitt 3.3.1.3 och 3.3.1.4.

2.3.2 Demonstration och studie av solavskärmningar

På RISE ena kontorsbyggnad i Borås har solavskärmningar installerats i fyra olika omgångar i olika utföranden – två sektioner med fasta solcellspaneler och två med rörliga moduler, alla orienterade i samma riktning (Sydväst: ca. 222°, söder = 180°), se Figur 2. Fler bilder och tekniska data redovisas i avsnitt 3.3.2.1.



Figur 2 Solavskärmningsinstallationer på RISE kontor i Borås



Figur 3 Solavskärmningsanläggningen med fast lutning på plan 1 vid RISE kontor i Borås. I förgrunden syns den konventionella avskärmningen byggd på aluminiumlameller.

Den största (och första) anläggningen med fast lutning som ger solavskärmning till kontoren på nedre plan (se Figur 3) har en installerad maxeffekt på 6 kW_p. Installationen som gjordes 2014 gav idén till ELSA-projektet.

2.4 Kommersialisering och vidare tillämpning

Arbetet har omfattat diskussioner med projektets branschföreträdare (solskydd och solet) om hur konceptet ska kunna etableras på marknaden, en enkät till fastighetsbolag och upprättandet av en enkel kalkylmodell för ELSA-produkter. Resultaten av detta och av andra viktiga resultat från projektet har sedan sammanställts i en vägledning till elgenererande solavskärmningar.

2.4.1 Mini-enkät till fastighetsbolag

Som en del i projektet gjordes ett riktat utskick till tre fastighetsbolag inom kontor, butiker och kommunala fastigheter för att undersöka intresset för solavskärmning och

samtida integration av solev-generering. Resultaten från utskicket redovisas i avsnitt 3.4.3.

2.4.2 En guide till elgenererande solavskärmningar

Ett projektmål var att ta fram en guide eller vägledning för att öka acceptans och intresse för elgenererande solavskärmningar. Den primära målgruppen är byggherrar och arkitekter men även entreprenörer inom bygg, solev och solskydd och produktutvecklare ska kunna hitta något matnyttigt i skriften vars innehåll beskrivs i avsnitt 3.4.4. Guiden har tagits fram med stöd av hela projektgruppen.

2.5 Generalisering och samhällsrelevans

2.5.1 Samverkan och innovation

En forskare med bakgrund i industridesign har tilldelats två specifika uppgifter i projektet som båda lösts genom ett angreppssätt kallat följeforskning. Den första uppgiften var att bistå projektledningen och styrgruppen med information om förväntningar, kritik och idéer från projektets partners. Den andra var att analysera processerna och arbetet i gruppen för att försöka dra slutsatser om samverkan och innovation och generalisera dessa till att även gälla andra delar av byggbranschen. Resultatet av arbetet redovisas i avsnitt 3.5.

2.5.2 Designworkshop

Ett första försök att tillämpa ett metodiskt designdrivet innovationsarbete genomfördes vid en workshop i Lund i mars 2016. Projektets partners genomförde där en workshop under ledning av en designbyrå där man tillämpade två olika metodiker för att utforska möjliga solavskärmningsdesigns.

2.5.3 Tävlings för arkitektstudenter Chalmers

Som en del av delprojekt 4 planerades ursprungligen en arkitekttävling med fokus på elgenererande solavskärmningar. Projektgruppen kom dock tidigt fram till att en sådan tävling skulle vara alltför "nischad" och därmed svår att få genomförd i praktiken. På förslag från referensgruppen undersöktes i stället möjligheterna att genomföra en tävling för arkitektstudenter på Chalmers inom ramen för en 7,5 poängskurs "ark 415 Building design lab". Idén gillades av kursledningen som tillsammans med ett flertal ELSA-partners formade en grupp för att planera och genomföra tävlingen som sedan pågick från november 2017 till januari 2018. Mer information om kursen och tävlingen finns i Bilaga A.5.

2.5.4 SOLution, Göteborg

Sent 2015 började RISE och Chalmers Ventures diskutera en projektidé som gick ut på att göra en förstudie för att undersöka möjligheterna att genomföra en internationell innovationstävling med solenergifokus i samband med att Göteborg firar 400 år 2021.

ELSA-projektet började samtidigt få fart och bland annat diskuterades innovation och design, vilket gav oss idén att inom ramen för den planerade förstudien genomföra ett ”pilothon” med fokus på elgenererande solavskärmningar. Göteborg Energi engagerade sig i projektet vilket så småningom ledde fram till att man tog på sig värdskapet för vårt pilotevent. Detta fick därmed en betydligt större omfattning än ursprungligen tänkt, vilket var ovärderligt för förstudien som därigenom fick en mycket starkare förankring i de olika frågeställningar som skulle besvaras. SOLution Göteborg genomfördes under två intensiva dagar i november 2016. Tävlingsdeltagarna, 50 personer fördelade på 11 lag, hade knappt 24 timmar på sig att utveckla sina idéer och förbereda presentation/ pitch av sina bidrag.

Tre utmaningar presenterades för de tävlande:

- Hur kan delningsekonomi eller mikromarknader användas för solenergi?
- Hur kan vi integrera solceller i samhället och stadsmiljön (till exempel med hjälp av solavskärmning, väder- och bullerskydd)?
- Hur kan vi utnyttja, dela och visualisera information om solenergiproduktion/konsumtion?

Resultaten av tävlingen redovisas i avsnitt 3.1.2.1. I avsnitt 3.1.2.2 beskrivs ett av de prisade tävlingsbidragen mer i detalj eftersom det tagits vidare till ett brett samverkansprojekt under RISE ledning-SOL:AR- som syftar till att undersöka förutsättningarna och upprätta en kravspecifikation för ett avancerat visualiseringsverktyg för bland annat solavskärmningar.

3 Resultat

3.1 Projektledning och kommunikation

3.1.1 Kommunikation och informationsspridning

Projektet har kommunicerats av flertalet projektpartners på olika sätt, bland annat via seminarier, konferenser, i en artikel i fackpress, nyhetsbrev och i sociala media. Två konferensbidrag har presenterats under 2017, och en vetenskaplig artikel är sedan 2017 under review, se avsnitt 6.

3.1.2 Spin-off projekt

3.1.2.1 SOLution, Göteborg

Bakgrunden till idéävlingen beskrivs kort i avsnitt 2.5.4. Elva lag presenterade sina bidrag, av vilka ett gällde solavskärmningar, för en sex personer stark jury. Bland bidragen fanns till exempel ett om en ny valuta - Suncoin och ett om att täcka en tankar med solceller för vattenavsaltning till katastrofhärdar. Förslagen som slutligen prisades var mer jordnära och summeras kort i Tabell 3-1.

Tabell 3-1 De tre största priserna i SOLution Göteborg, vilka som fick dem och varför

Pris	Juryns motivering	Lag och Idé
Chalmers Ventures och Climate-KIC:s Greenhouse pris (5000 € och coaching)	En mycket bra pitch från ett energifyllt team. Vi gillar att fler konsumenter motiveras att använda solceller. Det finns en tydlig affärsmodell och vi ser stora möjligheter att nå ut med budskapet till en stor publik via t.ex. sociala medier.	Solcellskollen (Studenter och yrkesverksamma) En webbaserad marknadsplats där husägare enkelt kan räkna ut hur lönsamt det är att sätta solceller på sitt tak samt få hjälp att få in offerter från olika rekommenderade installatörer
Göteborg Energi Miljöfonds pris (25 000 kr)	En inspirerande idé där laget vill skapa en modern, digital mötesplats och etablera en ny affärsmodell för aktörer med helt olika förutsättningar. Det är i mötet mellan de som har tillgång till lämpliga ytor och de som brinner för ökad andel solel men inte har tillgång till lämpliga ytor, det kommer att hända. Det är en idé som fonden gärna vill ge möjlighet till fortsatt utveckling	PARC (Studenter) PARC avser att erbjuda en marknadsplats där t.ex. personer som inte har tillgång till ett eget hustak för att sätta upp solceller kan hyra in sig på någon annans tak
SP/ RISE projektutvecklingspris	En lösning som kan bidra till hållbara byggnader, den största användaren av energi. Lösningen stödjer den typ av	Ett soligt Göteborg (Yrkesverksamma: Fastighetsägare, arkitekt,

Pris	Juryns motivering	Lag och Idé
(40 h expertstöd)	integrerade lösningar som gör det möjligt för solenergi att hitta en större marknad. SP/ RISE:s två pågående forskningsprojekt "Soligt o Smart" och "Solavskärmningar i praktiken" ger ökade möjligheter att ta iden vidare både tekniskt och affärsmässigt.	solelentreprenör) En webbtjänst med vars hjälp en fastighetsägare- eller förvaltare kan göra en snabbedömning av en el-genererande solavskärmning på sin fasad: Kostnad, besparing, utseende

Förslaget som välförtjänt belönades med RISE projektutvecklingspris handlade om att kunna visualisera såväl estetik som mått på besparingspotential för fastighetsägare med intresse för utvändiga solavskärmningar och, generellt sett, för solelinstallationer på fasader. Lagets sammansättning - en fastighetsägare, en arkitekt och en solelentreprenör utgjorde också en mycket bra plattform för att tillsammans med RISE ta idén vidare. Ett drygt år senare fanns finansieringen för projektet kallat "SOL:AR" på plats med stöd från Formas och Västra Götalandsregionen. Förstudien som resulterade i SOLution Göteborg har redovisats i (Kovacs, 2017).

3.1.2.2 Beställarstöd för Solenergiinvesteringar genom avancerad visualisering (SOL:AR)

Projektet som alltså kommit till som ett resultat av ELSA-projektet och idétävlingen SOLution Göteborg leds av RISE som i samverkan med forskare, energikonsulter, arkitekter, fastighetsägare, solenergi-entreprenörer och jurister ska undersöka förutsättningarna för ett digitalt visualiseringsverktyg. Motiveringen till projektet är att solenergi- och solavskärmningslösningar har stor potential att minska behovet av köpt energi i både nya och befintliga fastigheter. Pågående projekt och samarbeten inom området visar dock på att barriärerna måste sänkas för att få fastighetsägare och andra potentiella beställare att våga satsa. Digitaliseringen av branschen öppnar upp för nya digitala verktyg som skulle kunna förenkla processen från att väcka tidigt intresse för solenergilösningar till installation och uppföljning.

Projektet skall undersöka möjligheterna med ett digitalt visualiseringsverktyg där beställare av solavskärmningar och solenergilösningar med stöd av avancerad bildbehandlings- och visualiseringsteknik samt tekniska och ekonomiska beräkningar ska kunna visualisera användningen av olika existerande lösningar på marknaden. Både hur de skulle se ut estetiskt på en befintlig fasad eller i en stadsmiljö och vilken energiproduktion/ besparing de skulle kunna ge utifrån en viss placering. Ett sådant verktyg har potential både att effektivisera processen från inspiration till installation, samt skapa nya möjligheter och kontaktytor för nya aktörskonstellationer inom solenergi- och byggbranschen.

Projektets huvudmål är att presentera en kravspecifikation för ett digitalt verktyg och en aktörskonstellation som kan realisera det. Läs mer om projektet på www.smartbuilt.se/projekt/organisation-och-juridik/solenergiinvesteringar/.

3.1.3 Framtida behov och satsningar

Nätverket som etablerats genom ELSA-projektet utgör nu, tillsammans med den samlade kunskap och de erfarenheter som byggts upp, en bra bas för fortsatt arbete med solavskärmningar i allmänhet och naturligtvis också med elgenererande avskärmningar. Som tidigare nämnts så förutses behovet av solavskärmning att öka rejält och för att kunna möta detta med smarta, effektiva och estetiskt tilltalande produkter har projektet identifierat ett flertal strategiska behov:

- Fortsatt arbete med att hålla igång en dialog mellan branscherna och uppmuntra nya samarbeten mellan solel- o solskyddsföretag
- Mer estetiskt tilltalande produkter med högre arkitektonisk integration, särskilt för elgenererande solavskärmningar
- Starkare testresurser för att bedöma funktion, prestanda och kvalitet hos olika produkter
- Bättre beräkningsresurser för att räkna på kombinationen solceller och solavskärmningar. Möjligheter att även räkna på solceller i light-versionen av ESBO och att några generiska ELSA-produkter snabbt kommer in i produktbiblioteket. Möjlighet att beräkna effekten på elutbytet av intern skuggning i en ELSA-produkt

RISE målsättning är att i samverkan med ledande partners från ELSA-projektet och andra strategiskt viktiga aktörer analysera dessa behov vidare för att i ett nästa steg kunna realisera lämpliga resurser. På kort sikt är det också angeläget att ta vara på det moment som projektet skapat och försöka initiera nya industrisamarbeten kring ELSA-produkter.

3.2 Kunskapsöversikt, erfarenhetsåterföring och dialog

3.2.1 Kunskapsöversikt

Arbetet med kunskapsöversikten har resulterat i en vetenskaplig artikel, som har skickats in till tidskriften *Renewable & Sustainable Energy Reviews* (Dubois & Haav, submitted).

Kunskapsöversikten visar att de flesta undersökningarna inom området har utförts i Asien och Europa och att många studier bygger på datasimuleringar. Endast ett fåtal fält- eller laboratorieundersökningar baserade på mätning hittades. Resultaten visar också att de flesta studier fokuserar på elproduktion från solcells-systemet eller minskning av kylbelastningen. Få studier diskuterar solavskärmningars effekter på dagsljus och belysning, och ännu färre anser att bländning eller utsikt genom fönster är viktiga parametrar att studera.

Internationell litteratur understryker att ett avgörande hinder för en bredare implementering av solcellsinstallationer kan relateras till komponenternas visuella uttryck och hur bra solcells-systemen kan integreras i den övergripande byggnadsdesignen. Arkitekten, som är en nyckelaktör i de tidiga skeden i designprocessen, kommer att vara ovillig att integrera tekniken om det visuella uttrycket och möjligheterna till en estetiskt tilltalande integration i arkitekturen inte kan uppnås.

Utifrån ett arkitektoniskt perspektiv så finns det inga solavskärmningstyper som föredras eller ogillas utan litteraturen lyfter fram betydelsen av ett helhetsperspektiv, dvs. att solcells-systemet bör samspela med byggnadens arkitektoniska utformning i sin helhet och inte bara den berörda fasaden eller byggdelen. Fasadmonterade solavskärmningar bör alltså proportioneras i enlighet med hela byggnaden för att inte dominera eller minska arkitektoniska värden (3XN_GXN, 2014). Viktiga aspekter att beakta är bland annat installationernas position och dimension; att synliga materialens textur och färg(er) är kompatibla med byggnadens material, färger och texturer som de interagerar med; modulstorlek och form bör vara kompatibla med byggnadens komposition, rytm och dimensionerna av de övriga fasadelementen; och hur solcellsmodulerna är ihopsatta, eftersom olika sammanfogningstyper understryker solcellssystemets modulära nät i förhållande till byggnaden (Munari Probst & Roecker, 2012). Orientering och lutning påverkar huruvida solcellsinstallationen kommer att ha ett "positivt estetiskt utseende" på byggnaden. Förlusterna och i vilken utsträckning dessa kan vara acceptabla behöver bedömas i varje enskilt fall för att hitta den bästa balansen mellan installerad effekt, energiproduktion och positivt estetiskt utseende (Zomer, 2013).

Integreringen av solenergi i byggnader kan ökas med rätt information till rätt aktör vid rätt tidpunkt (Kanters & Wall, 2016). En annan, relaterad aspekt som nämns i litteraturen är kommunikationen mellan de olika aktörerna. Arkitekter och ingenjörer brukar använda olika språk när de pratar om solcellsinstallationen. Arkitekter kommunicerar främst med visuella bilder medan ingenjörer framförallt brukar interagera med kvantifierade termer. För att underlätta kommunikationen argumenteras för en "visuell konsekvensbedömning" (Xu & Wittkopf, 2013)

3.2.1 Kvantitativ erfarenhetsåterföring - sammanställning av exempelprojekt

Resultatet av översikten presenteras som en enkel databas i en Excel-fil med 69 exempelprojekt byggda mellan åren 1999 och 2015. Varje projekt redovisas med bild och data, se även bilaga A.1. Databasen är open access och tillgänglig via Chalmers bibliotekets hemsida: <https://research.chalmers.se/publication/504751> Figur 4 visar en skärmdump. Sammanställningen har tjänat ett flertal syften:

- Att informera och inspirera om de olika solavskärmningslösningar som finns på marknaden, i första hand som kombinationer med solceller, men även konventionella avskärmningar ingår
- Som underlag för en intervjustudie för att få en djupare förståelse kring processen utifrån olika aktörers perspektiv (se avsnitt 3.2.2)
- För utveckling av en konceptuell modell för arkitektonisk integreringskvalitet
- Som underlag för den analys som ledde fram till valet av två olika grundlösningar att ta vidare till produktutvecklingsarbetet

1B Erfarenhetsåterbärning									
NUMMER	NAMN	HUSTYP	NYBYGGNAD/ RENOVERING	STAD	LAND	ÅR FÄRDIG STÅL	TYP AV SOLAVSKÄRMNING	DYNAMISK	TYP
15	Glyngøre Skola	Skola	Renovering	Roslev	Danmark	?	Utvändig, Markis, Skiva	nej	tunntilm
16	SKIVE NY RÅDHUS	Publik	Ny	Skive	Danmark	2011	Utvändig, Långs fasad, Lamellar	nej	monokrist
17	Taastrup Theater	Publik	Ny	Taastrup	Danmark	2010	Utvändig, Kombinerad	nej	no
18	Campus Kolding	Skola	Ny	Kolding	Danmark	2015	Utvändig, Vertikala	roterbar (vertikal axel)	nej
19	solar pavilion	Publik	Ny	Oslo	Norge	2011	Integrerad i glas, Fasad	nej	tunntilm
20	Q Cells Headquarter	Kontor	Ny	Worms	Tyskland	2010	Utvändig, Långs fasad, Skiva	Skjutbar sidled	?
21	Potsdam Universitet, institutionen för	Publik	Ny	Potsdam	Tyskland	2008	Utvändig, Långs fasad, Skiva	Vikbar horisontellt	nej
22	Orestad Gymnasium	Skola	Ny	Örestad	Sverige	2007	Utvändig, Vertikala	Roterbar (vertikal axel)	nej
23	Q1 ThyssenKrupp Quartier	Kontor	Ny	Berlin	Tyskland	2010	Utvändig, vertikala	Roterbar 90° (vertikal axel)	nej
24	Berlin Central Station	Publik	Ny	Berlin	Tyskland	2002	Integrerad i glas, Tak	nej	?
25	Headquarter Solon	Kontor	Ny	Oslo	Norge	2008	Utvändig, Förlängning av tak	nej	?
26	Energimidt	Kontor	Ny	Silkeborg	Danmark	2011	Utvändig, Långs fasad, Skiva +	Skjutbar sidled	tunntilm, k
27	Maersk	Kontor	Ny	Copenhagen	Danmark	2014	Utvändig, Långs fasad, Lamellar	nej	nej
28	KTH	Skola	Ny	KTH	Sverige	2006	Integrerad i glas, Fasad	nej	Kristallina
29	Nataurum vattenrike	Publik	Ny	Oslo	Norge	2010	Utvändig, Förlängning av tak	nej	Kristallina
30	Sunballons	Publik	Temporär	Stockholm	Sverige	2009	Invändig	blåses upp vid sol	nej (men
31	Tobias Grau production building	Kontor / Lager	Ny	Rellingen	Tyskland	2001	Integrerad i glas, Fasad	nej	monokrist
32	Living Equia	Bostad	Ny	Berlin	Tyskland	2010	Utvändig, Vertikala	Vikbar vertikalt	tunntilm

Figur 4 Skärmdump från ELSA-databasen. Sammanställning av byggda exempel med el-genererande solavskärmningar/solavskärmningar med potential att integrera solceller

3.2.2 Kvalitativ erfarenhetsåterföring genom fallstudier av åtta byggnader med solavskärmning

Nedan sammanfattas resultaten kortfattat. Mer information återfinns i Bilaga A.4. Projekt 6 – 8 finns även beskrivna i ett konferenspaper (Femenias, Thuvander, & Kovacs, 2017).

			
1. Oslo operahus, nybyggnad (2007)	2. Örestad gymnasium, Köpenhamn, Nybyggnad (2007)	3. Potsdam Universitet, Tyskland Nybyggnad (2008)	4. Energimidt, Silkeborg, Danmark Nybyggnad (2011)
			
5. Umeå Energi huvudkontor Renovering (2015)	6. KTH, passage mellan hörsalar Renovering (2006)	7. Sollefteå sjukhus Renovering (2010)	8. Alvesta kommunhus Renovering (2015)

Figur 5 Översikt av de åtta system som varit föremål för fallstudier. Mer information i bilaga A.4

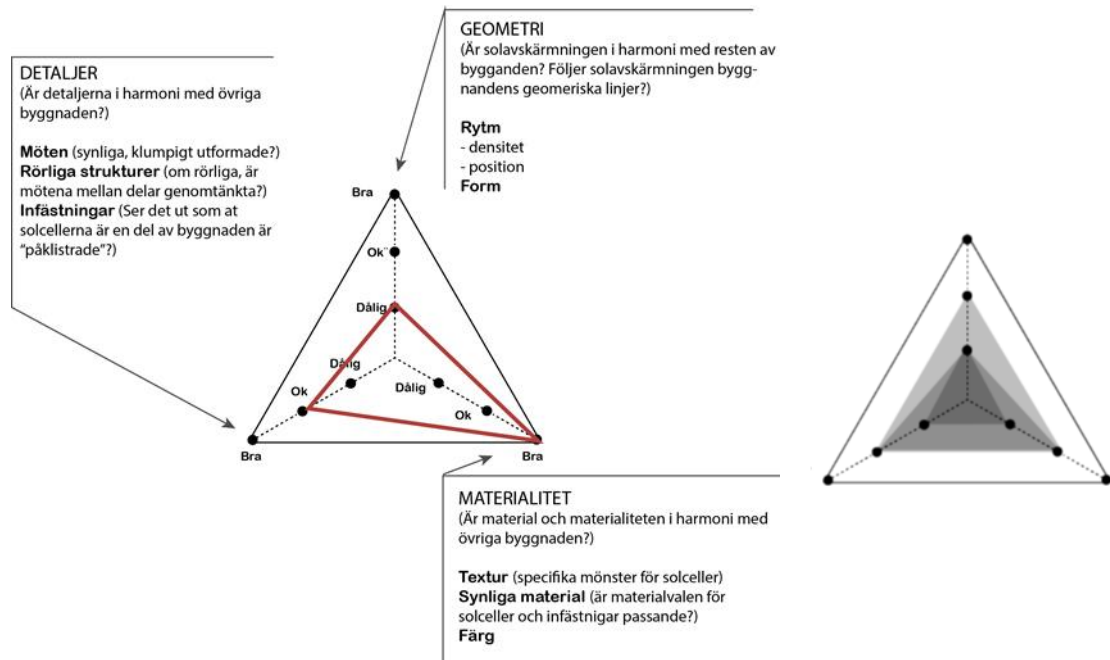
Fallen 1 – 4 liksom 6 är högprofilprojekt med specialdesignade lösningar för solavskärmning. De är alla välintegrerade och en del i det arkitektoniska uttrycket av

byggnaden. Fall 2 och 4 har inte solceller men en dynamisk solavskärmning som varit intressant att studera. Estetik och varumärkesprofilering har varit viktigt i de fem fallen och har i fall 1, 2 och 6 satts före en bra funktion. I fall 1 fungerar inte längre solcellerna och de verkar vara svåra att underhålla och reparera. I fall 2, som inte har solceller, fungerar inte den dynamiska solavskärmningen längre och har fått ersättas med gardiner. I fall 6 var det kanske aldrig tänkt att solcellerna skulle producera mycket el eftersom de inte har en optimal orientering. Men de är vackra, signalerar teknik och ger ett fint ljusspel inomhus. Fall 4 har en dynamisk lösning som också haft en del problem med underhåll och skötsel men som verkar leverera el. En konsult i det fallet skulle rekommendera en fast installation framför en dynamisk. Fall 3 är inte elproducerande. Dynamiken verkar i det fallet fungera men konstruktören skulle inte rekommendera att kombinera systemet med solceller.

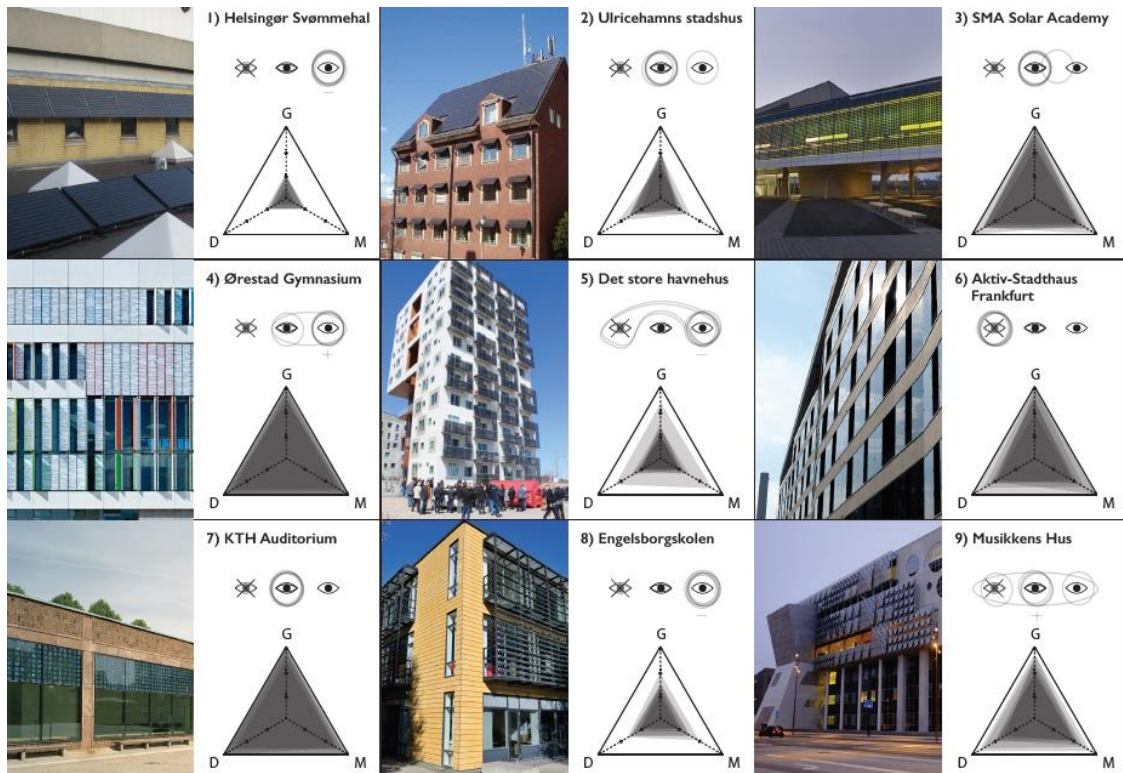
De mest effektiva systemen för att producera el verkar vara de enkla och fasta lösningarna som i fall 5, 7 och 8. De är enkla i underhåll, levererar el och ger en relativt väl fungerande solavskärmning. Eventuellt fungerar de bättre på lägre våningsplan men behöver komplement med persienn eller gardin på de över planen. I vår workshop fick den typen av ”kepslösning” som används i fall 5 och 8 väldigt låga betyg för estetiken. I fall 8 är det några brukare som påpekar att lösningen passar dåligt på en befintlig byggnad. Högst betyg för fall 7 som har en sorts fasta lameller. Den är estetiskt mer tilltalande och verkar ha lågt underhåll och leverera en del el. Gemensamt för alla elgenererande system, kepslösningar såväl som mer avancerade i design, är höga kostnader vilket inneburit att de sannolikt aldrig blivit av om det inte varit för att man kunnat utnyttja ett investeringsstöd för solceller vid finansieringen av dem.

3.2.3 AIQ modellen- Ett dialogverktyg

AIQ-modellen visualiseras som en triangel där varje hörn representerar en av följande aspekter: geometri, materialitet och detaljer. Baserat på bedömning av dessa aspekter utvärderas huruvida solavskärmningssystemet är välintegrerat i den övergripande byggnadsdesignen. Modellen har tre betygsnivåer: dålig, ok och bra (Figur 5). Geometri bedömer synlinjer, form, rytm, densitet och position. Materialitet bedömer texturer, mönster, färger och reflektioner. Detaljering bedömer strukturelement, storlek och precision i design och produktion. Vidare utvärderas synligheten hos systemet med hjälp av en ögonsymbol som utvärderar om solavskärmningssystemet är dominerande, synligt eller osynligt. 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 och ger på så sätt en sammantagen uppfattning om projektets AIQ (Figur 5). Resultaten från workshopen visar en stor konsensus bland de olika yrkena när man utvärderar den framgångsrika arkitektoniska integrationen av energiproducerande solavskärmningar. Figur 6 visar resultat från de gruppvisa bedömningarna i del 2 och 3, se 2.2.4. Modellen och material från AIQ workshopen har publicerats i en konferensartikel (Femenías, Thuvander, Gustafsson, Park, & Kovacs, 2017).



Figur 5 AIQ-modellen med triangeln och synlighetsögat, "Tangibility eye", (t.h.) röda triangeln markerar bedömning av en person, (t.v.) överlagring av flera bedömningar med semi-transparenta lager ger en helhetsbedömning



Figur 6 Aggregerade resultat från gruppvisa bedömningar i del 2 och 3

3.3 Produktutveckling, demonstration och studie av solavskärmningar

3.3.1 Erfarenheter och resultat från produktutveckling

Två generiskt olika grundtyper av solavskärmningar har tagits fram i projektet. se Tabell 3-2. Här redogörs kort för hur arbetet gått till och vilka resonemang som legat bakom de val som har gjorts.

3.3.1.1 Marknadsaktörer

Projektets resultat har i stort bekräftat hypotesen att elgenererande solavskärmningar är en intressant kombinationslösning som bör kunna få en tydlig plats i utbudet av solskyddslösningar. Det har samtidigt visats att det handlar om en relativt komplex produkt som, för att verkligen bli stor på marknaden kräver nya typer av samarbeten mellan flera olika kompetenser och ett starkt fokus på design. Dessutom krävs en branschaktör som målmedvetet satsar på att utveckla denna nisch.

Solskyddsbranschen är uppdelad på ett fåtal stora företag som dominerar marknaden för utvändiga solskydd och en mängd mindre företag, ofta familjeföretag, som arbetar med gardiner och jalousier för invändiga solskydd. Båda dessa grupper har väl etablerade marknader och brister antingen i intresse eller möjlighet att arbeta med innovation och design av den typ som krävs här.

Solelbranschen å andra sidan är inne i en oerhört intensiv utvecklingsfas till följd av sjunkande priser och stärkta incitament genom subventioner och förenklade regelverk och har därmed mer än fullt upp med att leverera standardlösningar för tak och markplacerade anläggningar. En kvalificerad bedömning från projektgruppen är därför att de nya produkterna kommer att växa fram ur samarbeten liknande de som kommit till genom ELSA-projektet.

3.3.1.2 Teknikval

I båda produkterna som tagits fram är grundkomponenten en konventionell solcellsmodul av kristallint kisel i standardstorlek vilket motsvarar 1,6 gånger 1 meter eller 1,9 gånger 1 meter. I vårt fall har detta fungerat relativt bra men generellt sett kan det vara en besvärlig begränsning eftersom storleken på avskärmningarna ofta behöver anpassas till fönstrens höjd och bredd för att avskärmningen ska bli effektiv och estetiskt kompatibel med byggnaden. Vissa avsteg från standardstorlekar på modulerna är som sagt alltid möjliga men kan innebära avsevärda fördyringar.

En fast och två dynamiska avskärmningar har tagits fram där den fasta kan sägas representera state of the art för elgenererande solavskärmningar men är en utveckling av Solkompaniets tidigare installationer av samma typ. De dynamiska/ rörliga lösningarna är ett svar på solskyddsexpertisens samlade rekommendation om att en

riktigt effektiv solavskärmning behöver vara dynamisk. I Solkompaniets fall bygger den dynamiska på samma grundkonstruktion som den fasta vilket är tänkt att underlätta eventuell vidare utveckling och säljkommunikation. I PPAMs fall är en fast avskärmning av denna typen inget alternativ eftersom den stänger ute det mesta av dagsljuset. En tunnfilmpanel skulle visserligen ha varit ett bättre val med avseende på brukarupplevelsen för denna avskärmning, se vidare avsnitt 3.3.2.8, men inte heller den ett alternativ för en fast avskärmning. Tunnfilm valdes dels bort på grund av svårigheter att hitta en lämplig leverantör och dels för att PPAM valde att prioritera en högre elproduktion framför solskyddsfunktionen i detta fall.

3.3.1.3 Inbyggd energi och klimatavtryck

Solcellernas miljöpåverkan är inte försumbar och deras klimatnytta i form av minskade utsläpp av växthusgaser när el från solceller ersätter annan elproduktion är inte självklar utan beror av komplexa samband mellan en rad olika faktorer. Energiåterbetalningstiden, dvs den tid det tar för en solcellsmodul att producera lika mycket energi som gått åt för att tillverka den ligger, beroende på vilken teknik man pratar om, i intervallet 1–2 år. För en svensk solcellsanläggning räknar man med en energiåterbetalningstid på högst 2–3 år (ISE, 2017). På samma sätt som för klimatavtrycket finns här fortfarande en stor potential för att korta dessa tider genom effektivare tillverkning av i första hand cellerna. Klimatavtrycket i form av utsläpp av växthusgaser är lågt i jämförelse med de flesta andra elproduktionsformer och avtrycket minskar dessutom i takt med att allt effektivare tillverkningsprocesser för solceller drivs med en allt större andel förnybar el. Det genomsnittliga klimatavtrycket för en solcellsanläggning i Sverige uppskattas till mellan 28 och 35 g koldioxidekvivalenter (CO₂e) per kWh beroende på tillverkningsprocess och ursprunget för den elkraft som använts i tillverkningen. Helt nya siffror visar dock att det i praktiken kan vara så lågt som 20 g CO₂e/kWh (Dalenbäck, Lindahl, & Löwenhielm, 2018). Polykristallint kisel resulterar i ett lägre avtryck än monokristallint. Siffran kan jämföras med motsvarande för nordisk elmix på 125 g CO₂e/kWh (Martinsson, Gode, Arnell, & Höglund, 2012).

En konventionell solavskärmning är generellt sett betydligt mindre energikrävande att producera och energibehovet kommer nästan uteslutande från det aluminium som ingår i de allra flesta avskärmningar. För primärproduktion går det åt cirka 14,5 kWh per kg aluminium vilket med motsvarande siffra på CO₂ utsläpp för europeisk produktion innebär cirka 6 kg CO₂/kg Al (Springer). Dock återvinns över 70% av den aluminium vi använder, vilket drastiskt minskar energiåtgången och tillika CO₂ utsläppen (SCB, 1999). För jämförelse antas här cirka 2 kg CO₂/kg för den aluminium vi använder. Med siffrorna på energibesparing från avsnitt 3.4.1 och antagandet om ett genomsnittligt aluminiuminnehåll i avskärmningen på 2,5 kg per meter fasad ger en motsvarande kalkyl att energin från tillverkningen är insparad efter cirka 0,5 år. Är aluminiumet tillverkat i Norge blir siffran avsevärt lägre, är det tillverkat i Kina blir den högre.

I den kombinerade produkten kan både producerad energi från solcellerna och inbesparad energi från solavskärmningen tillgodoräknas för att täcka ett energibehov från tillverkningen som motsvarar enbart solcellsdelens behov. Avskärmningsfunktionen ger därmed ett litet men positivt bidrag till solcellernas miljöpåverkanskalkyl.

3.3.1.4 Potential för kostnadsreduktion genom massproduktion och standardisering

Som redan nämnts i samband med teknikvalen så är solcellsmoduler i standardstorlekar en grundförutsättning för att priset på elgenererande solavskärmningar ska kunna hållas nere. Bortsett från detta har vi inte kunnat identifiera några ytterligare möjligheter till sänkta kostnader genom standardisering av ingående komponenter. Däremot är det uppenbart att det, i synnerhet för de dynamiska avskärmningarna som tagits fram, finns potential för kraftigt sänkta kostnader genom massproduktion.

3.3.2 Resultat från installation och utvärdering av demonstrationsanläggning

Här redovisas utförandet av demonstrationsanläggningen på RISE kontorsbyggnad i Borås. Två olika grundtyper av elgenererande solavskärmningar har installerats horisontella skärmar ovanför fönstren och vertikala skärmar framför fönstren. Var grundtyp har tre olika utföranden, se Tabell 3-2. Resultaten av de utvärderingar som gjorts med avseende på driftsförhållanden, brukarerfarenheter och prestanda presenteras också liksom sammanfattande råd kring god design av elgenererande solavskärmningar. En enkel ekonomisk analys följer i avsnitt 3.4.

3.3.2.1 Demonstrationsanläggningens utförande

Den första solavskärmningen uppbyggd av solcellsmoduler, med en topp effekt på 6,5 kW, installerades på RISE kontorsbyggnad i Borås 2014, se Figur 7. 2017 installerades ytterligare två anläggningar för delar av kontoren på det övre planet – en variant med fasta moduler i 40° lutning mot horisontalplanet och en där panelerna växlar mellan två lägen från 22 till 58 graders lutning när illuminansen överstiger 200 klux och understiger 150 klux, motsvarande 175 respektive 130 W/m², se Figur 8. De två senare installationerna är gjorda bredvid varandra med samma typ av moduler och med samma systemstorlek. En viss inbördes skuggning tidig morgon och sen kväll har inte kunnat undvikas liksom en viss skuggning från takutsprånget när solen stått högt på himlen. Dessa skillnader i skuggningsförhållanden har dock haft en förhållandevis liten inverkan på energiutbytet jämfört med skillnaderna i lutning där den fasta avskärmningen haft en mer optimal lutning med avseende på elproduktion över året. Det rörliga solskyddet ger både ökat dagsljusinsläpp vid mulet väder och bättre avskärmning vid lågt stående sol jämfört med den fasta installationen. Specifikationer för installationerna ges i Tabell 3-2.



Figur 7. Solavskärmningen på bottenplanet vid RISE kontor i Borås har en topp effekt på 6,5 kW. Av bilden framgår hur intern skuggning från en avskärmning till en annan i vissa lägen kan ha väldigt stor inverkan på elproduktionsförmågan hos en elgenererande solavskärmning.



Figur 8 Solavskärmning på plan 2 vid RISE kontor i Borås. Fasta skärmar med solcellsmoduler i 40 graders lutning till vänster i bild och med rörliga moduler i 22 alternativt 58 graders lutning till höger. Längst till vänster den ursprungliga avskärmningen med aluminiumlameller, utan solceller.

Ytterligare en anläggning, nu med vertikalt monterade moduler, driftsattes 2018. Skärmarna är reglerbara i höjdlängd nerifrån och upp (se Figur 9 och Figur 13 till Figur 15) och utgör solavskärmning för kontoren på plan 2, se markering längst till höger i Figur 2. Modulerna är monterade två och två där varje enskilt par kan regleras inifrån kontoret via fjärrstyrning. Dessa avskärmningar skiljer sig i utformning genom att de använder olika typer av solcellsmoduler, se specifikationerna i Tabell 3-2.



Figur 9 Vertikala moduler för solavskärmning monterade på plan 2 vid RISE kontor i Borås. Från vänster till höger: Onyxium 2*290 W_p vit polymerbaksida (fönster 1 o 2 från vänster), Onyxium 2*195 W_p transparent polymerbaksida (fönster 3), Transparium 2*310 W_p transparent glas/glas-modul (fönster 4)

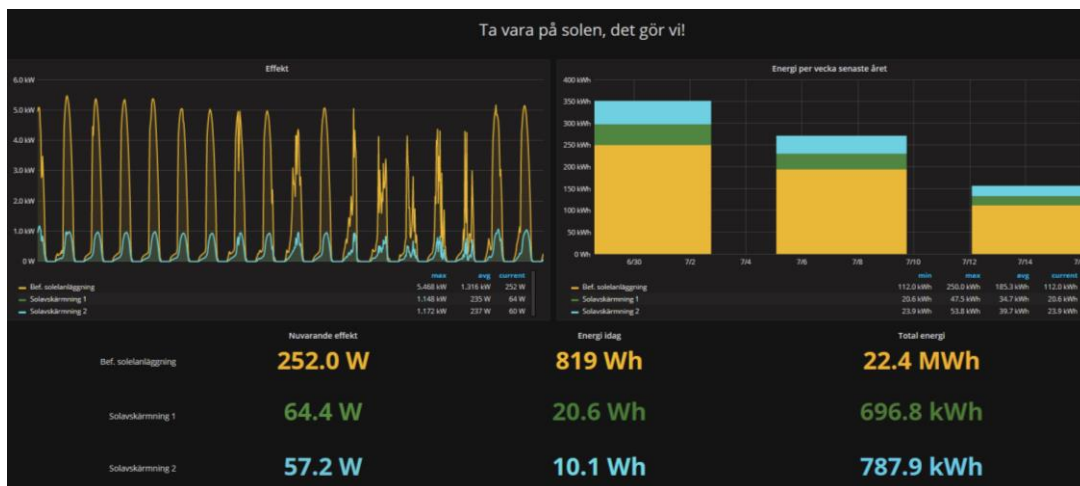
Tabell 3-2 Sammanställning av installerade solavskärmningssystem på RISE kontor i Borås

Installation	Moduler	Lutning ¹	Effekt, växelriktare	Övrigt
Fasta moduler, plan 1 (Figur 7)	26 st., Mono-Si, 250 W _p Glas/ transparent tedlar (Totalt 6,5 kW _p)	45°	6 000 W	TIGO- optimerare på de åtta vertikalt monterade modulerna
Fasta moduler, plan 2 (Figur 8) Solkompaniet	6 st., Mono-Si, 285 W _p Glas/ svart tedlar (totalt 1710 W _p)	40°	1 500 W	
Rörliga moduler, plan 2 (Figur 8) Solkompaniet	6 st., Mono-Si, 285W _p Glas/ svart tedlar (totalt 1710 W _p)	22 eller 58°	1 500 W	
Vertikala skärmar, plan 2 (Figur 9) PPAM	2 st. Mono-Si, 60-dioder, 290 W _p , Glas/ vit tedlar 2 st. Mono-Si, 290 W _p , vit baksida Glas/ vit tedlar 2 st. Mono-Si, 195 W _p Glas/ transparent tedlar 2st. Mono-Si, 310 W _p Glas/ glas	90°	2 500 W	

I visualiseringssyfte sammanställs den generande effekten och ackumulerad energi från tre av anläggningarna² och redovisas på en bildskärm i entrén till hus 14 (Energiteknik), se Figur 10. Datainsamlingen gör det även möjligt att följa upp prestandan för respektive system.

¹ Från horisontalplanet (0° = horisontell montering, 90° = vertikal montering)

² Den fjärde anläggningen med vertikala moduler är på gång att inkluderas



Figur 10 Visualisering av effekt och ackumulerad energi från tre av de fyra solavskärmningarna på RISE kontor i Borås

3.3.2.2 Praktiska driftserfarenheter



Figur 11 Snö som samlas på solavskärmningarna vållade en del bekymmer under den gångna vintern

Trots den relativt korta tid som de nya solavskärmningarna varit i drift har de bidragit med flera viktiga erfarenheter. Den första framgång tydligt av Figur 7 där den nedre raden solavskärmningar nästan är helt skuggad. I vårt fall endast under en kort stund på förmiddagen men vid olämplig utformning kan skuggning inom en avskärmning eller mellan olika avskärmningar ge stora bortfall i elproduktionen. Mer komplexa installationer med flera rader behöver därför analyseras med ett lämpligt simuleringsverktyg för att man i möjligaste mån ska kunna undvika detta. Stränglayouten behöver planeras noga och eventuellt kan användning av moduloptimerare vara aktuell för att hantera skuggningar.

Av Figur 12 framgår delvis hur vi på ett påtagligt sätt blev uppmärksammade på en annan utmaning med avskärmningarna. När solen till sist tittade fram efter de första snöfallen för vintern gick de rörliga panelerna ner i sitt nedre läge samtidigt som solstrålningen värmdes glaset i modulen som snabbt släppte ifrån sig hela sin last av snö. Samma sak gäller de fasta skärmarna som dock oftast inte släpper hela sin last på en gång vid töväder. Samma problematik gäller för övrigt även en konventionell avskärmning som den i förgrunden eller ett olämpligt utformat takutsprång som det högst upp på bilden. Detta måste naturligtvis hanteras på lämpligt sätt för att människor eller egendom inte ska komma till skada och någon färdig lösning finns ännu inte för demo-installationen. Ett mothåll i framkant av modulerna kan möjligen lösa problemet men riskerar i stället att leda till problem med frostsprängning av modulramen. En modifierad rörelse för den rörliga installationen som gör att modulerna i uppfällt läge går upp till i stort sett vertikala position kan vara en lösning som dock kräver mer utrymme ovanför fönstret.

3.3.2.3 Brukarupplevelse

Efter att enkäten testats i projektgruppen kunde vi konstatera att det är mycket svårt att ge ett adekvat omdöme om en enskild avskärmnings funktioner som exempelvis dagsljusavskärmning respektive -insläpp, utsikt med mera, ens vid ett enstaka tillfälle. Dessutom samverkar avskärmningen mycket komplext med byggnadens orientering, med variationer i väderlek, tid dagen och tid på året vilket, sammantaget med antalet olika produkter att utvärdera, ledde till att enkäten blev väldigt omfattande och komplex.

Slutsatsen blir därför att frågor kring kvalitet/ prestanda är alltför komplexa för att det ska vara meningsfullt att försöka kvantifiera dem med hjälp av försökspersoner. Se vidare avsnitt 3.1.3 om framtida behov och satsningar. Syftet med enkäten har följaktligen avgränsats till att samla idéer om hur produkternas design kan utvecklas för att de ska uppfattas som estetiskt tilltalande, sett både inifrån kontoren och utifrån. Designen kan även ha stor påverkan ljusbilden inomhus som ska vara tilltalande och funktionell varför tankar och idéer om detta också har varit intressanta att ta del av.



Figur 12 Den ordinarie solavskärmningen på RISE kontorsbyggnader består av aluminiumlameller i ett horisontellt och vertikalt arrangemang. Utsikt från sittande och stående vid skrivbordet

I bildserien, Figur 13 till och med Figur 18 görs ett försök att förmedla hur de olika avskärmningarna uppfattas från insidan. För tydlighetens skull finns även motsvarande avskärmning sedd från utsidan med längst till höger i bilderna. Projektets samlade erfarenheter och råd kring design av elgenererande solavskärmningar redovisas i avsnitt 3.3.2.6 till och med 3.3.2.8.

För de vertikala skärmarna föredrog man moduler med vit polymerbaksida framför transparent med avseende på utseendet inifrån. Helst hade man sett en helvit baksida då de mörkare partierna som cellerna ger upphov till gör hela rummet mörkare, se Figur 15. Sett från utsidan föredrog flertalet transparenta modulbaksidor. De horisontella skärmarna föredrogs överlag framför de vertikala, både estetiskt och funktionsmässigt, men det fanns undantag bland svaren. Man bör dessutom ha i åtanke att utformningen av de senare inneburit två stora kompromisser som inverkat negativt på både estetik och

solskyddsfunktion. Med tunnfilmssolceller i glas-glasmoduler som rört sig uppifrån-och-ned skulle de troligen ha bedömts mycket mer positivt.

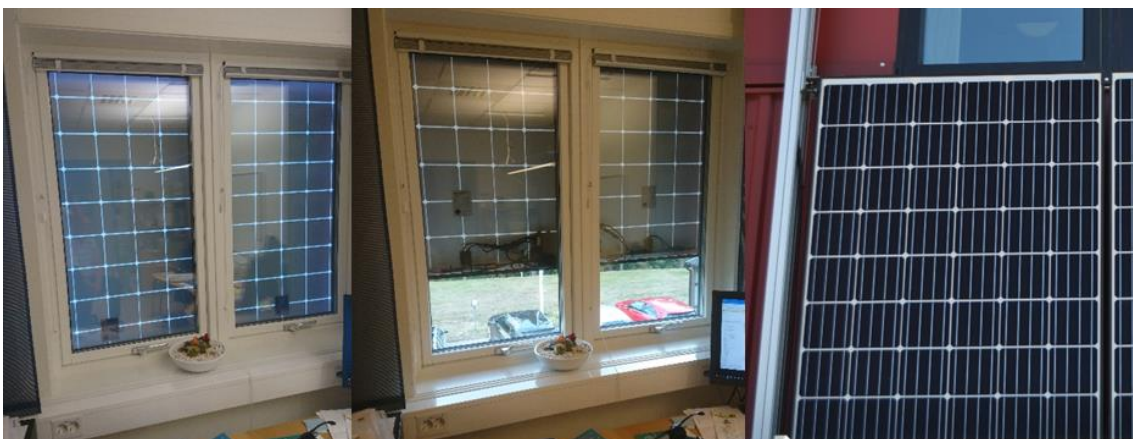


Figur 13 Den vertikala avskärmningen med transparenta glas-glasmoduler

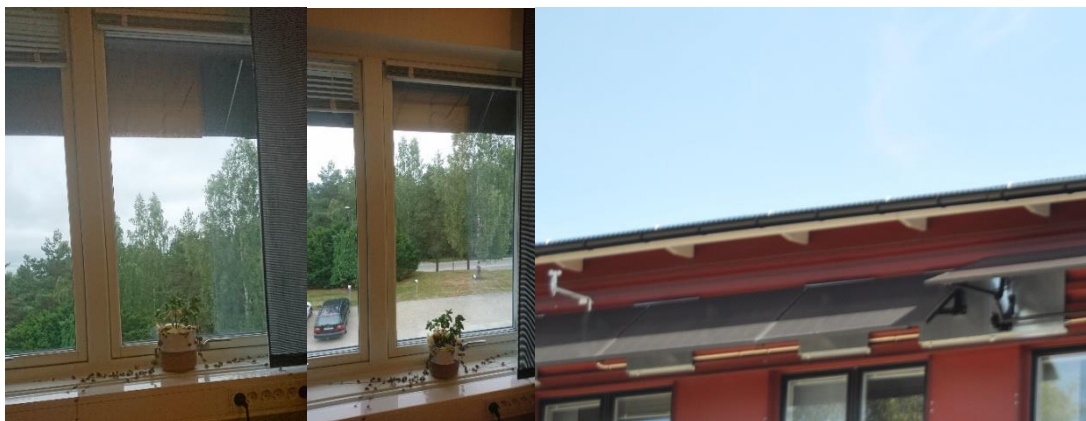
De vertikala skärmarna har inte utrustats med någon automatik utan styrs från respektive rum med hjälp av en fjärrkontroll. En generell kritik mot skärmarna var att ljudnivån från drivutrustningen var störande.



Figur 14 Den vertikala avskärmningen med liggande moduler och baksida av transparent tedlar



Figur 15 Den vertikala avskärmningen med baksida av vit tedlar



Figur 16 Den fasta horisontella avskärmningen på plan 2 med baksida av svart tedlar där den rörliga syns längst till höger i uppfällt läge. Utsikt från sittande och stående vid skrivbordet



Figur 17 Den rörliga horisontella avskärmningen med baksida av svart tedlar i uppfällt läge. Utsikt från sittande och stående vid skrivbordet



Figur 18 Den fasta horisontella avskärmningen på plan 1 med baksida av transparent tedlar. Vy från sittande och stående vid skrivbordet

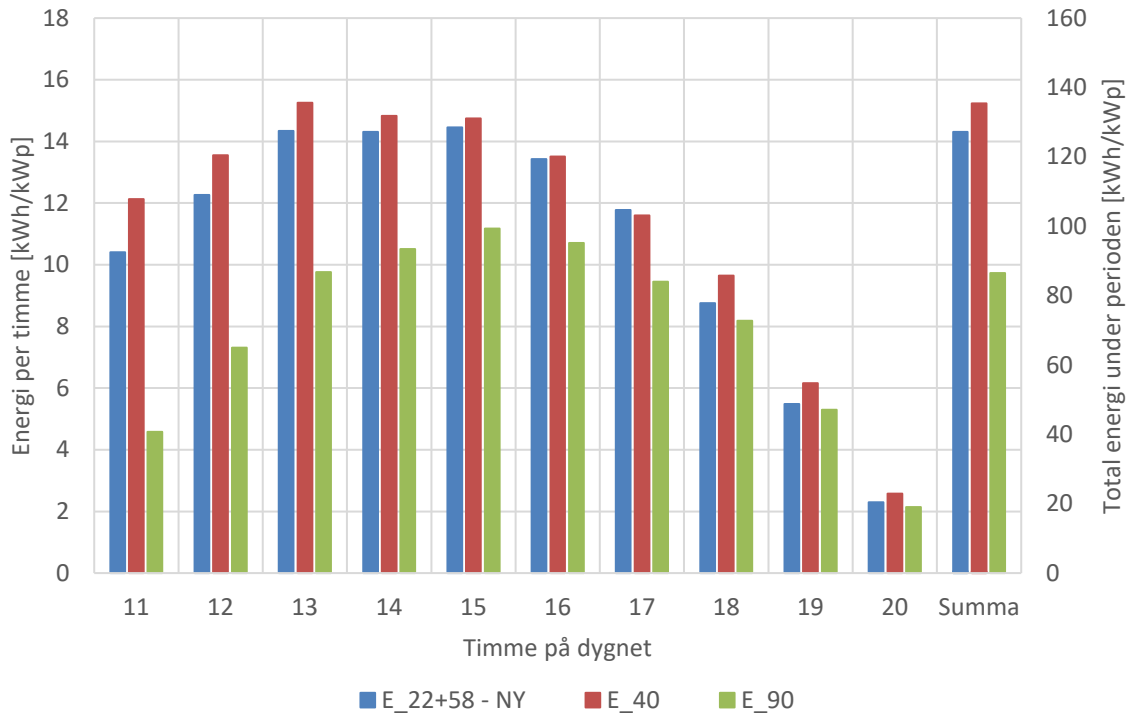
3.3.2.4 Mätningar – energiutbyte och kylbehov

Omfattande förseningar i arbetet med att färdigställa installationerna gjorde att dessa i sin helhet stod färdiga först i juni 2018. Ambitionen att genomföra mätningar under minst sex månader måste därför överges, eftersom projektet avslutades vid halvårsskiftet. Mätningarna fortgår dock alltjämnt då de ingår i fastighetens centrala driftuppföljningssystem. Uppmätt energiutbyte för perioden 26 juni – 25 juli 2018 presenteras per timme och som totalt energiutbyte under perioden för tre av de fyra solavskärmningarna på RISE kontor i Borås, se Figur 19. Utbytet har normaliserats till Wh/kW_p eftersom avskärmningarna har olika toppeffekter, se Tabell 3-2. Jämförelsen har begränsats till timmarna 11:00 – 20:00 för att inte få med skuggningseffekter. Avskärmningen med en fast installationsvinkel på 40° ger högst normaliserat energiutbyte över dagen i jämförelsen eftersom infallsvinkeln är nära optimal för den studerade årstiden. I årssimuleringen som redovisas i avsnitt 3.3.2.5 är skillnaden mellan de två marginell.

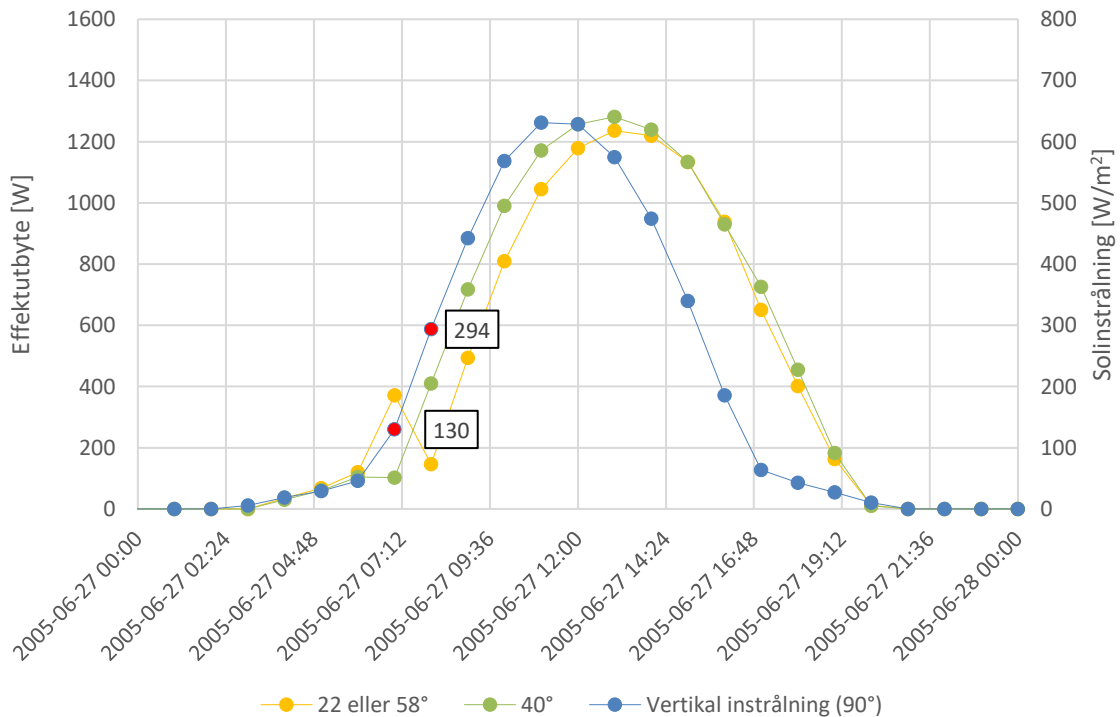
Den rörliga avskärmningen arbetar vid två olika vinklar, 22 respektive 58 graders lutning, och beror av den vertikala solinstrålningen, G_{vert} , där skärmen fälls ner vid en instrålning över 174 W/m^2 och avskärmningen fälls tillbaka upp (22°) då instrålningen är under 130 W/m^2 . Instrålningen mäts med hjälp av en lux-mätare³ som är monterad vertikalt (90°) rakt mot söder.

Eftersom den rörliga avskärmningen är designad att fällas ner till 58 graders lutning så är det normaliserade energiutbytet lägre än den fasta installationen på 40° under den studerade tidsperioden då solen står högt och infallsvinkeln mot modulerna därmed blir sämre vid nedfällt läge. Effekten av lutningsförändringen kan ses i Figur 20 där kurvan för effektutbytet förändras under morgonen när den vertikala instrålningen går över gränsvärdet på 174 W/m^2 (från 130 till 294 W/m^2) vilket gör att avskärmningen fälls ner till 58° för ökad solavskärmning. Konsekvensen blir då att effektutbytet minskar då infallsvinkeln blir mindre fördelaktig än i 22-graders uppfällt läge.

³ $1 \text{ W/m}^2 = 115 \text{ lux}$

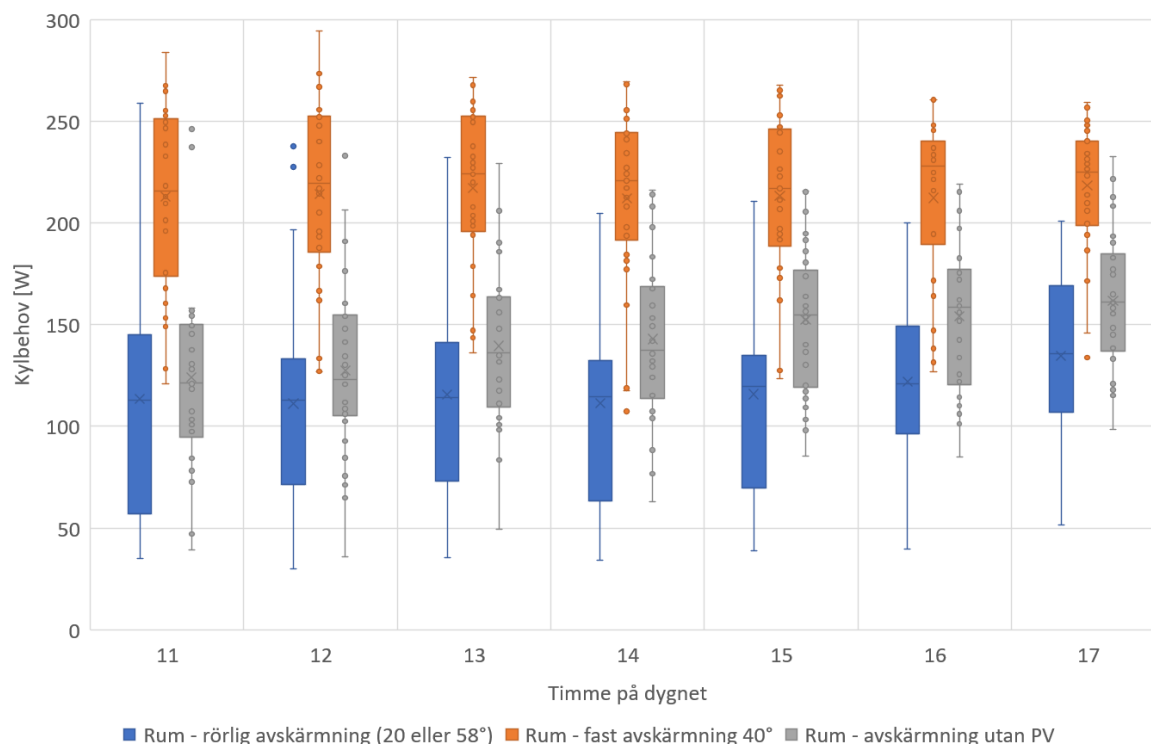


Figur 19 Normaliserat energiutbyte för de tre uppmätta solavskärmningarna uppdelade per timme och totalt under den studerade perioden juli 2018. Fasaden och avskärmningarna är riktade mot sydväst, cirka 40 grader från söder



Figur 20 Effektutbytet för de två avskärmningarna med fast (40°) och rörlig (22 eller 58°) lutning över en dag med bra instrålning.

Förutom att generera energi bidrar solavskärmningarna också till ett minskat kylbehov eftersom en del av uppvärmningen från solinstrålningen genom fönstren kan undvikas. Därför har en jämförelse av kylbehovet för tre olika kontor gjorts under en månads tid för att se hur detta skiljer sig beroende på utformningen av solavskärmningen. De tre kontoren har tre olika typer av solavskärmningar – rörlig (20 eller 58°), fast (40°) och fast avskärmning med aluminiumlameller, utan PV-moduler. Kylbehovet har beräknats med hjälp av ventilationsflödet samt tillufts- och returtemperatur under en period utan närvaro och redovisas i Figur 21. Jämförelsen är begränsad till tidsperioden 11:00 – 17:00 för att inte få med effekten av skuggning.



Figur 21 Kylbehov för tre kontor med olika solavskärmningar uppdelat per timme

Resultaten visar dels på en intern spridning i resultaten som delvis beror på solinstrålningen. Tydligt är dock att rummet med rörlig avskärmning (20 eller 58°) har ett lägre kylbehov eftersom avskärmningen ställer sig i nedfällt läge (58°) vid högre instrålningar och därmed ökar solavskärmningen i en större utsträckning än de fasta installationerna.

3.3.2.5 Simulering av årsutbyten från demonstrationsanläggningen

Som en jämförelse har energiutbytet för de tre installationerna simulerats över ett helt år med hjälp av PVSyst⁴, se Tabell 3-3. Tre av de simulerade fallen representerar systemen i demoinstallationen (fall 1, 3 och 4). Som jämförelse har även en simulering gjorts där styrningen låter den horisontella avskärmningen följa solens rörelse i höjddled (nord-syd-tracking) för att maximera energiutbytet (fall #2). Resultaten för fall 3 – med en solavskärmning som står antingen i 22° eller 58° lutning beroende på den vertikala solinstrålningen – hämtar värden från simuleringar vid respektive lutning enligt instrålningsvillkoret beskrivet ovan.

⁴ <http://www.pvsyst.com/en/>

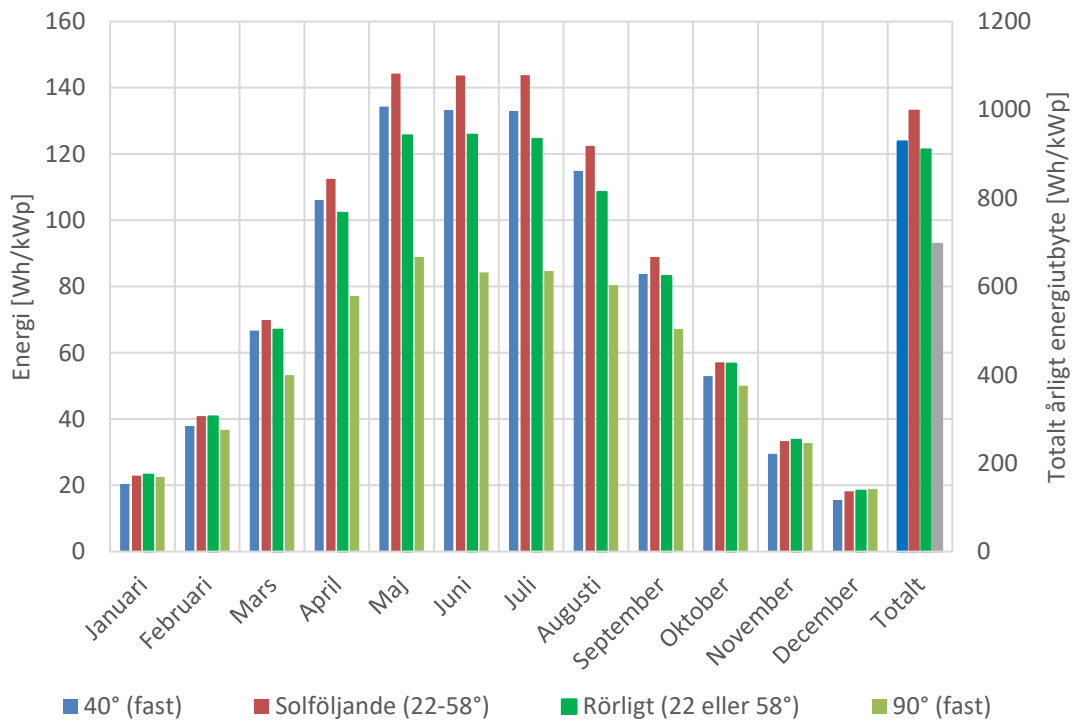
Tabell 3-3 Simulerade energiutbyten för fyra olika solavskärmningsinstallationer där #2 representerar ett hypotetiskt fall med solföljande styrning

Installation	Moduler	Lutning(ar)	Totalt årligt energiutbyte [kWh]	Specifikt energiutbyte [kWh/kW _p]
1. Fast solavskärmning	Suntech HyPro STP285S - 20/ 6*285 Wp (Glas/ svart tedlar)	40° (fast)	1 588	929
2. Rörlig installation		22 – 58° (om den varit solföljande)	1 707	998
3. Rörlig installation		22 eller 58°	1 556	911
4. Fast installation (vertikal)	Onyxium 4*290 Wp (glas/ vit tedlar) Onyxium 2*195 Wp (glas/ transparent tedlar) Transparium 2*310 Wp Transparent (glas/glas)	90° (fast)	1 512	700

Normaliserat energiutbyte per månad (kWh/kW_p) och totalt för ett år visas i

Figur 22 för de fyra simulerade fallen. Under månaderna när solen står lågt (vintertid) är utbytet för avskärmningen som är vertikalt monterade (90° från horisontalplanet, fall #4) i paritet med de andra eftersom infallsvinkeln blir mer fördelaktig. Den motsatta effekten kan ses under sommarmånaderna när solen står högt på himlen. Kurvan för energiutbytet över hela året för den vertikala avskärmningen är jämnare än de övriga fallen eftersom man inte får samma toppar på sommarhalvåret, vilket i vissa fall kan vara fördelaktigt om man vill ha bra samstämmighet mellan last och produktion och minska överproduktionen av solenergi under sommarhalvåret. I fallet där avskärmningen tillåts följa solens höjd fritt mellan 22–58° (fall #2 ovan) fås det högsta årsutbytet i denna jämförelse eftersom infallsvinkeln kan optimeras inom detta intervall. Den fasta solavskärmningen med 40° vinkel (fall #1) presterar bättre än den som tillåts arbeta i två

olika vinklar (22 eller 58°) på samma sätt som i Figur 22 men på årsbasis blir skillnaden försumbar.



Figur 22 Normaliserat energiutbyte per månad och totalt för de simulerade solavskärmningssystemen

3.3.2.6 Att designa elgenererande solavskärmningar

Utgående från projektresultaten, i synnerhet från demonstrationsanläggningen, kan vi nu beskriva kriterier för en god design av elgenererande solavskärmningar och vilka begränsningar som i nuläget gäller. Den enklaste och mest välintegrerade produkttypen som kombinerar solskydd och elproduktion med solceller är ett fönster där glaset belagts med en elgenererande tunnfilm. Produkten diskuterades inledningsvis som en kandidat till demonstrationsanläggningen i Borås men avskrevs av två skäl. Det ena var att projektets solskyddsexpertis avfärdade den som en klart bristfällig solskyddsprodukt, det andra att elproduktionsförmågan är högst begränsad om en rimlig transparens ska upprätthållas. Slutsatsen kring dessa glas är att de kan fungera bra i en offentlig miljö, där estetik och signalvärde prioriteras framför solskydds- och elproduktionsfunktionerna men att de inte lämpar sig för kontor, vård- eller utbildningslokaler. Är det fysikaliskt möjligt att skapa en solcell vars transparens och därmed dess effektivitet kan varieras dynamiskt inom ett stort intervall så öppnas helt nya möjligheter.

Fortsättningsvis diskuteras externa elgenererande solavskärmningar i första hand med utgångspunkt i de två grundtyper som demonstreras i Borås. Till att börja med så kan designen förbättras betydligt med avseende på hur produkterna ser ut utifrån. Hur man uppfattar avskärmningarnas färg, form, struktur och eventuell transparens beror väldigt mycket på byggnadens uttryck och är dessutom väldigt individuellt. Solavskärmningarna behöver därför i så stor utsträckning som möjligt kunna anpassas till aktuell kontext för

att döljas eller framhävas alltefter arkitektens och beställarens önskemål. Häri ligger en stor utmaning när man vill kombinera solceller och solavskärmningar på ett sätt som förenar god funktion med estetik och kostnadseffektivitet. De möjligheter som beskrivs i det följande utgår i första hand, liksom för de demonstrationslösningar som tagits fram i projektet, ifrån solcellsmoduler som är att betrakta som massprodukter. Samtidigt inser man snart att begränsningarna som kommer med dagens massproducerade moduler inte bara handlar om storlekar. Dolda kontakter och kablage, opaka baksidesmaterial och mindre cellstorlekar är andra egenskaper som kan ha stor inverkan på produkternas design och som är svåra att tillgodose med dagens massprodukter. Fördelen med att använda standardprodukter är att de har ett förhållandevis mycket lågt pris. För massproducerade moduler av kristallint kisel, som har en framsida av glas och en baksida av antingen glas eller en polymer, vanligen tedlar, innebär storleksbegränsningarna att enheterna är cirka 1 x 1,6 meter eller 1 x 1,9 meter. För tunnfilmmoduler med fram- och baksida av glas är måtten cirka 0,6 x 1,2 meter, 0,8 x 1,2 meter eller 1,0 x 1,2 meter. Betydligt mindre moduler och andra geometrier än de rektangulära finns att köpa men då till betydligt högre priser såvida det inte rör sig om mycket stora volymer. Mycket flexibla substrat för tunnfilm går att hitta i andra tillämpningar men vår bedömning är att dessa än så länge har långt kvar till att uppfylla de krav som man bör kunna ställa på en utvändigt solavskärmning. Solceller som på så sätt fungerar som en textil snarare än som en styv och tung skärm kommer troligtvis så småningom att öppna helt nya möjligheter för elproducerande solavskärmningar. Samtidigt kan vi utifrån projektets samlade resultat hävda att det är fullt möjligt att åstadkomma fullgoda solavskärmningslösningar genom att använda solcellsmoduler som huvudsakligt konstruktionsmaterial.

Generellt efterlyses nättare konstruktioner av de som besvarat vår enkät. Om modulen har en metallram kan ramens färg ha stor betydelse och ramlösa glas-glas moduler ger allmänt ett lättare intryck, trots att de i praktiken är tyngre än en modul med polymerbaksida. Möjligheten att använda andra färger i glas eller solceller, vilket efterlystes av flera, är än så länge ganska begränsad men blir snabbt allt bättre. Mellanrummen mellan cellerna kan genom valet av baksidesmaterial på modulen fås transparenta eller i en färg som antingen kontrasterar eller smälter samman med färgen i cellerna vilket får stor inverkan på utseendet, se till exempel Figur 9. Dessa olika möjligheter kan komma att spela en stor roll för att attrahera arkitekternas intresse för produkterna. Minskad storlek på celler efterfrågas vilket talar för tunnfilmsteknik där man har större frihet att variera mått och mönster än för kristallint kisel där man i princip är begränsad till kvadrater med sidan 156 mm.

Även med avseende på vyn inifrån konstateras att designen kan förbättras på flera sätt. Mest uppenbart genom att kablar och om möjligt även kopplingsdosor döljs och etiketter med tekniska data tas bort. Färgen på avskärmningen sett från insidan är viktig både för estetiken och för ljusupplevelsen i rummet. Baksidan på moduler av kristallint kisel kan, vilket demo-installationerna visat en provkarta på, ges olika utseenden. Transparens mellan cellerna kan uppnås antingen genom att täcka modulens baksida med en glasskiva eller med en transparent plastfilm, vilket är vanligare. Vill man ha en mer enhetlig baksida kan man välja en färgad plastfilm, vanligtvis svart eller gråvit. Moduler baserade på tunnfilmssolceller har vanligen glas på både fram- och baksida och är därmed transparenta mellan cellerna. En mörk/ svart baksida på avskärmningen fungerar dåligt av flera skäl. Dels ger det upphov till en skarp kontrast gentemot den fria

utsikten vilket upplevs som störande eller till och med bländande. Dels upplevs den svarta ytan som ”tung” när man betraktar den inifrån.

Generellt för dynamiska/ rörliga avskärmningar med solceller gäller att ljudet från motor och drivmekanism måste ägnas särskild uppmärksamhet. Skälet är att den extra vikt man har att hantera kan bidra till kraftigare vibrationer som fortplantas i byggnadsstommen jämfört med en konventionell avskärmning. Styrningen av dem kan också behöva modifieras i förhållande till state of the art då både vertikala och horisontella skärmar med solceller fungerar lite annorlunda än deras konventionella motsvarigheter. Här finns behov av vidareutveckling av ESBO för att man bättre ska kunna analysera de kombinerade produkternas funktion.

3.3.2.7 Design av horisontella skärmar



Figur 23 Under tidig vår och sen höst när solen står lågt

på himlen är de fasta avskärmningarna inte särskilt effektiva om de också ska medge god utsikt och dagsljusinsläpp

Principen för horisontella skärmar med solceller är att likna vid markiser, där den fasta varianten alltid är utfälld medan den dynamiska kan dras undan från fönstret för att öka inflödet av dagsljus vid mulet väder. Måttbegränsningarna för de massproducerade solcellsmodulerna gör det lämpligt att arbeta med grupper av moduler som täcker in flera fönster, snarare än separata avskärmningar för varje fönster.

Att utforma en fast solcellsskärm innebär en kompromiss mellan tillräcklig solavskärmning sommartid, tillräckligt dagsljusinsläpp vid mulet väder, tillräcklig utsikt inifrån, god elgenerering samt estetik. Prototypen är utformad med grupper om tre solcellsmoduler i så kallad landskapsposition, där modulerna har en lutning på 22 grader och är placerade så att nederkanten på solcellerna ligger i samma nivå som den övre fönsterkarmen. Därigenom erhålls full utsikt mot omgivningen och åtminstone viss kontakt även med himlen. Vidare har solcellerna en distans på ett par decimeter från fasaden, vilket ger ett visst dagsljusinsläpp även uppifrån, ”runt” solavskärmningen.

Den dynamiska solavskärmningen har samma grundposition som den fasta, vid soligt väder. Vid mulet väder lyfts och vrids hela konstruktionen så att solcellernas lutning minskar och hamnar intill fasaden, ovanför fönstret. Vid soligt väder finns också en möjlighet för användaren att maximera solavskärmningen genom att manuellt styra ner solcellerna ännu brantare och längre ner.

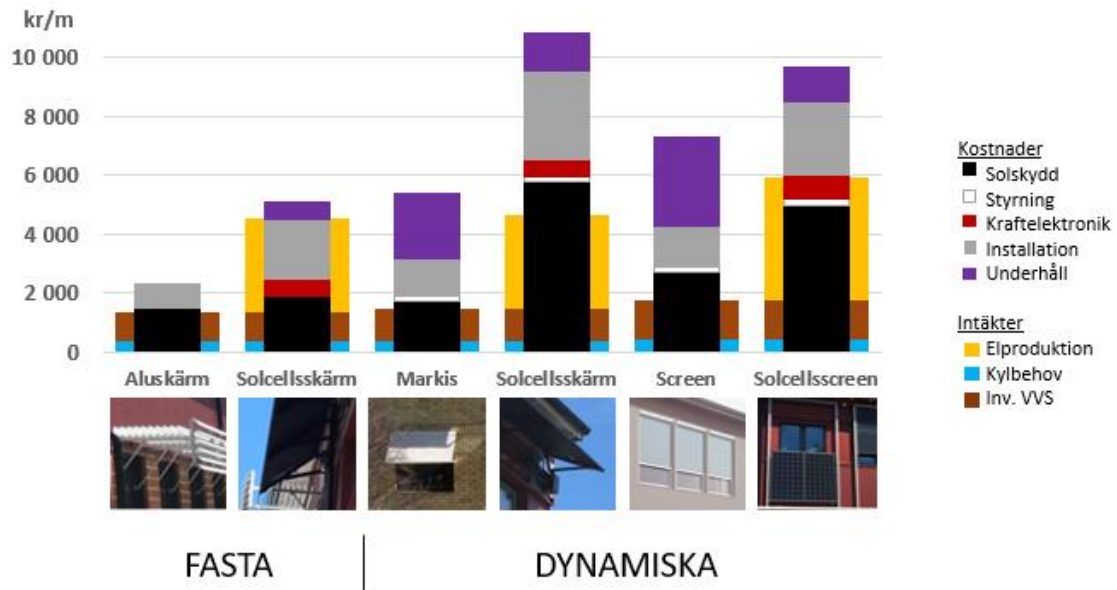
3.3.2.8 Design av vertikala skärmar

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. Skjutbarhet i horisontal- eller vertikalled (uppifrån och ner eller nerifrån och upp) ger också olika resultat med avseende på ljusmiljö och kontakt med omgivningen. I demo-installationen var endast rörelse nerifrån och upp möjlig av utrymmesskäl. Detta kan i vissa lägen vara att föredra framför en rörelse uppifrån och ner, men generellt sett är ”både och” att föredra ur användarsynpunkt. Uppifrån och ner torde ändå vara den totalt sett bästa lösningen för denna typ av avskärmning. Ett inre bländskydd behövs för att få en riktigt bra funktion. För användning i skjutbara skärmar 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. De stora helt ogenomskinliga cellerna bidrar också till en känsla av instängdhet varför en helt ljus och ogenomskinlig, eventuellt mönstrad baksida antagligen är optimal om kiselceller används i en vertikal skärm. Med tunnfilm får man vanligtvis ett lägre elutbyte per kvadratmeter än med kristallint kisel.

3.4 Kommersialisering och vidare tillämpning

3.4.1 Jämförelse mellan el-genererande och vanliga solavskärmningar

Inom ramen för ELSA-projektet har vi utvecklat och demonstrerat tre olika el-genererande solavskärmningar som beskrivits närmare i tidigare avsnitt. I Figur 24 redovisas en ekonomisk jämförelse mellan dessa och vanlig solavskärmning utan solceller, vid installation på en kontorsbyggnad.



Figur 24 Ekonomisk jämförelse mellan solavskärmningar med och utan solceller (per meter fasad) för en exempelbyggnad med 20 fönster i två plan

Det ska poängteras att denna jämförelse är schematisk och att resultaten kan variera stort beroende på förutsättningarna⁵. Värdet av minskat kylbehov beror till exempel mycket på hur klimatskalet är dimensionerat, vilken verksamhet som bedrivs i lokalerna och hur kylan genereras. De kontinuerliga solskydden (skärmarna) är också mer ekonomiska ju tätare det är mellan fönstren och fungerar bäst på söderfasader. Intäkten "inv. VVS" betecknar minskad investering i VVS-komponenter jämfört med en installation med solskyddsglas, utan yttre solavskärmning. Storleken på denna besparing blir som störst vid nyproduktion eller om hela VVS-systemet byts ut vid renovering. Andra värden kopplade till miljönytta, estetik, utsikt och dagsljus tillkommer utanför denna jämförelse.

Det analysen ändå indikerar är att fasta el-genererande solskydd har goda förutsättningar att vara konkurrenskraftiga, medan de dynamiska behöver kostnadsreduceras – eller värderas högre ur andra perspektiv.

Ytterligare en kommentar är att arkitekturtrade dynamiska solavskärmningar med måttanpassade och eventuellt färgade solcellsmoduler, som i förslagen från arkitektstudenterna, är (avsevärt) dyrare än de vi redovisar här. Där sådana är aktuella konkurrerar de dock sannolikt med andra specialtillverkade solavskärmningar, som på samma sätt är dyrare än standardlösningar.

3.4.2 Strategi för kommersialisering av el-genererande solavskärmningar

Att produkter är ekonomiskt konkurrenskraftiga är ett kriterium för kommersialisering, men inte det enda. Det måste också finnas företag som är villiga att ta dem till marknaden. ELSA-projektet har bidragit till ett första närmande mellan solskydds- och

⁵ Kostnader och intäkter har beräknats under 30 år, där underhållet utgörs av reinvestering helt eller delvis efter 15 år. Kalkylränta 3%, elpris 1 kr/kWh

solcellsbranscherna, men det finns flera steg kvar att gå. Det är inte heller självklart hur arbetet bör fortskrida. Är det främst solskyddsföretagen som ska lära sig att inkludera solceller i sina produkter, eller solcellsföretagen som ska bli bättre på att anamma en extra funktion för sina produkter?

Sannolikt kommer det att krävas fördjupade samarbeten mellan företag från båda branscherna, eller att det bildas helt nya företag, innan vi ser en påtaglig marknadstillväxt. Ett problem för den fortsatta utvecklingen av området är att det råder högtryck i båda branscherna och många företag har därmed fullt upp med sina ordinarie verksamheter. Utifrån ett samhälleligt perspektiv måste vi nog därför ge oss till tåls och acceptera att utvecklingen kan komma att ta viss tid.

Diskussioner som förts mellan projektpartners från de två branscherna har landat i att solskyddsföretagen är den mest sannolika aktören att ta kombinationen solel och avskärmning vidare. Orsakerna är främst att solavskärmningstekniken kräver mer teknisk kunskap av sina leverantörer än vad solcellstekniken gör och att solcellsbranschen har fullt fokus på tak-, mark och möjligen även fasadinstallationer. Dessutom har vi i projektet konstaterat att en ”ELSA-produkt” i första hand skall leverera en bra solskyddsfunktion vilket även det talar för solskyddsföretagen som främsta marknadsaktör.

Ett tidigt försök att etablera en tredje, helt ny aktör för att kommersialisera ELSA-produkter i samverkan med Chalmers entreprenörsskola, föll på att det tilltänkta projektteamet valde en annan uppgift. Värt att notera var dock att två av de företag som arbetat med produktutveckling i ELSA-projektet var beredda att gå in i ett samarbete med ett startup-företag och bidra med projektresultat och expertis.

3.4.3 Resultat från mini-enkät till fastighetsbolag

Som en del i projektet gjordes ett riktat utskick till tre fastighetsbolag representerande kontor, butiker och kommunala fastigheter för att undersöka intresset för solavskärmning och samtida integration av solel-generering. Frågorna som ställdes var,

1. ”Har ni befintliga kontorsbyggnader där det skulle vara intressant att installera solavskärmning med solceller?”
2. ”Hur ser ni i så fall på enkla solskydd med vanliga solcellsmoduler, kontra mer sofistikerade lösningar med t.ex. halvgenomskinliga solceller, solcellslameller eller frontglas i valfri kulör?”
3. ”Hur ser ni på fasta kontra rörliga solskydd (med solceller)?”
4. ”Ser ni något behov av en app eller webbtjänst där ni kan visualisera elgenererande solavskärmningar på era kontorsbyggnader och få ungefärliga beräkningar gjorda för hur mycket el som produceras samt hur solskyddet påverkar behovet av kylning och uppvärmning?”

Den sista frågan relaterar till spin-offprojektet SOL:AR, se avsnitt 3.1.2.2. Tabell 3-4 redovisar svaren från tre personer med energikompetens från olika fastighetsbolag.

Tabell 3-4 Svar från mini-enkät till fastighetsbolag

Företag, position	Enkät svar
	1. Ja, vi har alltid behov av olika typer av solskydd

Företag, position	Enkät svar
Teknikchef, Vasakronan	2. Vi ser nog helst att de är högkvalitativa så de tillför något till byggnaden, gärna halvgenomskinliga och färgade paneler. Det finns säkert användningsområden för enklare lösningar också.
	3. Erfarenhetsmässigt innebär rörliga delar ett underhåll som kan bli kostsamt varför vi försöker undvika dessa
	4. Det är alltid kul med visualiseringar men oftast är det bara hardcoreanvändarna som tycker det är kul förutom oss i förvaltningen som tycker om att följa upp det vi gör. Som du beskriver det här är en bra tjänst, både för bygglov och energiberäkningen.
Projektledare, Telge Fastigheter	1. Vi har flertalet byggnader där vi tittar på möjligheten till solavskärmning och att inte ta med solceller i detta känns fel då vår styrelse har tydligt sagt att vi skall fokusera på miljö och ekosystemtjänster. Det är också viktigt att vi tittar på dessa lösningar då nya BBR kommer ställa höga krav på energi samt solceller är ett bra komplement.
	2. Alla våra lösningar skall vara standardiserade produkter dock kanske inte infästning men solcellsmoduler, lameller m.m. skall vara standard för enkelt underhåll, dock tittar vi på kanske lite transparenta celler dessa skall dock vara i standardmått m.m.
	3. Rörligt går sönder allt skall vara fast
	4. Vår IT-enhet har skapat ett eget system för visualisering då det inte finns något system idag som klara våra behov, systemet vi bygger är ett webbaserat och skall kunna visualiseras på hemsida eller monitor i fastighet.
Energiansvarig, kommunala fastigheter, Örebro kommun	1. Ja, det tror jag. Det togs fram förslag för solavskärmning på stadsbyggnadshuset. Även fasadglas med tunnfilmsteknik men då fanns de enbart svarta vill jag minnas. Togs fram något fotomontage.
	2. Jag tror att ju större variation som är möjlig i färg och utformning, ju större chans är det att få med arkitekterna på spåret. Jag tittade personligen lite efter halvtransparent till vår altan för några år sedan men var lite för tidigt ute
	3. Rörliga kräver mer underhåll (oavsett solceller), tror mer på fasta
	4. Det är ju intressant men jag har ingen direkt idé

Sammanfattningsvis vill alla som svarat helst ha fasta solskydd. Detta tycks vara en ganska utbredd uppfattning då den ofta återkommit i diskussioner med fastighetsförvaltare under projektiden. Här finns en utmaning för solskyddsbranschen som menar att ett fullgott solskydd ska vara dynamiskt och att de dåliga erfarenheter förvaltare refererar till främst beror på försummat underhåll och produkter av låg kvalitet.

3.4.4 Guide till elgenererande solavskärmningar

En del av resultatet och erfarenheterna från projektet har sammanställts i en guide eller vägledning till elgenererande solavskärmningar som får formen av en broschyr och en

kort powerpointpresentation [Ref]. Det främsta syftet med projektet och med skriften har varit att öka intresset och kunskapen kring solavskärmning i allmänhet och i synnerhet kring solceller som konstruktionsmaterial i solavskärmningsprodukter. Skriften riktar sig främst till fastighetsägare/ förvaltare 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.

I guiden förklaras de värden man uppnår genom att använda solavskärmningar och varför det kan vara en god idé att kombinera solceller och solavskärmning i en och samma produkt. Grundläggande krav på en sådan produkt förklaras och ekonomi och estetik belyses med olika exempel. Avslutningsvis beskrivs karaktäristiska egenskaper hos de två grundtyperna fasta och rörliga/ dynamiska solavskärmningar med ett antal illustrerade exempel.



Figur 25 Skjutbara solavskärmningsmoduler av tunnfilm (glas/glas-laminat)

3.5 Generalisering och samhällsrelevans

3.5.1 Samverkan och innovation

ELSA-projektet har involverat ett stort antal partners ur ett antal aktörskategorier: Två branschföreningar och två leverantörsföretag ut vardera kategorin solavskärmningar och solceller. Två fastighetsförvaltare, två arkitektbyråer, tre byggtreprenörer och tre forskningsutförare. En tanke bakom detta upplägg har varit att många frågeställningar vi adresserat i projektet berör alla dessa olika grupper. En stor del av hindren för en positiv utveckling av solskyddsbranschen i allmänhet och av marknaden för kombinerade produkter i synnerhet ligger också i bristande förståelse och kunskap om varandras teknik, språk, drivkrafter, affärslogik etc. En del av vägen framåt är därför den plattform för kunskaps- och erfarenhetsutbyte och samarbete kring nya lösningar som projektet format och som RISE efter projektets avslut vill bygga vidare på.

För att skapa förutsättningar för ett fruktbart innovationsmöte mellan de två branscherna som trots nämnda olikheter har ett antal gemensamma intressen att bygga på har projektet tillämpat tre principer inspirerade av designmetodik och design thinking. Av dessa principer var *inkludering av alla relevanta aktörer* som beskrivs ovan den första. Den andra principen var att skapa neutral mark. Här spelade RISE med sin status som oberoende statlig innovationspartner en viktig roll som garant för ett likvärdigt intresse för båda branscherna, och utan särintresse att äga resultatet av innovationsarbetet. RISE kunde också erbjuda en neutral test- och demoanläggning vid sin verksamhet i Borås för test av lösningar som utvecklades i projektet.

Den tredje principen, att basera projektets process på en *designbaserad metodik* har av olika skäl bara kunnat tillämpas i liten omfattning. Viktiga egenskaper i en designorienterad metodik är att göra tidiga och gärna enkla prototyper för att snabbt iterera mellan lösningsförsök och utvärdering, liksom att använda flera olika gestaltungsformer, till exempel skisser, mock-ups och prototyper. De olika prototyperna fungerar som så kallade gränsobjekt (Star & Griesemer, 1989), objekt som aktörer med olika infallsvinklar, kunskap och förståelser kan samlas kring för utbyte av kunskap och en allt mer gemensam utveckling. Denna tredje princip har som sagt inte kunnat tillämpas fullt ut i projektet, främst därför att innovation inte varit projektets huvudsyfte. Projektet har dock, direkt eller indirekt, genomfört ett flertal aktiviteter i syfte att utforska olika innovationsrelaterade möjligheter och verktyg, samtliga med ett stort aktivt engagemang från projektets partners:

- En designworkshop under ledning av en extern industridesignbyrå gav oss möjlighet att prova två olika problemlösningsmetoder, se 3.5.2.
- En idétävling i form av ett "Solar Hackathon" har lett vidare till ett intressant spin-off projekt om solavskärmningar, se 3.1.2.1 och 3.1.2.2.
- En tävling för arkitektstudenter på Chalmers, se 3.5.3 visade på nya möjligheter och uppmärksammades bland annat när tidskriften solskyddsaktuellt skrev om projektet i årets utgåva.
- En workshop kring den så kallade AIQ-modellen, ett verktyg för branschöverskridande dialog, se 3.2.3 gav projektdeltagarna möjlighet att gemensamt reflektera kring produkternas estetik
- Sist men inte minst fanns definitivt inslag av arbete med gränsobjekt som nämns ovan, till exempel i diskussionen kring rörelsen för de dynamiska solskydd som Solkompaniet tog fram

I projektplanen fanns också målet att försöka generalisera erfarenheterna av det multidisciplinära samarbetet och två RISE-medarbetare har haft detta till uppgift i rollen som projektets följeforskare. Innan ett år av projektet förflutit genomförde dessa följeforskare en intervjuomrunda i projektet där samtliga projektets partners intervjuades under cirka en timma var. Resultaten sammanfattas uppdelade per aktörskategori i Tabell 3-5 nedan.

Tabell 3-5 Ett urval av svaren från projektpartners som intervjuats av projektets följeforskare en bit in i projektet

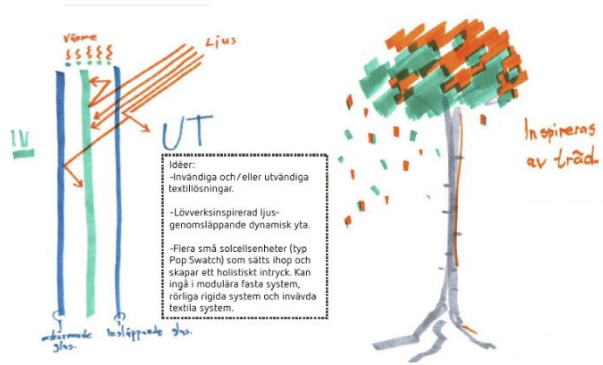
Aktör	Urval av intervju svar
Gemensamt	<ul style="list-style-type: none"> • Enighet om att det har ett stort värde att samla aktörerna från de olika branscherna, och från den relevanta forskningen.

Aktör	Urval av intervjusvar
	<ul style="list-style-type: none"> • Två spår, dels potentialen i att kombinera befintliga lösningar och kunskap i produkter som snabbt kan komma ut på marknaden, dels möjligheten att arbeta med långsiktigt och visionärt, vilket kommer att kräva samverkan som idag inte finns etablerad. • Flera menar att det saknas designkompetens – att monteringskonsoler, ramar och annat ofta är alltför ”Ingenjörsmässiga” – inte ger tillräckligt stor frihet för arkitektur/form. • Samverkan mellan utvecklare och arkitekter betonas – här finns ett stort gap.
Solskyddsbranschen	<ul style="list-style-type: none"> • Saknar en aktör – textiltillverkare, som kan göra ngt med flexibla solceller. Textil kan ge fint ljusinsläpp, bättre skuggbild, färgat ljus etc. • Väldigt bra att det är flera designer/arkitekter med. Det handlar om att få in det redan i konstruktionen, så att det hänger ihop med gestaltningen. Då blir det bättre lösningar. • Vi skulle kunna få ett ordentligt genombrott – och då talar vi om mycket stora marknader! • Vi mäter motstånd från byggare och arkitekter – viktigt att de gillar det vi utvecklar • Viktigare med flexibla, levande lösningar. Hus som har levande fasader som anpassar sig. Och viktigt med ljuskvalitén, att vi inte tar bort de bra solstrålarna, ljuset. • Bra om vi kan utveckla en bra dialog med solcellssidans aktörer. Har ju en förhoppning att också solskyddssidan ska kunna tillverka – det är nog en förutsättning för att få genomslag i våra säljkanaler. Och det ska kunna tillverkas i vår ordinarie produktion helst
Solcellsbranschen	<ul style="list-style-type: none"> • En utmaning är att arkitekter jobbar mycket med nyproduktion när en stor potential finns i det befintliga fastighetsbeståndet. Projektmöjlighet: Kunna prata med arkitekten. Få in lösningarna i tidigt skede ger förutsättningar för lyckat helhetsresultat. • Intressant att den här typen av lösningar gör det möjligt att synliggöra/marknadsföra energieffektivitet/miljöansvar, som annars inte syns (om de bara finns på taket) • Utmaningarna i ”vanlig produktutveckling” är underskattade – nog så viktigt att arbeta med • Det är de fasta solskydden och inte markiserna som är intressanta. Beställarperspektivet. Hög verkkningsgrad på produkterna. Det måste funka idag och inte vara för mycket på forskningsstadiet.
Arkitekter	<ul style="list-style-type: none"> • Vi vill ligga i framkant när det gäller hållbara lösningar och stadsutveckling - innovation är en drivkraft - även samverkan. Hur kan vi höja det arkitektoniska värdet på byggnader som vi ritar med hjälp av dessa lösningar • Viktigt med flexibilitet för arkitekter, det måste kunna gå att anpassa till olika byggnader • Trenden är allt mer fönster på fasader, då får man inte plats med så många solceller förutom som avskärmningslösningar. Projektet ger oss möjligheter att lära och att förstå varandra bättre

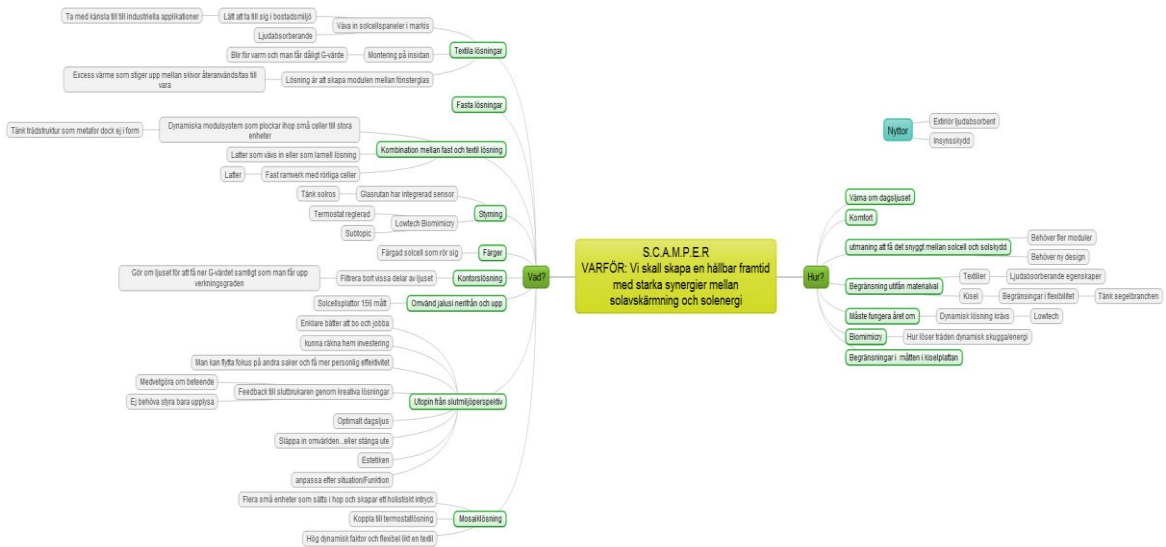
Aktör	Urval av intervjusvar
	<ul style="list-style-type: none"> • Det krävs ett nytt sätt att se på solavskärmningar i nord. Arkitekter måste kunna kommunicera ut våra intentioner.
Byggtre- prenörer	<ul style="list-style-type: none"> • Ekonomin är A och O. • Går det också att kalkylera i kostnader för trivsel etc? • Väldigt viktigt att klargöra för byggarna hur det hänger ihop. Då kommer dom att tala om för entreprenörerna. Sen kommer man att gå till arkitekterna – så det gäller att kommunicera ut kunskapen • Viktigt att lyfta problemet att dessa installationer ofta stryks i byggprocessen • Man får flera funktioner som kan ge ökad lönsamhet. Projektet kan leda till nya intressanta samarbeten. Produkterna kan användas som marknadsföring för ägaren - miljömedveten ägare!
Byggherrar	<ul style="list-style-type: none"> • Viktigt med monteringen, att ha en bra entreprenör • Toppen med den dubbla nyttan – det ger PR och stolthet. Det ger också ett mycket snyggare och mer modernt hus, som följer med i tiden • Smarta estetiska lösningar som är så underhållsfria som möjligt. • Viktigt att få med boende/de som arbetar i huset tidigt i processen • Avskärmningar är ett problem estetiskt idag och leder till att det väljs bort av beställare/arkitekter, men behovet kvarstår, Ska de vara rörliga är detta en driftsproblem. • Solavskärmningen viktigast, elgenerering sekundär - alltsammans måste vara till en rimlig kostnad
Forskare	<ul style="list-style-type: none"> • Viktigt med simuleringar innan man bygger produkten. Estetiken och anpassningen till byggnaden är viktigast. Produkten bör vara generell så att den går att anpassa till den globala marknaden. • Arkitekter och ingenjörer behöver öka sin förståelse för dagsljus • Viktigt att ingenjörer breddar sina utgångspunkter, allt skall inte bara vara optimerat mätbart, design och estetik är lika viktigt • Förutsättningarna för en effektiv produkt finns. Har haft tankar på detta under lång tid, men begränsats av tillgängliga tekniker och material, nu börjar framtiden se allt mer spännande ut, ex tryckta celler på väv som går att rulla in och ut

3.5.2 Designworkshop

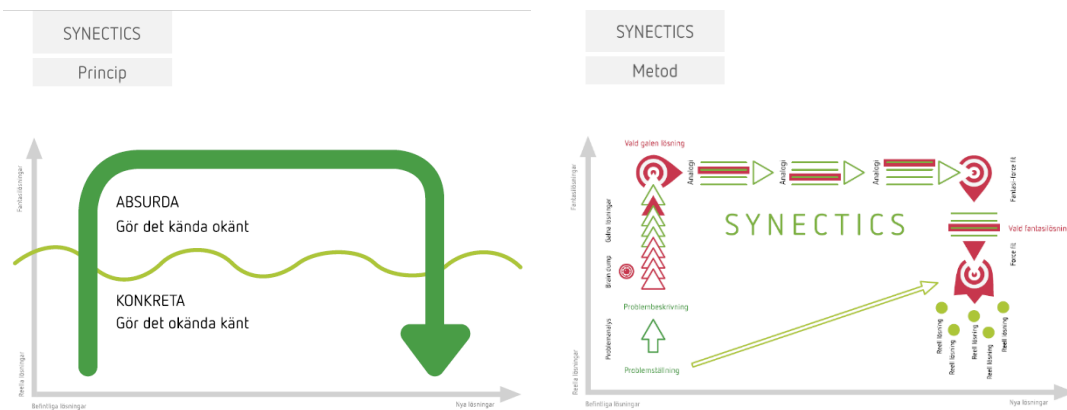
Även om projektet syftade till att utveckla lösningar inom ramen för befintlig teknologi och kunskap kändes det viktigt att "spänna bågen" och både tillåta och aktivt arbeta med försök att skapa mer visionära lösningar i mellanrummet mellan branscherna. Den här delen av processen leddes av den inbjudna industridesignfirman Shift Design som var van att arrangera kreativa processer med företag. Vid en halvdags workshop fick projektdeltagarna prova på två etablerade processer för problemlösning – SCAMPER och Synectics.



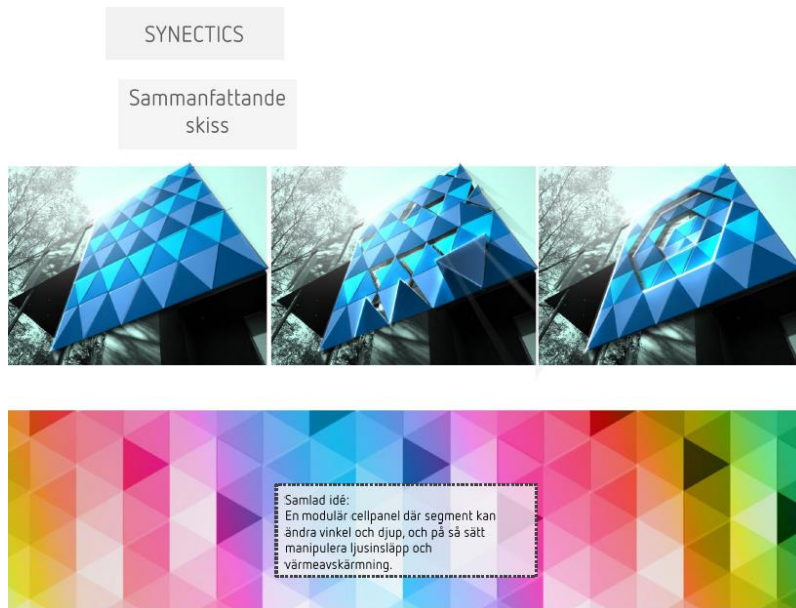
Figur 26 SCAMPER-metodiken. En av två metoder för problemlösning och produktutveckling som projektdeltagarna introducerades till i en workshop kring visionär design



Figur 27 En strukturerad sammanställning av idéerna från SCAMPER-övningen



Figur 28 Synectics-Den andra metoden som testades i workshopen



Figur 29 Resultatet av Synectics-övningen. Morgondagens elgenererande solavskärmning?

3.5.3 Arkitekturtävling, Chalmers

Bakgrunden till tävlingen beskrivs i avsnitt 2.5.1. Kursen där tävlingen var en integrerad del samlade tre studentteam som fick i uppgift att studera en kontorsbyggnad under renovering. Byggnaden som studerades var ett pågående renoveringsprojekt i



Gullbergsvass i Göteborg, se

Figur 30. Fokus låg på fasadlösningar och att ta fram och presentera en konceptlösning inklusive solavskärmning med solceller med bästa möjliga estetik och tekniska prestanda. I kursens inledning föreläste ELSA-partners om solavskärmningar och sole och stöd från projektets partners fanns också att tillgå under kursens gång.

De bästa lösningarna belönades med en prissumma sponsrad av ELSA-partners som även medverkade i tävlingsjuryn. Tre studentbidrag presenterades och utvärderades av projektets jury utifrån en uppsättning kriterier, bland annat estetik och energiprestanda.



Figur 30 Den studerande lokalens placering.

Juryns motivering till det vinnande bidraget löd, *”A fully feasible semi-dynamic shading device that generates a significant amount of solar electricity, complies with the need for daylighting and actively brings added value to the building’s aesthetic.”*

Det vinnande bidraget valde att använda sig av vertikalt monterade och justerbara PV-moduler för solavskärmning (Figur 31) där vinkeln på modulerna ändras en gång per dag. Man valde också att öka fönsterstorleken och använda ett glas med lägre U-värde ($0,55 \text{ W/m}^2/\text{K}$) och transmittans ($g = 0,24$). De två andra bidragen prisades även de för mycket väl genomförda arbeten, se Figur 32. Mer information om kursen och tävlingen finns i Bilaga A.5.



Figur 31 Konceptritning för det vinnande bidraget i studenttävlingen på Chalmers. Vertikalt orienterade vridbara PV-moduler används som solavskärmningar



Figur 32 Bidragen som belönades med andra (till vänster) och tredje pris i tävlingen

4 Diskussion

ELSA-projektet har varit ett ambitiöst försök att sammanföra två branscher och teknikområden med många olikheter men också en hel del gemensamt. I fokus har legat en produkt som många intuitivt känner är helt rätt men som för att bli riktigt bra kräver ett nära samarbete mellan dessa branscher och flera andra aktörer.

Solskyddsbranschen, som värt att notera inte representerar de företag inom glas- och fasadbranschen som arbetar med solskyddsglas, går idag allt bättre men upplever alltjämnt att man ofta kommer in för sent i processen, när problemen med övertemperaturer, bländning etc. redan är ett faktum. Projektet har också visat på utmaningen att hantera en viss skepsis bland fastighetsägare och förvaltare, mot de dynamiska lösningar som branschen menar är en förutsättning för en fullgod solskyddsprodukt.

Trender som talar för en fortsatt expansion för denna bransch är prognoser om kraftigt ökande kylbehov i byggnader globalt sett, kombinerat med klimatutmaningarna och sammanhängande behov av att begränsa vår energianvändning. I Sverige är ökade och delvis motstridiga krav på energieffektivitet och ökat dagsljusinsläpp i våra byggnader andra drivkrafter när effektiviseringarna leder till problem med övertemperaturer inomhus. En intressant fråga är om branschen kan dra fördel av dessa trender genom att göra business as usual. Eller behöver man utveckla sin innovationskapacitet för att kunna möta beställarnas krav på funktion, estetik och driftsäkerhet? En för branschen negativ trend är det moderna byggandets passion för glas där stora glasfasader ger solskyddsglasen en privilegierad sists framför utvändiga solskydd. Företagen i branschen utgörs främst av antingen små familjeföretag med fokus på markiser, invändiga gardiner och persienner eller av återförsäljare till stora internationella företag med aluminiumbaserade lösningar och produkter för drivning och styrning av avskärmningar. De svenska företag som arbetar med att utveckla nya produkter är således lätt räknade och projektet har varit privilegierat som fått möjlighet att samarbeta med flera av dem.

Även i solexbranschen är den svenska innovationskapaciteten mycket begränsad men här är sannolikt inte behoven lika stora. I alla fall inte för att stärka marknadstillväxten. Branschen växer kraftigt och marknaden består enkelt uttryckt av ett fåtal svenska eller internationella grossister och ett stort och stadigt ökande antal företag som säljer och installerar standardprodukter på byggnadernas tak eller i större fält på marken. Osvuret är bäst men det mesta talar för att branschen på liknande sätt kommer att fortsätta expandera starkt under överskådlig framtid och branschens incitament för att till exempel utveckla nya ELSA-produkter är därför svagt. Innovation handlar i solexbranschen bara i något enstaka fall om nya produkter och projektet har även i detta fall lyckats knyta tongivande aktörer till sig. Annars gäller nyheterna främst för branschen nya affärsmodeller och tjänster kopplade till installationerna. Trender inom solex som skulle kunna driva på utvecklingen är ett ökat intresse för estetik, design och byggnadsintegrerad solex där solcellerna kan ersätta traditionella komponenter och material i exempelvis solskyddsprodukter. Det faktum att takytorna alltmer blir föremål för andra intressen än solexproducenternas, till exempel gröna tak, stadsodling och rekreation kan också komma att driva fram nya lösningar för fasader.

Det finns alltså vissa förutsättningar för nya svenska produkter som kombinerar solavskärmning med solcellsteknik och projektet har försökt belysa och vidareutveckla dessa möjligheter. Projektet har också lyft fram vad vi anser dessutom krävs för att de ska bli bra. Så bra att de på allvar kan etableras på den svenska marknaden och i bästa fall, som en erfaren projektpartner från industrin uttryckte det ”kunna få ett ordentligt genombrott – och då talar vi om mycket stora marknader!”.

En innovationsupphandling skulle, åtminstone på lite sikt, kunna vara ett bra sätt att ta ELSA-produkterna vidare mot marknaden. Kanske som en samlad nordisk övning då projektet visat att kraven på produkterna här delvis skiljer sig från kraven i syd- och mellaneuropa. Konceptet skulle för övrigt kunna tillämpas i betydligt större omfattning än vad som sker idag för att stimulera innovationsarbetet inom bygg- och energiområdet.

Projektupplägget har varit utmanande genom det stora antalet partners, men bredden har också varit en stor tillgång och fruktbara samarbeten har manifesterats i flera olika former. Nya, från början oförutsedda möjligheter har öppnats under projektets gång och oftast tagits tillvara på ett bra sätt medan vissa tyvärr har gått förlorade. Det senare gällde främst ett antal skarpa byggprojekt hos projektets arkitekt- och fastighetsförvaltarpartners där solavskärmningar fanns med i bilden. Dessa kunde ha blivit till intressanta fallstudier där projektets samlade kompetens också kunde ha utnyttjats till gagn för de olika byggprojekten. I en helt ny konstellation som denna går det inte att i förväg avgöra vilka partners som kommer att satsa helhjärtat av egen kraft och vilka som kommer att behöva mer stöd och engagemang från projektledningen för att på allvar komma in i matchen. Detta kan vara ett skäl till att ta med fler än en aktör ur respektive kategori, ett annat är att ingen kategori är homogen och helt olika tank och strategier eller tillämpningar kan därför prägla två aktörer ur samma kategori.

Projektets andra stora utmaningar har bestått i produktutvecklingsarbetet och i etableringen av den demonstrationsinstallation där resultaten från detta arbete senare togs i bruk tillsammans med instrumentering för att möjliggöra en utvärdering av de olika systemen. Sammanfattningsvis skulle det ha lönat sig om mer arbete lagts på planering av de olika delarna och på att upprätthålla en kontinuerlig dialog mellan ett mindre antal projektpartners med tydligt beskrivna roller.

5 Slutsatser

5.1 Kunskapsöversikt

Slutsatserna från kunskapsöversikten är att fortsatt forskning bör fokusera mer på mätningar än på simuleringar, på visuell komfort och bländning, utsikt genom fönstren, den nordeuropeiska kontexten och inte minst estetiska aspekter och arkitektonisk integration. Bristande kunskap och få samarbeten kring kombinationen solskydd-solel och som en följd av detta en avsaknad av produkter som utnyttjar de möjligheter som kombinationen erbjuder innebär också att det finns stora möjligheter för en industriaktör som tar sig an att utveckla området. Komplexiteten och multifunktionaliteten kräver samverkan mellan arkitekter, konstruktörer, tillverkare, entreprenörer, beställare och slutanvändare.

5.2 Erfarenhetsåterföring

Den kvalitativa erfarenhetsåterföringen är väldigt liten i sin omfattning och vi har haft svårt att få fram tillräckligt med data för att kunna dra några tydliga slutsatser. Det skulle ha krävts väldigt mycket mer tid att skapa en allsidig och objektiv vy, inte minst vad gäller erfarenhetsåterföring från brukare. Erfarenheterna från projektets egen utvärdering av demoinstallationerna har också bekräftat detta. Att flera av projekten har en hög profil, är arkitektoniska ikoner och en del i ett företags eller stads marknadsföring tror vi har påverkat deras bristande intresse av att dela med sig av erfarenheter, särskilt när systemen inte har fungerat som tänkt.

Studien visar svårigheten att hitta en balans mellan olika funktioner för en elproducerande solavskärmning. En dynamisk lösning, särskilt om den kan skötas individuellt är effektiv som solavskärmning men framställs som svår att underhålla, särskilt om den kombineras med solceller. System som installerats för att profilera ett företag eller en byggnad har varit svåra att realisera på ett bra sätt. De bygger på speciallösningar och eventuellt har funktion och drift inte varit tillräckligt genomtänkta. I de system som är mest effektiva har estetiken inte blivit tillräckligt genomtänkt. Studien visar på behov av ett tätt interdisciplinärt samarbete för att kunna samordna teknik, funktion, drift och estetik till en bra helhet.

5.3 AIQ modellen

Workshopen visar att AIQ modellen är ett användbart verktyg i gruppdiskussioner med representanter från olika yrken där det kan förbättra kommunikationen mellan dessa aktörer. Potentiellt gynnar detta utvecklingen och en bredare implementering av energiproducerande solavskärmningar i byggnader. AIQ-modellen hjälper till att formulera arkitektonisk integration och ger upphov till intressanta diskussioner vilket uppskattades av alla workshop-deltagare. En begränsning av den nuvarande AIQ-modellen är att den värderar integration av solavskärmningar ur ett estetiskt perspektiv medan designprocessen för multifunktionella solavskärmningar kommer att utmanas av tvärvetenskapliga perspektiv. En slutsats är också att olika syn på estetiken inte kommer att vara det främsta hindret för en bredare implementering av elgenererande

solavskärmningar. Utmaningen ligger istället i att estetiska integreringskvaliteter behöver samspela med andra aspekter som funktion, effektivitet, energiproduktion eller ekonomi.

5.4 Produktutveckling och demonstration

Produktutvecklingsarbetet har trots begränsade erfarenheter av liknande uppgifter hos parterna och trots en rad oförutsedda svårigheter resulterat i en uppsättning mer eller mindre mogna produkter som har installerats på RISE kontor i Borås. Arbetet har på ett påtagligt sätt bidragit till att nya samarbeten mellan solskydds- och solelbranscherna har etablerats.

Demonstrationsanläggningen har varit och är en utmärkt grund för fortsatt arbete med dessa produkter då den på ett mycket konkret sätt gjort oss uppmärksamma på vissa brister och möjliga förbättringar. Samtidigt har den hjälpt oss att förstå vilka begränsningar anläggningen har när det gäller att utvärdera solavskärmningsprodukter generellt och elgenererande sådana i synnerhet. Ett levande labb för solavskärmningar där en panel av försökspersoner används för att bedöma olika produkters funktion och effektivitet har till exempel diskuterats inledningsvis, men i princip avskrivits efter att vi nu kunnat undersöka möjligheterna mer konkret.

En demonstrationsplats är fortfarande intressant för att visa upp tekniken och gör det som sagt möjligt att dra vissa slutsatser om förbättringsmöjligheter. För att kunna göra en allsidig bedömning av produkternas effektivitet som solavskärmningar och elproducenter krävs dock en helt annan resurs. Resursen i form av ett avancerat och väl utrustat labb där kvalificerad personal med expertis inom området kan genomföra standardiserade mätningar under en rad olika driftsförhållanden saknas idag i Sverige.

5.5 Kommersialisering av ELSA-produkter

Som tidigare belysts i diskussionsavsnittet och i avsnitt 3.4.2 om kommersialisering så saknas det i nuläget en tydlig aktör som kan ta ELSA-produkterna vidare, trots att projektet visat att här finns en tydlig potential. Kanske är tiden ännu inte riktigt inneprojektet har trots allt också visat att det nuvarande produktutbudet innebär en hel del ganska hårda avgränsningar, till exempel genom prispressen på standardmoduler som gör att det ofta blir väldigt mycket dyrare om arkitekternas önskemål om flexibilitet ska tillfredsställas. Utvecklingen i solelbranschen internationellt går dock väldigt fort och med den kommer nya möjligheter. Projektet har också bidragit med resultat som kan katalysera den fortsatta utvecklingen, exempelvis:

- Nya kontakter och samarbeten mellan de två branscherna
- En guide till Elgenererande solavskärmningar för inspiration och lättillgänglig introduktion till tekniken riktad till fastighetsägare- och förvaltare, arkitekter och andra med intresse för området. För den som vill lära sig mer finns också hänvisningar till digert fördjupningsmaterial.
- Ett dialogverktyg, AIQ-modellen, till stöd för diskussioner om estetik och design
- En demonstrationsanläggning med flera olika ELSA-produkter där energibehov för kyla, värme och belysning samt elproduktion mäts kontinuerligt och intressenter kan lära mer om tekniken. Fasaden har fortfarande plats för fler produkter och det finns också möjlighet att arbeta vidare med utvecklingen av de som kommit till i projektet.

- En enkel kalkylmodell för att räkna på kostnader och intäkter för ELSA-produkter

Projektledningen har också inlett en dialog med företaget Equa som utvecklat solskyddsbranschens beräkningsverktyg ESBO och som nu arbetar med att förstärka programmets modeller för solex-produkter och energilagring. Här finns med andra ord goda förutsättningar för att beräkningsresurser för ELSA-produkter, vilket projektet pekat ut som en viktig pusselbit för marknadsutveckling, så småningom ska komma på plats.

5.6 Innovation i mellanrummet

Slutsatsen om behovet av bred samverkan mellan olika intressenter för att lösa branschens utmaningar återkommer i många delar av projektet och bekräftas av många av dess aktörer. Projektet har gett oss möjlighet att relativt fritt utforska olika sätt att främja sådan samverkan och vi har kunnat visa hur några av dem kunnat ge ett snabbt resultat medan andra kommer att behöva mer tid för att komma till sin rätt och åter andra helt enkelt inte fungerar så bra i det här sammanhanget.

Hur kan då dessa erfarenheter generaliseras för att byggbranschen ska kunna bli bättre på utveckling och innovation mot mer hållbara lösningar? En slutsats är att öppenhet och nyfikenhet hos industriaktörerna är en mycket viktig förutsättning. En annan är att forskningsfinansiärer för tillämpad forskning behöver ställa krav på och skapa förutsättningar för ”innovationshöjd” snarare än ”forskningshöjd”. Lite mer konkret kan detta till exempel realiseras genom:

- Demonstrationsprojekt med högt ställda mål kring bred och aktiv samverkan mellan relevanta aktörer. Är syftet att förbättra innovationsarbetet i sig måste fokus ligga på processen lika mycket eller mer än på ett bra slutresultat att visa upp. Skarpa projekt med ”riktiga beställare” kan eventuellt, beroende på vad man vill åstadkomma, vara mer effektivt än en demo liknande den som genomförts i ELSA-projektet.
- Att ta hjälp av standarder och regelverk för att formulera krav på nya produkter men samtidigt vara ödmjuk i samband med att de tolkas så att nya lösningar inte avskrivs innan de haft möjlighet att visa vad de går för. (Går det att skapa tillfälliga undantag från regelverken för att stimulera innovation, till exempel i enskilda demonstrationsprojekt?)
- Ge entreprenöriella företrädare för olika samverkande branscher möjlighet att samarbeta i den för-kommersiella fasen, gärna på en neutral mark som hos RISE.
- Uppmuntra mångfald i många dimensioner och skapa tid och platser för samtal, workshops förstudier etc.

Ambitionen till mer gemensam utveckling kring en gemensam produkt (gränsobjekt) baserat på en designprocess kunde inte realiseras, men de många aktiviteter och initiativ som istället genomförts kan ändå ses som resultat av projektets medvetna designansats. Vi dristar oss därför till att säga att de anpassningar som gjorts, inklusive aktiviteter som design tävling med studenter, Solar Hackathon etc kan ses som en mer realistisk modell för att aktivera samverkan mellan två branscher än ett enskilt produktutvecklingsprojekt. Modellen är därmed intressant att utveckla vidare i kommande projekt, gärna baserad på ELSA som en prototyp för en sådan designbaserad branschsamverkan.

6 Publikationslista

- Dubois, M.-C.; Haav, L. (submitted). Shading devices integrating photovoltaics: a literature review. *Renewable & Sustainable Energy Reviews*.
- Gustafsson, A.; Xu, Y.; Femenías, P. & Thuvander, L. (2018). ELSA- databasen: Erfarenhetsåterföring från byggda exempel med solavskärmning och solcellsintegration. Elektronisk resurs, Göteborg. <https://research.chalmers.se/publication/504751>
- Femenias, P., Thuvander, L., & Kovacs, P. (2017). Improving the Market Up-take of Energy Producing Solar Shading: Experiences from three cases of retrofit. In proceedings of the World Sustainable Built Environment Conference. Hong Kong 5 – 7 June 2017.
- Femenias, P; Thuvander, L; Gustafsson, A; Park, S; Kovacs, P (2017). Improving the market up-take of energy producing solar shading: A communication model to discuss preferences for architectural integration across different professions, *Proceedings of the 9th Nordic Conference on Construction Economics and Organization*, 13-14th June, Gothenburg, Sweden, pp. 140-151.
- Solskyddsaktuellt 2018. ELSA - Solceller, solskydd och arkitektur i ett. Svenska Solskyddsförbundet. Hämtat från https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/static.wm3.se/sites/45/media/216705_Solskyddsaktuellt_2018.pdf?1528451624
- Artiklar, intervjuer och pressmeddelanden om SOLution, se <http://www.energiforsk.se/program/solel/rapporter/solar-hackathon-fran-id%C3%A9-till-genomforande/>
- Kaminsky, J. Chalmersföreläsning "Solceller som solavskärmning". 2016-10-05
- Kaminsky, J. Föreläsning för Projektgaranti Göteborg "Framtidens solceller". 2016-10-06
- Kaminsky, J. Föreläsning för Projektgaranti Stockholm "Framtidens solceller". 2017-03-28
- Kovács, P. Presentation vid Svenska Solskyddsförbundets årsmöte i november 2015
- Larsson, D. Presentation vid workshop med Byggdialog Dalarna i Borlänge i oktober 2017
- Kovács, P. Presentation vid projektmöte IEA PVPS Task 15 i Uppsala i september 2017
- Kovács, P. Presentation vid Svenska solelmässan i Uppsala i november 2017
- Kovács, P. Presentation vid möte med HSB Living Lab i Göteborg juni 2018
- Kovács, P. Presentation vid styrelsemöte i FoU väst i Göteborg juni 2018
- RISE hemsida <http://solartestbed.se/om-projekten/elsa-elgenerande-solavskarmning/>
- RISE samhällsbyggnadsblogg <http://spsamhallsbyggnad.blogspot.com/2015/06/sp-leder-projekt-om-solavskarmningar-i.html>
- Chalmers hemsida <https://research.chalmers.se/project/6875>
- Solkompaniets hemsida <https://solkompaniet.se/2017/11/22/elgenererande-solavskarmning-ny-demoanlaggning-boras/>
- Presentation på SIREn möte i Borlänge november 2017

7 Litteraturförteckning

- 3XN_GXN. (2014). *Pv grid teknologirapport*. Hämtat från https://issuu.com/3xnarchitects/docs/pv_grid_teknologirapport
- Boverket. (2011). *Boverkets byggregler – föreskrifter och allmänna råd, BBR BFS 2011:6 med ändringar till och med BFS 2018:4*. Boverket.
- Britain, G. (2006). Design Review: How CABE Evaluates Quality in Architecture and Urban Design. *Commission for Architecture and the Built Environment*.
- Dalenbäck, J., Lindahl, J., & Löwenhielm, W. (2018). *Solel och klimatpåverkan*. Svensk Solenergi. Hämtat från <https://www.svensksolenergi.se/upload/fakta-om-solenergi/solel%20och%20klimatpaverkan%20SSE%202018.pdf> den 01 10 2018
- Femenias, P., Thuvander, L., & Kovacs, P. (2017). Improving the Market Up-take of Energy Producing Solar Shading: Experiences from three cases of retrofit. In proceedings of the World Sustainable Built Environment Conference. Hong Kong 5 – 7 June 2017.
- Femenías, P., Thuvander, L., Gustafsson, A., Park, S., & Kovacs, P. (2017). Improving the market up-take of energy producing solar shading: A communication model to discuss preferences for architectural integration across different professions. *9th Nordic Conference on Construction Economics and Organization 13-14 June, 2017 at Chalmers University of Technology*, (s. 140). Gothenburg.
- Hållbar Utveckling Väst. (2017). *Solceller och miljöpåverkan*. Hållbar Utveckling Väst.
- IEA. (2018). *The Future of Cooling Opportunities for energy efficient air conditioning*. IEA International Energy Agency.
- ISE, F. (2017). *Photovoltaics Report*.
- Kanters, & Wall. (2016). *A planning process map for solar buildings in urban environments*.
- Kovacs, P. (2017). *Solar Hackathon från idé till genomförande*. Energiforsk Rapport 2017:381. Hämtat från <https://www.energiforsk.se/program/solel/rapporter/solar-hackathon-fran-id%C3%A9-till-genomforande/>
- Martinsson, F., Gode, J., Arnell, J., & Höglund, J. (2012). Emissionsfaktor för nordisk elproduktionsmix.
- Munari Probst, M. a., & Roecker, C. (2012). Criteria for Architectural Integration of Active Solar Systems. *Elsevier Energy Procedia*.
- OECD/IEA, I. E. (2018). *The Future of Cooling Opportunities for energy efficient air conditioning* . Hämtat från www.iea.org.
- Probst, M. C., & Christian, R. (2015). SOLAR ENERGY PROMOTION & URBAN CONTEXT PROTECTION: LESO-QSV (QUALITY-SITE-VISIBILITY) METHOD.

- SCB. (1999). *Minskade koldioxidutsläpp genom förändrad materialanvändning*.
- Solskyddsaktuellt. (2018). ELSA - Solceller, solskydd och arkitektur i ett. Svenska Solskyddsförbundet. Hämtat från https://s3-eu-west-1.amazonaws.com/static.wm3.se/sites/45/media/216705_Solskyddsaktuellt_2018.pdf?1528451624
- Springer. (u.d.). *CO₂ Emissions Related to the Electricity Consumption in the European Primary Aluminum production*. Hämtat från <https://rd.springer.com/content/pdf/10.1007%2FBF02978889.pdf>
- Star, S. L., & Griesemer, J. R. (1989). Institutional Ecology, 'Translations' and Boundary Objects: Amateurs and Professionals in Berkley's Museum of Vertebrate Zoology. *Social Studies of Science*. 19(3), 387-420.
- Thuvander, L. e. (2018). Hämtat från <https://research.chalmers.se/publication/504751>
- van Noord, M. (2010). *Byggnadsintegrerade solcellsanläggningar–Europeisk Best-Practice*. Elforsk.
- Xu, R. & Wittkopf, S. K. (2013). *BIPV Visual Assessment for Architecture Retrofitting*. Paper presented at the Proceedings of CISBAT 2013 Cleantech for Smart Cities and Buildings.
- Zomer, C. D., Costa, M. R., Nobre, A., & Rüther, R. (2013). Performance compromises of building-integrated and building-applied photovoltaics (BIPV and BAPV) in Brazilian airports. *Energy and Buildings*, 66, 607-615. doi:10.1016/j.enbuild.2013.07.076

A.Bilagor

Bilaga A.1 Parameter som finns beskrivna i ELSA-databasen

Bilaga A.2 Workshop AIQ-modell

Bilaga A.3 Testresultat AIQ-modellen, exempel från en arkitekt

Bilaga A.4 Ramverk för utvärdering av befintliga system

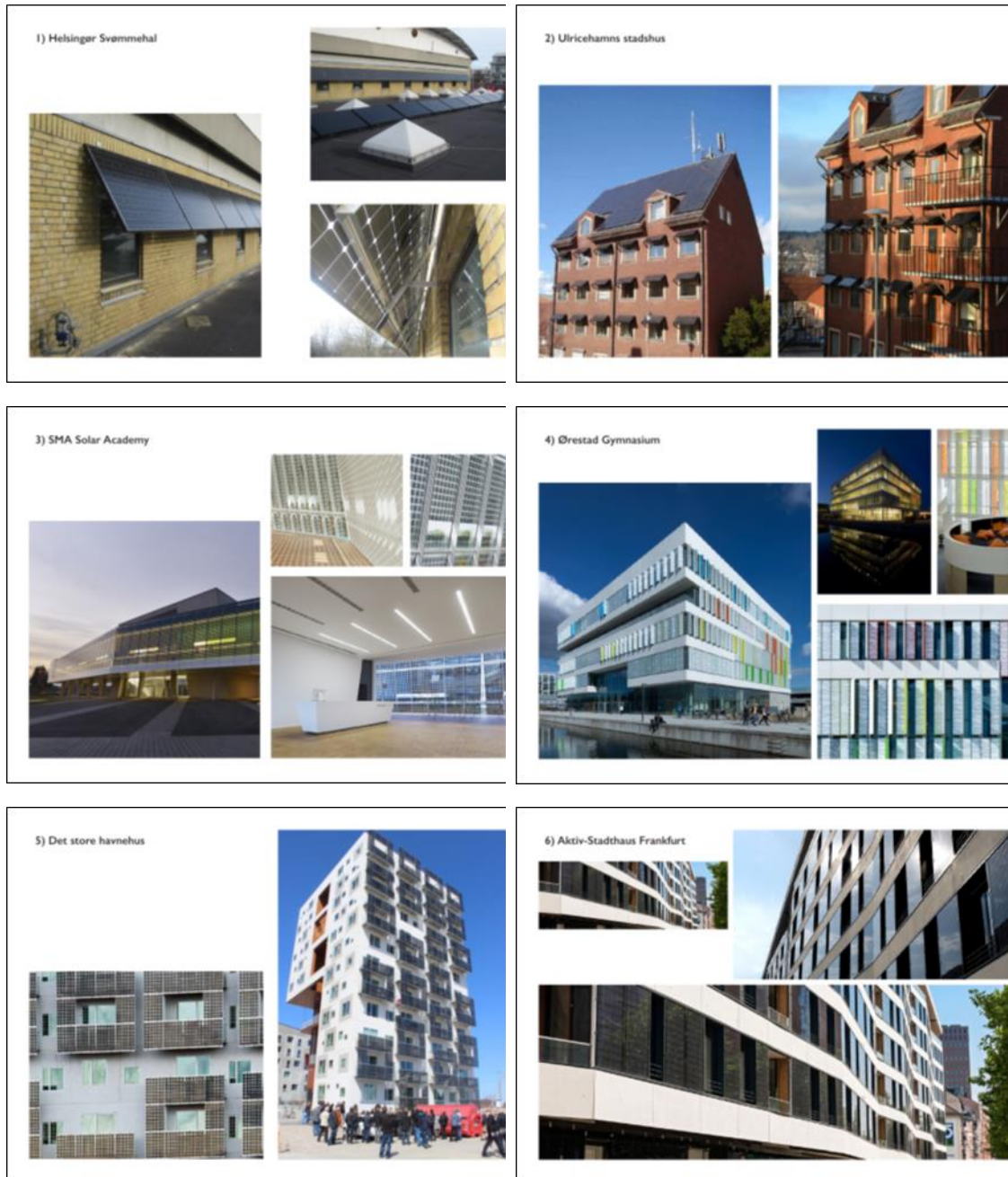
Bilaga A.5 Ark 415 Building Design Lab

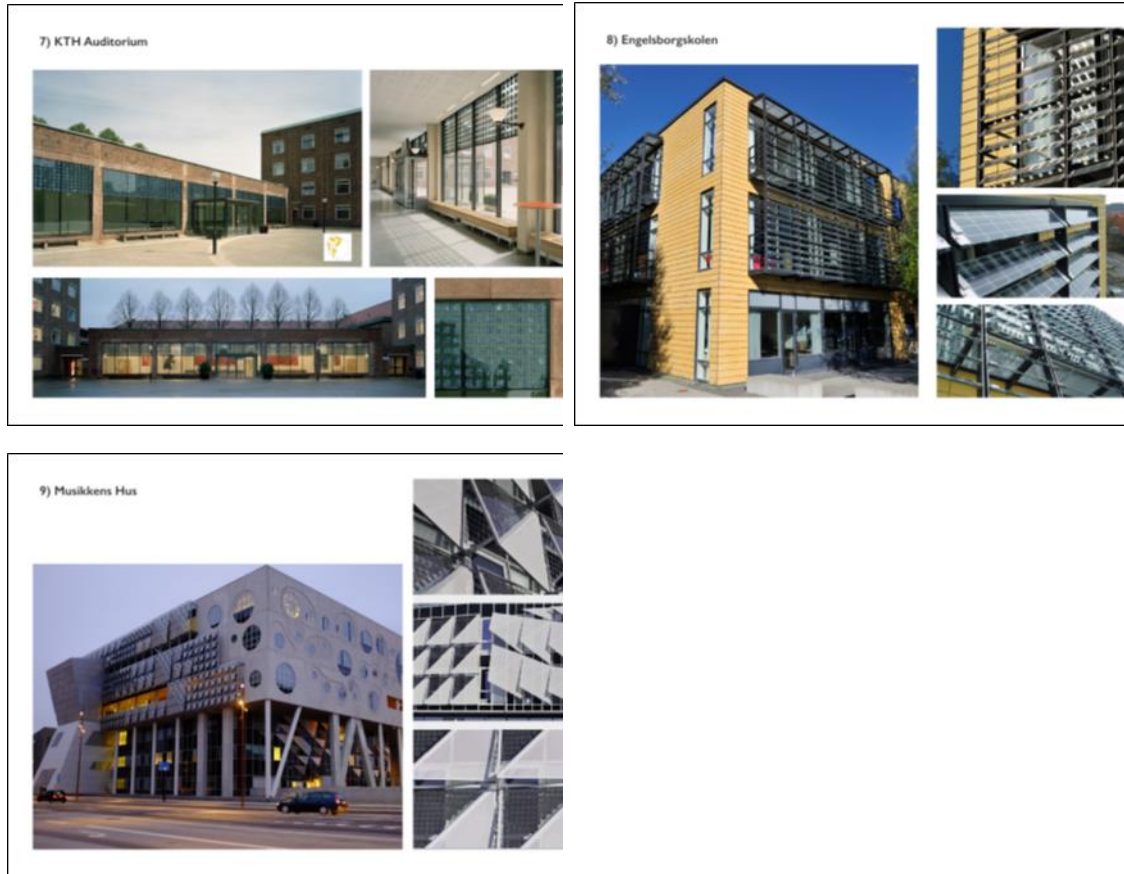
A.1 Parameter som finns beskrivna i ELSA-databasen

Nummer	[Löpnnummer 1 – 69]
Namn på projektet	[Namn + bild]
Typ av byggnad	[Annan; Bostad; Industri; Kommersiell; Kontor; Publik; Skola; Vård]
Typ av projekt	[Nybyggnad; Renovering]
Stad	[Namn på staden]
Land	[Namn på landet]
År färdigställande	[Årtal]
Typ av solavskärmning	[Olika varianter inom kategorierna: Integrerad; Invändig; Utvändig, + illustration]
Dynamisk	[Ja; Nej]
Typ av solceller	[Kristallina; Monokristallina; Polykristallina; Tunnfilm; Tunnfilm, kristallina; Nej; ?]
Installerad topp effekt	[kWp, ?]
Arkitekt	[Namn på arkitektkontoret]
Ägare	[Namn på ägare]
Information på webben	[Länk till hemsida]

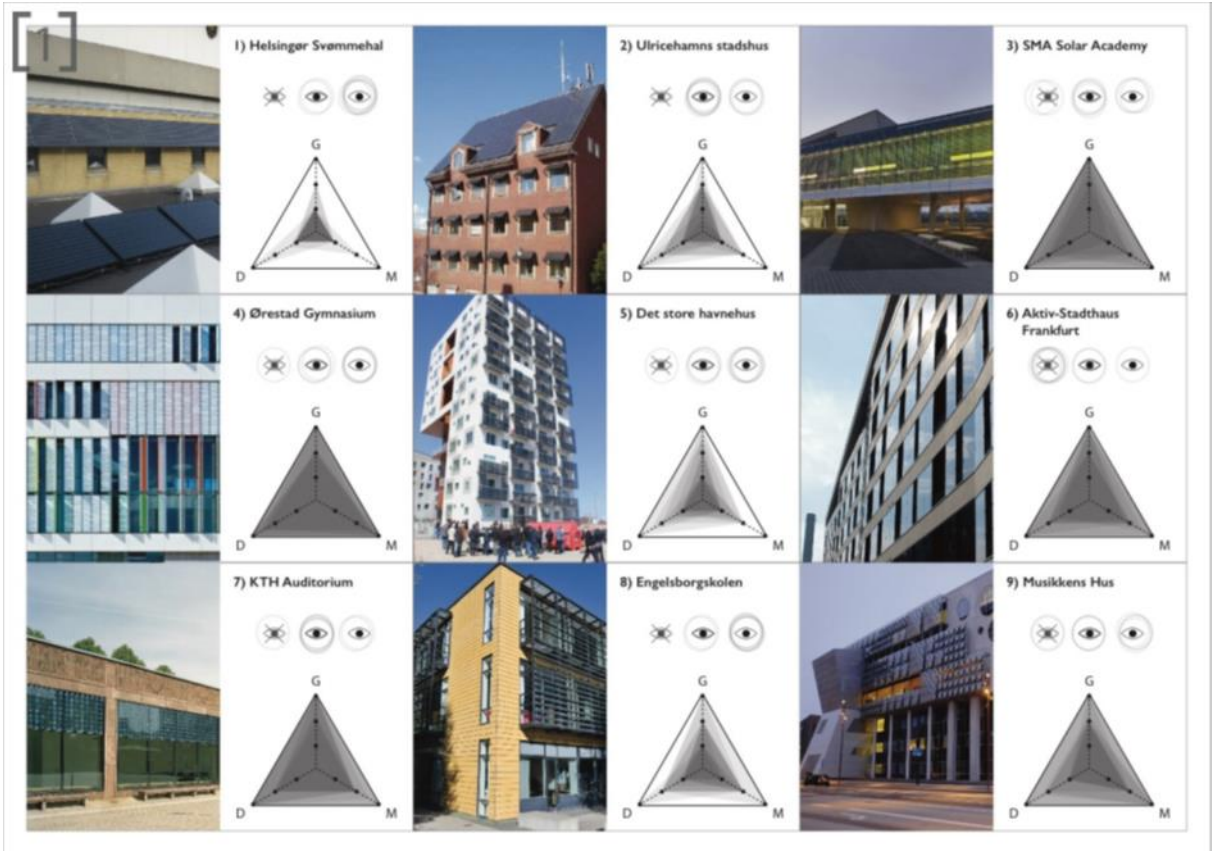
A.2 Workshop AIQ-modell

I del 1 bedömde varje deltagare individuellt arkitektonisk integrationskvalitet på nio utvalda byggnader med solavskärmningar från ett urval av fotografier på hela byggnader och byggnadsdetaljer. Bilderna nedan (Figur A. 1) visar de nio byggnaderna som har ingått i workshopen och test av AIQ-modellen.



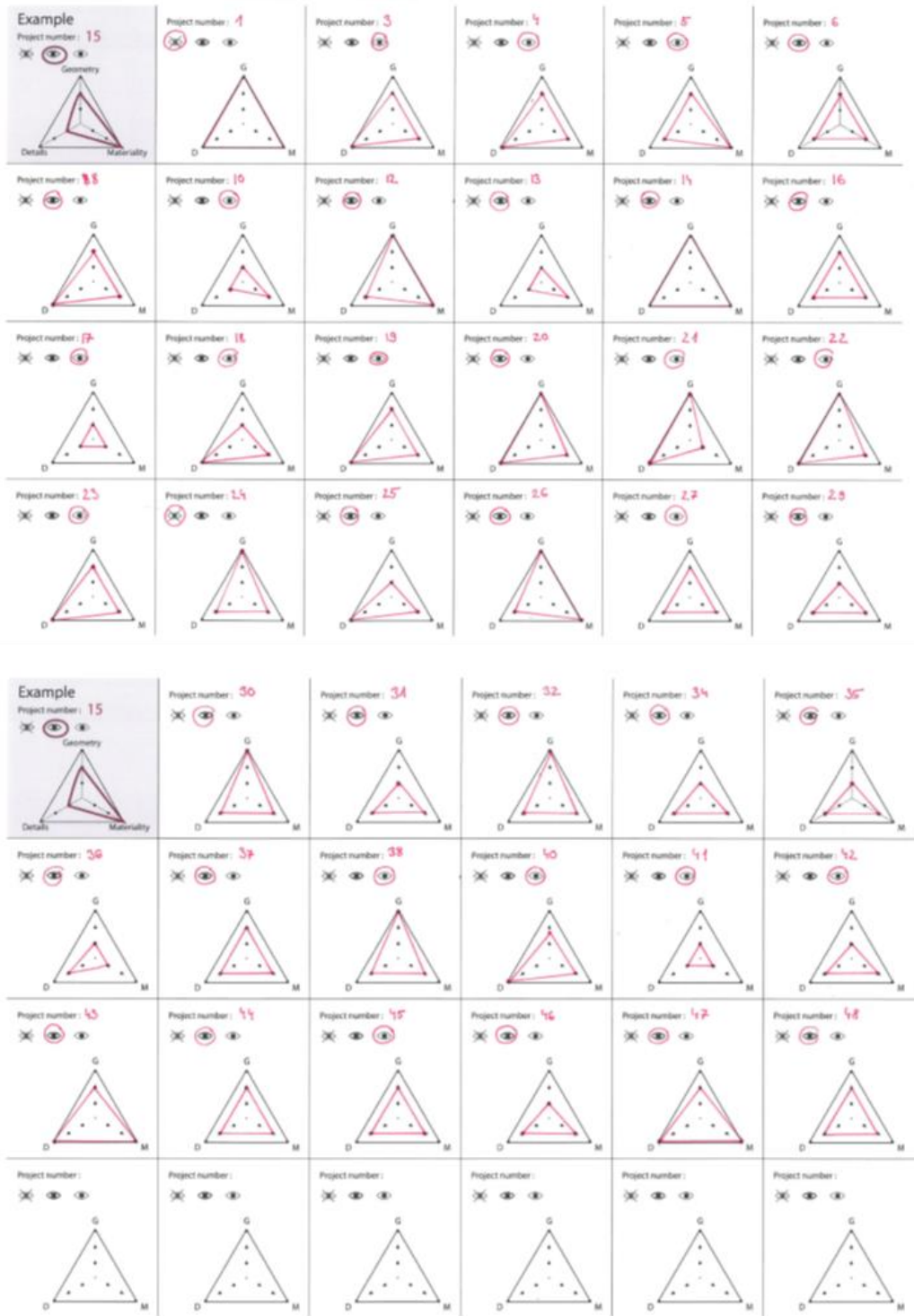


Figur A. 1 Nio utvalda byggnader för test av AIQ-modellen



Figur A. 2 Aggregerade resultat från bedömningens första del

A.3 Testresultat AIQ-modellen, exempel från en arkitekt



Figur A. 3 Testresultat AIQ-modellen, exempel från en arkitekt




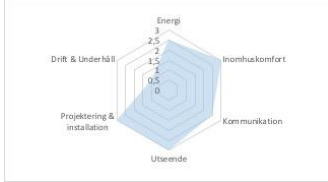

A.4 Ramverk för utvärdering av befintliga system



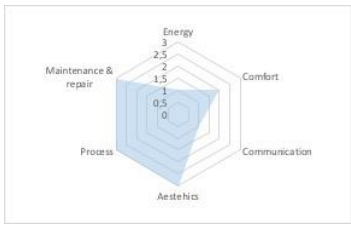

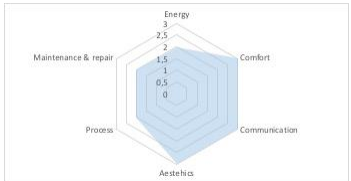
Tabell A. 1 Ramverk för utvärdering av befintliga system

	Nivå 0	Nivå 1	Nivå 2	Nivå 3
A. Energi- produktion	Knappast någon relevant energiproduktion	Täcker en mindre del av byggnadens energibehov	Producerar enligt förväntningar men inte tillräckligt för att täcka byggnadens behov	Producerar enligt förväntningar och täcker byggnadens behov
B. Inomhus- klimat	Ingen förbättring; Signifikant övervärme och stora problem med bländning	Någon förbättring av både övervärme och bländning	Förbättrade villkor för över värme och bländning	Stor förbättring, ingen övervärme och inga problem med bländning
C. Synlighet & kommunikation	Ingen återkoppling till brukare, liten synlighet och ingen extern kommunikation	Informationspanel som visar energiproduktion på insidan eller utsidan av byggnaden	Synlig informationspanel, regelbunden återkoppling till brukare, information i nyhetsbrev eller on-line	Bra synlig informationspanel, information på nätet, kommunikation och kunskapsspridning via olika nätverk och samarbeten
D. Estetik & arkitektonisk integration	Inte uppskattad av någon respondent/intervjuperson	En majoritet (>50%) av de tillfrågade uppskattar inte estetiken	En majoritet (>50%) av de tillfrågade uppskattar estetiken	Alla våra respondenter/intervjupersoner uppskattar estetiken
E. Projektering & installation	All tillfrågade fann projektet svårt eller nästan omöjligt genomföra	Minst 50% fann projektet problematiskt och dyrare än förväntat att genomföra	Minst 50% fann projektet enkelt att genomföra samt processen effektiv	All tillfrågade fann projektet enkelt att genomföra samt processen effektiv
F. Drift & underhåll	Behöver ständig tillsyn och underhåll	Behöver visst underhåll och lagning	Litet behov av underhåll och sällan lagning	Hitintills inget behov av underhåll eller lagning

Tabell A. 2 Bakgrundsinformation och resultat för de åtta solavskärmningsinstallationer som studerades närmare

Fall 1 Nybyggnad	Oslo operahus, nybyggnad (2007)		
	<p>Solavskärmning med solceller integrerat i tak och delvis i fasad. Lösningen föreslogs av arkitekten och utarbetades med hjälp av ett forskningsinstitut. Byggherren ställde inga krav på elproduktion. Installationen är dyr men fick bidrag från EU med krav på att den skulle vara synlig för allmänheten. Solavskärmningssystemet minskar bländning och efter ett tillägg minskas också övervärme. Enligt en teknikkonsult klagar brukare på brist på utsikt. Solcellerna fungerar inte längre enligt ägaren som inte specificerar varför. Underhåll och reparation av är tekniskt en utmaning och kostnadskrävande. Byggnaden är en internationell ikon, hyllad för sin experimentella teknologi.</p>		
	A	0	Fungerar inte för tillfället, när de fungerade levererades en väldigt liten del av byggnadens behov
	B	2,5	Den ursprungliga solavskärmningen behövde kompletteras med en extra rullgardin särskilt mot övervärme från sydfasaden.
	C	1,5	Det kan vara svårt att utläsa att det sitter solceller på fasaden och taket.
	D	3	Internationell ikon för god arkitektonisk design
	E	3	Samarbete har fungerat bra mellan olika aktörer, ett kreativt samarbete enligt arkitekten.
	F	1	Underhåll av solavskärmningen verkar fungera men solcellerna verkar vara dyra att åtgärda.
Fall 2	Örestad gymnasium, Köpenhamn, Danmark Nybyggnad (2007)		
	<p>Fasaden har horisontell dynamisk solavskärmning speciellt designad för bygganden men har inga solceller, och det har aldrig funnits planera på sådana. Arkitektur har varit väldigt uppskattad och skolan har haft högt söktryck. Däremot är den inte så funktionell. Systemet skall reagera på solljus men den centrala motorn som styr är dåligt placerad vilket försvårar underhåll och inte stark nog för att sköta systemet. Förvaltaren anser att systemet utformats för utseende inte funktion och de har fått sätta upp gardiner. Underhåll är svårt genom stora, tunga och utanpåsittande paneler.</p>		
	A	0	Finns inga solceller på solavskärmningen
	B	1	Målet var förbättrat inomhusklimat och komfort men har inte nåtts på grund av tekniska problem. Man har istället fått överhettning och bländning och har satt upp gardiner.
	C	2	Systemet är synligt men utan solceller
	D	3	Alla är väldigt nöjda med estetiken men systemet uppfyller som sagt inte sitt syfte
	E	1	Det fanns en del diskussioner mellan ingenjör och arkitekt i designskedet och dålig kommunikation i byggskedet.
	F	0	Svårt underhåll, panelerna är stora (täcker en hel våning), tunga och sitter högt. Det krävs en ställning för skötsel. Styrmotorn för systemet sitter också dåligt till för underhåll.

Fall 3	Potsdam Universitet, Tyskland Nybyggnad (2008)		
	<p>Fasaden med vertikal dynamisk solavskärmning men utan solceller är resultat av en inbjuden tävling. Solceller diskuterades inte 2004 p.g.a. kostnader, men arkitekten tror det skulle vara för komplicerat att integrera och föreslår annan placering. Systemet uppfyllde den tidens krav på inomhusklimat till ett lägre pris än kylning. Men uppförd med mål om en hög estetisk kvalitet och synlighet för Universitet så energieffektivitet och ekonomi fick stå tillbaka. Fasaden är specialdesignad och har en god funktion och ett högt estetiskt värde. Metallskärmarna är specialtillverkade. Både byggherre och brukare är nöjda och systemet är lätt att sköta, individuellt från varje kontor.</p>		
	A	0	Finns inga solceller på solavskärmningen
	B	3	Litet underlag men enligt arkitekt fungerar det bra
	C	2	Väl synligt, vackert men inga solceller och kanske svårt att sätta dig också enligt arkitekt
	D	3	Hög estetisk kvalitet vilket också var målet
	E	2	Enligt arkitekten har allt fungerat väl.
	F	2	Litet underlag. Arkitekten påstår att det fungerar väl. Sköts individuellt från varje rum. Vid snölast stänger sig skärmen en gång i timmen för att avlasta.
Fall 4	Energimidt, Silkeborg, Danmark Nybyggnad (2011)		
	<p>Byggnaden stärker företagets varumärke som energiproducent. Den dynamiska solavskärmningen har tunnfilmssolceller i två färger. Avskärmning kan styras centralt men också individuellt. Estetiskt är byggnaden lyckad och attraherar arkitekter. Energimässigt levererar den också bra. Det har varit svårt att installera det dynamiska systemet och det kräver mycket underhåll, teknikkonsulten förespråkar fast avskärmning.</p>		
	A	2,5	Väldigt lite data men enligt artikel på www.byggplads.dk verkar den leverera bra
	B	3	Enligt artikeln och teknikkonsulten fungerar det bra
	C	2,5	Det finns tydligen bra med informations-skärmar och annan feedback.
	D	3	Väldigt uppskattad i arkitekterkretsar.
	E	3	Enligt teknikkonsulten fungerade samarbetet väl.
	F	1	Systemet verkar ha brister när det gäller drift och är svårt att underhålla.
Fall 5	Umeå Energi huvudkontor Renovering (2015)		
	<p>Byggnaden hade tidigare markiser som blåste sönder. Eftersom man ville profilera sig som energikontor valde man ny solavskärmning med solceller, en "kepslösning" som för bygglovet ansågs likna de gamla markiserna. Projektet är en totalentreprenad även om en arkitekt skissade på olika lösningar initialt. Fastighetstekniker var med i hela processen. Lösningen som arkitekten tagit fram fungerade inte i praktiken. En lösning arbetades istället fram med leverantören utifrån standardiserade produkter. Det blev ändå dyrare än en solcellsanläggning på t.ex. tak. Lättskött och levererar energi enligt kalkyl.</p>		
	A	2	Levererar som beräknat men det är inte känt om installationen täcker hela byggnadens behov
	B	3	Förbättrat inomhusklimat var huvudmålet med installationen och det har uppnåtts

	C	2	Det finns en app med vilken brukarna kan få feedback på produktion.
	D	3	Alla är nöjda med projektet, rent estetiskt var förutsättningarna begränsade eftersom det var en renovering
	E	2	Gott samarbete och kommunikation i projekteringen, lite problem vid byggnation för att anpassa solavskärmning med solceller
	F	2,5	Kräver lite underhåll
Fall 6		KTH, passage mellan hörsalar Renovering (2006)	
	<p>Glasintegrerade solceller har installerats i en passage mellan två byggnader ursprungligen av Nils Arbom och klassad som byggnadsminne. Vid renoveringen byttes de högt sittande fönstren ut mot större glaspartier. Solcellerna installerades som solavskärmning. De bidrar till ett fint ljusmönster i passagen men ger knappt något energitillskott. Det är en estetisk installation som också signalerar också tekniks högskola anser förbipasserande. Uppförd med stora bidrag annars var kostnaderna för höga.</p>		
	A	1	Anläggningen producerar mycket lite energi, ger inga besparingar. Fanns inte heller förväntningar på hög produktion.
	B	2	Anläggningen ger lite skugga. Varmt i lokalen. Fungerar som bländskydd. Inga klagomål.
	C	1	Informationstavla i entrén.
	D	3	Samtliga tillfrågade parter tycker att det är väldigt snyggt.
	E	3	Projekteringen fungerade väldigt bra enligt tillfrågade parter.
	F	3	Anläggningen är underhållsfri och har inte krävt några reparationer.
Fall 7		Sollefteå sjukhus Renovering (2010)	
	<p>Sjukhusbyggnaden från 1960-talet hade problem med övervärme. Valet föll på solavskärmning med solceller genom en driven byggherre och förverkligat genom nationellt stöd för investering. Det har varit ett gott samarbete i processen men arkitekten kända att hen var den enda som tänkte på estetiken. Man diskuterade en enkle "kepslösning" men det valdes bort av estetiska skäl. Solskydd, kostnader och lågt underhåll. Installation bidrar bara marginellt till byggnadens energibehov. Ett problem vid installation var att solceller och solavskärmning inte görs i samma dimensioner.</p>		
	A	2	Producerar helt enligt förväntan. Täcker dock inte så mycket av byggnadens energibehov.
	B	3	Solavskärmningen ger önskad förbättrad effekt på inomhuskomforten.
	C	3	Informationstavla i entré om anläggningens produktion, samt information om sambandet med landstinget hållbarhetsarbete. Seminarier vid invigning. Webplattform.
	D	3	Samtliga tillfrågade parter är mycket nöjda med utseendet och byggnadsintegrering.
	E	2	Solelentreprenören är missnöjd med hur kostsam och tidskrävande monteringen blev.
	F	2	Underhållsfri. Har förekommit mindre skador pga. isras. Svårt att få tag på reservdelar, eftersom det är en specialtillverkning.

Fall 8	Alvesta kommunhus Renovering (2015)		
	<p>Kontorsbyggnaden från 1960-talet hade tidigare renoverats med ett kylsystem men problemen med övervärme kvarstod. 2015 installerades en solavskärmning mot väster och söder i form av en "kepslösning" ovan fönstren. Systemet inkluderar solceller på taket och leverera mer än byggnaden behöver. Nationellt stöd bidrog med 35 % av installations-kostnaden. Installationen har väckt uppmärksamhet. Övervägande delen av brukarna är nöjda med inomhuskomforten medan en klagar på bländning. Lågt underhåll men flera påpekar att lösningen inte är estetisk.</p>		
	A	3	Producerar enligt förväntan. Överskottsenergi säljs.
	B	2	Enligt svar från tre stycken brukare verkar det variera hur det upplevs.
	C	3	Informationstavlor i byggnaden. Studiebesök utifrån. Informationsspridning till andra kommuner
	D	2	Mer än hälften tycker att det är fult eller har ingen åsikt om utseendet. Ingen arkitekt var inblandad.
	E	1	Projekteringen blev kostsam på grund av beräkningar för infästningar bland annat.
	F	3	Anläggningen kräver inget underhåll och har aldrig behövt repareras.

A.5 ARK415 BUILDING DESIGN LAB



Education cycle: Second cycle

Introductory meeting: 30 October

First semester: -

4th yr fall: -

Field / Department: 55 — Architecture

Grading: 3, 4 or 5

Second semester: 10/30 — 01/12

5th yr fall: ARK415

COMPETITION

As part of the ELSA project run by RISE—Research Institutes of Sweden—this year's project will take the nature of a student competition. Representatives from the ELSA project—with expertise in solar shading and photovoltaics (PV)—will judge the competition. These experts will give lectures about possibilities and constraints concerning solar shading using integrated PV technology. Together with the traditional design parameters, the student groups will propose design ideas with performance results to be evaluated of a jury. Depending on result a price sum of approximately 30 000 SEK will be awarded to a single -or at most three- different projects at the exclusive will of the jury.

AIM

The aim of the course is to apply and deepen the knowledge about environmentally friendly planned workplaces such as offices, schools, factories and hospitals, where specific requirements like generality, flexibility and optimization for climate and energy can be formulated.

CONTENT

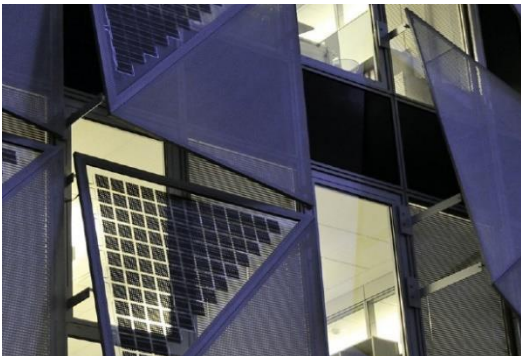
The content of the course is adapted to a current challenge concerning contemporary building techniques. The course offers two different areas of focus within the same project. One engineering approach to energy & climate studies and one architectural approach concerned with daylight and solar shading. Students will perform simulations concerning thermal- and visual comfort as well as minimizing energy loss using relevant software, for example IDA ICE, DIVA/Rhino.



PROJECT

This year's theme is to do preliminary studies of an office building with a strong focus on the facade solution. The course starts with a joint introduction and lectures and continues with the design project based on a generic office building in the Gothenburg region.

Contemporary office planning has a strong focus on facade design which has implications for building identity and technology. Both these issues should be merged together using modern digital tools to create an exciting and efficient skin responding to various parameters around a building. Design proposals will go as far as STOP standard i.e. structure, climate shell, main communication and HVAC. To achieve this, engineering and architecture students will work together in project team's 2-4 persons.



During the course you will receive relevant parameters concerning load bearing structure, building design, climate & energy techniques for designing an office building body to be wrapped in a cutting-edge facade solution. You will iterate your design throughout the project to achieve the best possible visual and technical performance. This optimization process is in the central task of the design project. The different disciplines within the team will need constant cooperation and dialogue just like in future professional projects later in your careers.

LEARNING OUTCOME

After completion of this course, the student should be able to:

- describe the complexity of the building design task after introductory lectures and study visits.
- investigate and analyse the conditions of the problem area and compile this into a report

- express conclusions and make decisions based on modelling and simulation of the building design; space, structure, climate and optimization regarding sustainable handling of material resources and energy use.
- starting from a space program, propose a sustainable design including building design, structural design, climate and energy techniques.
- design a climate shell.
- present the proposal in an exhibition and digital hand-in.
- describe, argue, evaluate and discuss own and others' proposals in critique together with reviewers from inside and outside the university.

STAFF

- Examiner: Lecturer Magnus Persson

Course Directors:

- Architect SAR/MSA Klas Moberg, Unit Arkitektur ab
- Civil engineer Max Tillberg, Bengt Dahlgren

Through our international collaboration programmes with academia, industry, and the public sector, we ensure the competitiveness of the Swedish business community on an international level and contribute to a sustainable society. Our 2,200 employees support and promote all manner of innovative processes, and our roughly 100 testbeds and demonstration facilities are instrumental in developing the future-proofing of products, technologies, and services. RISE Research Institutes of Sweden is fully owned by the Swedish state.

I internationell samverkan med akademi, näringsliv och offentlig sektor bidrar vi till ett konkurrenskraftigt näringsliv och ett hållbart samhälle. RISE 2 200 medarbetare driver och stöder alla typer av innovationsprocesser. Vi erbjuder ett 100-tal test- och demonstrationsmiljöer för framtidssäkra produkter, tekniker och tjänster. RISE Research Institutes of Sweden ägs av svenska staten.



RISE Research Institutes of Sweden AB
Box 857, 501 15 BORÅS
Telefon: 010-516 50 00
E-post: info@ri.se, Internet: www.ri.se

Energi och cirkulär
ekonomi
RISE Rapport : 2018:59
ISBN: 978-91-88907-03-5