



Miljontak- Takrenovering med solceller



Miljontak

Takreovering med solceller

Peter Kovács och Patrik Ollas RISE

David Larsson Solkompaniet

Liane Thuvander och Paula Femenías Chalmers

Frank Fiedler och Chris Bales Högskolan Dalarna





Förord

E2B2 Forskning och innovation för energieffektivt byggande och boende är ett program där akademi och näringsliv samverkar för att utveckla ny kunskap, teknik, produkter och tjänster.

I Sverige står bebyggelsen för cirka 35 procent av energianvändningen och det är en samhällsutmaning att åstadkomma verklig energieffektivisering så att vi ska kunna nå våra nationella mål inom klimat och miljö. I E2B2 bidrar vi till energieffektivisering inom byggande och boende på flera sätt. Vi säkerställer långsiktig kompetensförsörjning i form av kunniga människor. Vi bygger ny kunskap i form av nyskapande forskningsprojekt. Vi utvecklar teknik, produkter och tjänster och vi visar att de fungerar i verkligheten.

I programmet samverkar över 200 byggtreprenörer, fastighetsbolag, materialleverantörer, installationsleverantörer, energiföretag, teknik konsulter, arkitekter etcetera med akademi, institut och andra experter. Tillsammans skapar vi nytta av den kunskap som tas fram i programmet.

Miljontak - Takrening med solceller är ett av projekten som har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten och med stöd från SBUF-Sveriges Byggindustriers Utvecklingsfond och deltagande partners. Det har letts av RISE och har genomförts i samverkan med Sveriges Byggindustrier, Chalmers, Solkompaniet, Högskolan Dalarna, White arkitekter, Riksbyggen, Vätterhem, Skanska Sverige, NCC och Wästbygg.

Många av miljonprogrammets byggnader har platta eller låglutande tak. Projektet har lagt grunden till ett koncept där ett nytt tak med solceller bildar ett vindsutrymme som kan utnyttjas för tekniska installationer. Projektet har utvärderat och presenterat 2-3 effektiva renoveringskoncept med klimatnytta och replikeringspotential tillsammans med ny kunskap om hur koncepten ska bli efterfrågade.

Stockholm, 27 december 2017

Anne Grete Hestnes,

Ordförande i E2B2

Professor vid Tekniskt-Naturvetenskapliga Universitet i Trondheim, Norge

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att E2B2 har tagit ställning till innehållet.



Sammanfattning

Projektet har undersökt förutsättningarna för ett industrialiserat angreppssätt där plana tak i miljonprogrammet i behov av renovering ersätts av låglutande sadel- eller pulpettak täckt av solceller. En utgångspunkt har varit att samordnad renovering och solcellsinstallation, i första hand med ett prefabricerat takelement och solcellsmoduler färdigmonterade från fabrik, kan bidra till sänkta kostnader. Projektet har föreslagit två konceptlösningar vilka bedöms kunna öka den tekniska potentialen i segmentet med minst 50 %. De förväntas kunna ge en enklare och bättre kvalitetssäkrad byggprocess, mer yteffektiva och snyggare solcellsinstallationer samt enklare drift och underhåll av tak och installationer. Jämfört med en liknande platsbyggd takrenovering med efterföljande solcellsinstallation har en första kalkyl visat att totalkostnaden åtminstone inte behöver öka.

Investeringar i solel ökar sedan flera år kraftigt i Sverige, främst till följd av kraftigt sjunkande priser men också som ett resultat av en mer konsekvent stödjande regeringspolitik. Intresset är också stort hos många fastighetsägare där solelen kan ses som en energieffektiviseringsåtgärd med stor klimatnytta. Processerna behöver dock effektiviseras och osäkerhet och brist på kunskap hos beställare behöver hanteras. Projektet "Miljontak – Takrenovering med solceller" har sett en möjlighet att ta sig an flera av dessa utmaningar i samband med takrenovering, vilket är ett aktuellt behov i många av miljonprogrammets flerbostadshus. För att förstå processerna kring takrenovering och solcellsinstallation genomfördes en processsimuleringsworkshop med representanter från bostadsföretag, entreprenörer, solcells företag, arkitekter och forskare. En uppföljande enkätstudie riktades till bostadsföretag och bostadsrättsföreningar i hela Sverige. Kompletterat med intervjuer undersöktes omfattningen och utformningen av större, genomförda takrenoveringar med fokus på solcellsinstallationer samt förutsättningar för framtida takrenoveringar och möjlighet att integrera solceller.

Två alternativa konceptlösningar, bland annat baserade på detta underlag beskrivs schematiskt och uppskattade kostnader jämförs med ett alternativ där renovering och installation av solceller sker platsbyggt på sedvanligt sätt. Projektet är ett tidigt konceptarbete och den ekonomiska analysen behöver fördjupas och generaliseras genom fallstudier och demonstrationsprojekt. Dessa ska också kunna bidra till den processutveckling som projektresultaten efterlyser. Projektet har också visat på idéns utmaningar i form av begränsade investeringsmöjligheter och ett regelverk som ger ett svagt stöd till energieffektivisering i samband med renovering, samtidigt som andra tillkommande krav kan fördyra genomförandet avsevärt. Flera tekniska och organisatoriska utmaningar återstår att lösa och en innovationsupphandling föreslås på sikt som en möjlighet för att ta koncepten vidare till realisering.

Nyckelord: Takrenovering, miljonprogrammet, solceller, klimatnytta, prefabricering, energieffektivisering



Summary

The project has investigated the prerequisites of an industrialized approach, replacing flat roofs in the million program in need of renovation by low-seamed saddle or pulp roofs covered by solar cells. A main assumption has been that coordinated refurbishment and solar installations, primarily with a prefabricated roofing element and solar modules factory-installed, can contribute to reduced costs. The project has proposed two concept solutions that are expected to increase the technical potential of the segment by at least 50%. They are expected to be able to provide a simpler and better quality-assured construction process, more efficient and aesthetic photovoltaic (PV) systems, as well as ease of operation and maintenance of roofs and installations. Compared to a similar site-based roof renovation with subsequent solar installation, a first estimate has shown that the total cost will at least not increase.

Investments in solar PV have grown in Sweden for several years, mainly as a result of sharply declining prices, but also as a result of a more consistently supportive government policy. The interest is also large among many property owners, where solar can be seen as an energy efficiency measure with a high level of climate benefit. However, processes need to be streamlined and uncertainty and lack of knowledge among property owners need to be addressed. The project "Million Roof – Roof renovation with Solar Cells" has seen an opportunity to address several of these challenges in the renovation of roofs, which is a current need in many of the multi-apartment houses in the Million Program. To understand the processes of roof renovation and solar installation, a process simulation workshop was conducted with representatives from residential companies, contractors, solar companies, architects and researchers. A follow-up survey was addressed to housing companies and tenant-owner associations throughout Sweden. Along with additional interviews the survey investigated the extent and design of major, completed roof renovations, focusing on solar systems and the conditions for future roof renovations and the possibility of integrating solar cells.

Two alternative conceptual solutions, partly based on this work, are described schematically, and estimated costs are compared with an alternative where the renovation and installation of solar cells is carried out in a conventional manner. The project is an early conceptual work and the economic analysis needs to be deepened and generalized through case studies and demonstration projects. These are also likely to contribute to the necessary process development, as indicated by the project results. The project has also high-lighted challenges to the concept that can complicate large-scale implementation, for example limited investment opportunities and a regulatory framework that provides poor support for energy efficiency measures in connection with renovation, while other additional requirements can increase costs significantly. Several technical and organizational challenges remain to be solved and a procurement of innovation is proposed in the long term, as an opportunity to bring the concepts to realization.

Keywords: Roof renovation, million program, solar cells, climate benefits, prefabrication, energy efficiency



INNEHÅLL

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	7
1.1	SOLENERGI OCH RENOVERINGEN AV MILJONPROGRAMMET	7
1.2	KLIMATNYTTA	8
1.3	EN BRED REPRESENTATION I PROJEKTGRUPPEN	8
1.4	PROJEKTETS MÅL	8
2	GENOMFÖRANDE	9
2.1	KARTLÄGGNING – DELPROJEKT 1	9
2.2	LITTERATURSAMMANSTÄLLNING – DELPROJEKT 2	10
2.3	ANALYS OCH KONCEPTUTVECKLING – DELPROJEKT 3	10
2.4	PROJEKTLEDNING OCH KOMMUNIKATION – DELPROJEKT 4	10
3	RESULTAT	11
3.1	RESULTAT FRÅN PROCESSIMULERING	11
3.2	RESULTAT FRÅN ENKÄTER OCH INTERVJUER	12
3.3	ERFARENHETER FRÅN RENOVERINGAR UTAN SOLCELLER	12
3.4	RESULTAT FRÅN LITTERATURSAMMANSTÄLLNING	13
3.5	RESULTAT FRÅN KONCEPTUTVECKLING	15
3.6	KOMMUNIKATION OCH INFORMATIONSSPRIDNING	17
4	DISKUSSION	18
5	SLUTSATSER	19
6	PUBLIKATIONSLISTA	20
7	CITERADE ARBETEN	21
	BILAGOR	23



1 Inledning och bakgrund

1.1 Solenergi och renoveringen av miljonprogrammet

Energimyndigheten beskriver i sin solstrategi från 2016 hur användningen av sol i Sverige skall kunna ökas för att om drygt 20 år kunna utgöra en väsentlig del i den svenska el-mixen med 5–10 % av den totala produktionen (Energimyndigheten, 2016). För att nå detta mål kommer det att krävas insatser på en rad olika områden. Intresset bland fastighetsägare är visserligen stort men kommer ofta av sig på grund av exempelvis osäkra underlag för lönsamhetskalkyler eller osäkerhet om teknikens möjligheter och begränsningar. Det kan också handla om brist på kunskap eller uppfattningar om för svag ekonomisk lönsamhet i förhållande till andra energieffektiviseringsåtgärder (Haegermark, 2016) (Wahlström, Dalenbäck, Paradis, & Winkler, 2012). Här pågår för närvarande en hel rad av aktiviteter initierade av staten för att exempelvis öka kompetensen hos beställare, installatörer med flera och för att anpassa regelverk kring skatter vilket samtidigt skapar nya affärsmöjligheter för nya och etablerade aktörer.

Projektet syftar till att bättre förstå hur ägare och förvaltare av flerbostadshus resonerar kring satsningar på renovering och investering i solceller. Vi har också undersökt om samordnad renovering och solcellsinstallation, i första hand med utgångspunkt i ett prefabricerat takelement, kan bidra till sänkta kostnader och en effektivare process. Dagens solcellssystem är visserligen avsevärt billigare än för bara några år sedan och prisfallet fortsätter, om än i långsam takt. Men eftersom solenergibranschen och regeringen är eniga om att investeringsstödet, som än så länge är en förutsättning för att många affärer ska komma till stånd, på sikt ska fasas ut så behöver alla möjligheter till sänkta kostnader tas tillvara. I synnerhet om de samtidigt kan leda till högre kvalitet i genomförda installationer. Mycket arbete pågår också kring ökad egenanvändning av den producerade solelen där den snabba utvecklingen av lagringsteknik och eldrivna transporter är en viktig del av möjligheterna, vilket delvis också berörs i rapporten (Gullberg, 2017).

Renoveringen av miljonprogrammet är en stor utmaning som är nödvändig att bearbeta av flera skäl. Här finns en stor potential för minskad energianvändning och många områden är nedgångna och hårt slitna vilket bidrar till ökad segregation och social oro. Stora investeringar krävs och möjligheterna att finansiera omfattande renoveringar är ofta kraftigt begränsade, särskilt som de områden som är i störst behov av renovering också har den lägsta betalningsförmågan (Mangold, Österbring, Wallbaum, Thuvander, & Femenias, 2016). Detta gör att renoveringen av miljonprogrammet går alldeles för långsamt framåt.

Följande tankar och hypoteser har legat till grund för projektets tillkomst:

- Solelinstallationerna går att göra betydligt effektivare och därmed lönsammare om de samordnas med takrenoveringar
- De ekonomiska förutsättningarna för solenergiutnyttjande i flerbostadshus förbättras kontinuerligt och många fastighetsägare går i tankar på soleinvesteringar. Genomarbetade lösningar för samordnad takrenovering och solelinstallation bör leda till att fler samtidigt "ser om sina tak" när man investerar. På så sätt kan projektet bidra till en ökad renoveringstakt.



- En prefabricerad taklösning med integrerade solceller bör vara mer kostnadseffektiv än en platsbyggd takrenovering med solceller och bidra till en högre kvalitet i slutprodukten.

1.2 Klimatnytta

Det övergripande syftet med renoveringskonceptet är att ge stor klimatnytta, det vill säga att i så stor utsträckning som möjligt bidra till minskade utsläpp av växthusgaser. Därför har ambitionen varit att konceptet ska generera så mycket solet som möjligt, inom ekonomiskt rimliga gränser och med hänsyn till arkitektoniska överväganden.

1.3 En bred representation i projektgruppen

Projektgruppen har satts samman i syfte att täcka in de viktigaste aktörerna som utför en takrenovering med solceller i ett flerbostadshus. Förutom RISE, som har lett projektet, Chalmers och Högskolan Dalarna som har lett varsitt delprojekt så har Solkompaniet representerat flera funktioner från soletbranschen t.ex. konsult-, leverantörs- och installatörsperspektiven. Solkompaniet har dessutom lett delprojektet om konceptutveckling. Skanska Sverige har svarat för byggtreprenörskunnandet och White tillsammans med Chalmers för arkitektkårens olika roller och perspektiv. Riksbyggen med stor erfarenhet av såväl bostadsrättsföreningar som egna hyresfastigheter och Vätterhem som representant för allmännyttan har bidragit med beställarperspektiv och gett oss en bredare förståelse för hur olika upplåtelseformer påverkar beslutsprocesser och ekonomiska överväganden.

1.4 Projektets mål

Följande mål har projektet satt upp:

- Att presentera en teknisk potential för soletproduktion och energieffektivisering genom bred tillämpning av miljontakskonceptet
- Att ge förslag på 2–3 olika taklösningar att undersöka i detalj och eventuellt ta fram som nära kommersiella produkter i uppföljande projekt
- Att bidra med kunskap om beslutsprocessen vid renovering, hur olika fastighetsägare resonerar och vilka faktorer som påverkar beslut om takrenovering
- Att bidra med kunskap om tekniska och ekonomiska möjligheter och begränsningar kring takrenoveringar enligt vår modell
- Att bidra med underlag för utformande av riktlinjer för nya taklösningar med solceller vad gäller estetisk integration i befintliga byggnader och respekt för bevarandevärden



2 Genomförande

Projektet har delats in i fyra delprojekt enligt Tabell 1 som också beskriver rollerna i projektet.

Tabell 1 Projektupplägg och arbetsfördelning

Del-projekt	Innehåll	Ledning	Medverkande
1	Kartläggning av möjligheter och begränsningar i processen kring renovering och eventuell påbyggnad. Kostnader och lönsamhet, lagring av el m.m. Processimulering, enkäter, intervjuer	Chalmers Arkitektur och Samhällsbyggnadsteknik	Samtliga projektpartners
2	Litteratursammanställning beträffande erfarenheter av solcellsinstallationer vid takrenovering, VVS-installationslösningar, statistik över bygnadsbeståndet, policies och hinder för renovering med solceller	Högskolan Dalarna	Chalmers, RISE, Högskolan Dalarna
3	Analys och sammanställning av resultat från delprojekt 1) och 2) och konceptutveckling d.v.s. beskrivning av två olika lösningar för takrenovering med solceller	Solkompaniet	Samtliga projektpartners
4	Projektledning och kommunikation	RISE	Samtliga projektpartners

2.1 Kartläggning – delprojekt 1

Kartläggningen har letts av Liane Thuvander och Paula Femenías på Chalmers Institutionen för Arkitektur och samhällsbyggnadsteknik. Dess övergripande syfte var att undersöka drivkrafter och incitament för takrenovering med/utan solceller och att förstå hinder. Detta har gjorts genom att bland annat undersöka processen kring takrenovering med eller utan solceller från idé till drifttagning utifrån olika aktörsperspektiv och genom att undersöka förutsättningar för framtida takrenoveringar och möjlighet att integrera solceller.

Den första aktiviteten var en så kallad processimuleringsworkshop där de olika delarna i ett renoveringsprojekt och en solcellsinstallation gick igenom av en grupp med representation från byggentreprenör, arkitekt, fastighetsägare, solelntreprenör och forskare. Huvudsyfte med processimuleringen var att ge projektet en startpunkt i form av en tydlig problembeskrivning inför det fortsatta arbetet. Ett annat syfte var att med resultatet som underlag kunna skriva en populärvetenskaplig artikel (Kovács, Thuvander, Femenias, Hemlin, & Larsson, 2017) och väcka intresse för projektet.

I nästa steg togs ett frågeformulär fram i samråd med alla projektpartners (Thuvander, Femenías, & Gren, 2017) och med denna som bas genomförde Chalmers en enkätundersökning där 82 potentiella



respondenter (fastighetsägare) identifierades ur Energimyndighetens bidragsdatabas för solcellsinstallationer. Några av respondenterna valdes senare ut för fördjupade intervjuer. Arbetet utfördes med stöd av projektassistenterna Johan Gren och Maria Xygekogianni på Chalmers. Dessutom har Högskolan Dalarna sammanställt erfarenheter från ett antal genomförda takrenoveringar.

2.2 Litteratursammanställning – delprojekt 2

Delprojektet har letts av Frank Fiedler vid Högskolan Dalarna (HDA) som sammanställt resultatet från övriga deltagares arbeten inom delprojektet och även bidragit med en egen del kring tidigare publicerad statistik för byggnadsbeståndet. Chalmers har sökt litteratur som avhandlar beslutsprocesser kring renovering och aspekter på arkitektonisk integration av solceller i bebyggelsen. RISE har sammanställt en rapport om publikationer som redovisar erfarenheter av solcellsinstallationer och *state-of-the-art* beträffande incitament för dessa samt ”morötter och piskor” för renovering av flerbostadshus generellt.

2.3 Analys och konceptutveckling – delprojekt 3

Delprojektet som har letts av David Larsson på Solkompaniet syftar till att beskriva två möjliga koncept för renovering av platta eller låglutande tak med solceller. Arbetet har bedrivits som en iterativ process där alternativa lösningar utvärderats utifrån några vägledande aspekter som klimatnytta, hänsyn till estetik- och bevarandefrågor, rationell byggprocess samt tillgänglighet och service. Arbetet baseras dels på en analys av resultaten från de föregående två delprojekten, dels på resultat från ett parallellt pågående forsknings- och utvecklingsprojekt ”Konkurrenskraftiga industrialiserade solcellstak (PROOF)” som finansieras av Energimyndigheten. RISE, Skanska och Solkompaniet samarbetar där med komponenttillverkaren Elementum Eco kring ett prefabricerat solcellstak. Ett examensarbete vid Uppsala universitet handlett av David Larsson har studerat möjligheten att använda energilagring i form av batterier och ackumulatortankar som ett sätt att öka andelen egenanvänd solex (Gullberg, 2017).

Möjligheterna att finansiera en mer omfattande takrenovering inkluderande solceller genom att antingen skapa ett tillkommande användbart utrymme under det nya taket, eller genom att bygga på nya våningsplan berörs kortfattat.

2.4 Projektledning och kommunikation – delprojekt 4

Delprojekt 4 som letts av Peter Kovacs på RISE har bestått i projektledning och kommunikation av projektet och dess resultat i vilket samtliga projektpartners varit delaktiga. Projektet har kommunicerats via seminarier, konferenser, artiklar i fackpress, nyhetsbrev och i sociala media. En referensgrupp med deltagare från NCC Sverige, Svenska bostäder, Weland Stål och Skoglunds Bygg har etablerats för projektet och två referensgruppsmöten har genomförts under projektet.



3 Resultat

3.1 Resultat från processimulering

Resultaten speglar både utmaningar, hinder och möjligheter för takrenovering med solceller varav de viktigaste redovisas här. Genomförande och resultat redovisas mer omfattande i en artikel i Bygg och teknik (Kovács, Thuvander, Femenias, Hemlin, & Larsson, 2017).

3.1.1 Utmaningar och hinder

Hinder sammanfattas i resultaten från processimuleringen som "kunskapsbrist, osäkerhet, ovana och otydlighet". Flera av dessa upplevda hinder bör kunna undanröjas relativt enkelt, bland annat genom utbildning och information baserat på allt vanligare förekommande goda exempel och flera nya publikationer som litteratursammanställningen lyft fram (Sommerfeldt, Muyingo, & af Klintberg, 2016) (Haegermark, 2016) (Axelsson, Blomqvist, Dvali, Ludvig, & Unger, 2017) (Miljöförvaltningen i Stockholms stad, 2016).

En standardiserad process för genomförande av samordnad renovering med solceller saknas och solcellerna behöver finnas med tidigt i planeringen så att de kan förankras väl hos de viktigaste aktörerna. Risken är annars stor att de prioriteras bort längs vägen. Extra viktigt blir detta eftersom installationen ska samordnas med ett smalt tidsfönster för renoveringen. Återkoppling och sammanställning av erfarenheter från genomförda projekt är viktig och behöver förbättras för att effektivisera kunskapsuppbyggnaden kring renovering och solcellsinstallationer och kring kombinationen av de båda. En tydlig gränsdragning av ansvar är viktig vid samtidig takrenovering och solcellsinstallation såvida inte en entreprenör ansvarar för hela utförandet.

3.1.2 Möjligheter

En gemensam anslutningspunkt och undermätning av lägenhetselen är viktiga för solelens lönsamhet i dagsläget. Det bidrar till ökad egenanvändning eftersom solelen då kan bidra till all elanvändning i byggnaden. Dessutom minskar de fasta kostnaderna för abonnemang vilket har gjort att man i vissa fastigheter infört detta redan innan solceller blir aktuellt.

Miljonprogrammets renoveringsbehov, som ofta innefattar taken är en uppenbar möjlighet för ökad solelanvändning i Sverige. Det finns en politisk enighet om att öka energiproduktionen från sol i Sverige vilket tar sig flera uttryck: regelverken förenklas och incitamenten blir fler och bättre.

Nya aktörer med nya affärsmodeller, t.ex. leasingavtal för solceller, kan lyfta en stor del av den administrativa bördan från fastighetsägaren. Elbilsboomen och den sammanhängande utvecklingen på batterier ger nya möjligheter att få avsättning för den producerade elen och kan på så sätt bidra till att större anläggningar kommer till stånd.

3.1.3 Öppna frågor

Ett antal potentiellt viktiga skillnader mellan BRF:er och hyresfastigheter konstaterades när det gäller beslutsprocessen, beställarkompetens och ekonomi. Exakt vilken betydelse de har i samband med en



renovering med solceller har vi inte analyserat. En informationssatsning riktad till fastighetsägare behöver därför klarlägga detta och anpassa materialet därefter.

3.2 Resultat från enkäter och intervjuer

Enkätsvaren representerar en mycket stor spridning mellan små och stora fastighetsägare och av 77 tillfrågade inkom till slut svar från 28 (36 %). Svarefrekvensen visar på ett betydligt större intresse i bostadsrätter jämfört med hyresrätter. Plana tak visar sig ha varit i fokus för takrenoveringsåtgärder som de senaste fem åren mest skett i byggnader från 1961–1980. I merparten av dessa har man bara återställt till originalskick eller motsvarande. Cirka hälften av renoveringarna beror på att taket tjänat ut vilket borde innebära goda möjligheter till välplanerad process för samtidig renovering och installation av solceller. De flesta anger att de idag gör antingen renovering eller installerar solel, men vid framtida renoveringar avser varannan tillfrågad att göra det samordnat.

För dålig lönsamhet och för stor osäkerhet kring framtida kostnader för drift av solelanläggningar och för köpt el, samt olämplig taklutning- eller orientering var de viktigaste skälen till att inte satsa på solceller. Anmärkningsvärt nog fanns ingen efterfrågan på snyggare installationer och kunskapsnivån anses, i motsats till resultaten från processimuleringen, vara tillräcklig avseende drift och underhåll.

Ingen av de svarande hade någon erfarenhet av prefabricerade takelement med solceller men bland fastighetsägarna fanns ett visst intresse för en sådan produkt (13 "nej" 8 "ja"). Tillbyggnad av nya våningsplan är en intressant möjlighet ur projektets perspektiv eftersom det kan erbjuda bättre både tekniska och ekonomiska förutsättning för en prefabricerad produkt. Enkätsvaren visar att detta är sällsynt men förekommer även i miljonprogrammet. Intervjusvar redovisar att det förekommer dels som en följd av tilltagande bostadsbrist, dels som ett möjligt alternativ till att renovera alltför nedgångna hus i ett bestånd som i stället rivs. Det är dock en kostsam lösning som är svår att finansiera om inte läget är extra attraktivt.

En sammanfattande slutsats av enkätundersökningen är att för att bättre förstå takrenovering och potential för samtidig installation av solceller i flerbostadshus behövs forskning kring renoveringsprocesserna generellt och kring beslutsfattandet inom olika aktörskategorier. Resultaten från enkätstudien har sammanfattats i en rapport (Thuvander, Femenías, & Gren, 2017) och en konferensartikel (se kapitel 6).

3.3 Erfarenheter från renoveringar utan solceller

Inga erfarenheter av inredda takvåningar i samband med ombyggnad från plant tak till sadeltak har dokumenterats. Däremot förekommer att man skapat installationsutrymmen hos t.ex. Tunabyggen i Borlänge. De viktigaste skäl som nämns för att inte installera solceller är att man valt bort solceller till förmån för annan energieffektivisering, att man redan köper vindkraftsel vilket minskar intresset för solel eller att solceller uteblir på grund av bristande kunskap om teknik, ekonomi och regelverk. Vätterhem har renoverat tak och därefter installerat solceller men ser goda möjligheter till minskade kostnader genom att samordna detta vilket man avser göra i kommande takrenoveringar.



3.4 Resultat från litteratursammanställning

Litteratursammanställningen från delprojekt 2 består av tre interna arbetsrapporter (Kovacs, Ollas, & Hemlin, 2018) (Thuvander, Femenías, & Gren, 2017) (Fiedler et al., 2018) som sammanfattas i kortform nedan. För mer detaljer hänvisas till dessa rapporter.

3.4.1 Statistik från miljonprogrammet

Rapporten av Fiedler et al (2018) redovisar tillgänglig statistik om miljonprogrammets flerbostadshus vilken visade sig vara till liten hjälp för att bedöma potential och affärsmöjligheter för takrenovering med solceller (Fiedler, et al.2018). Detta då detaljer kring genomförda renoveringar är bristfälligt dokumenterade både nationellt och hos enskilda större fastighetsägare. Detta borde hämma företagens möjligheter att ta fram bra renoveringsstrategier liksom myndigheternas möjligheter att nationellt styra krav och incitament på området.

- Statistiken redovisar i huvudsak förekomsten av olika hustyper och konstruktionslösningar för stommar, tak och vindbjälklag, ventilationslösningar och geografisk fördelning av beståndet
- Statistik från 2012 anger att cirka 600 000 av lägenheterna i flerbostadshus byggda under miljonprogrammet är i behov av renovering (Formas, 2012)
- Statistiken från BETSI (2010) (Boverket, 2010) ger liten vägledning om hur långt renoveringen av miljonprogrammets flerbostadshus har kommit. I ett arbete från 2017 (Mangold, Österbring, Wallbaum, Thuvander, & Femenias, 2016) redovisas att mellan 44 % och 78 % av beståndet i Göteborg utan förorter återstår att renovera och ett genomsnitt för riket anges till 60 %. Den högsta siffran gäller privatägda hyresbostäder för låginkomsttagare och den lägre allmännyttan med bättre bemedlade hyresgäster
- Frånluftsventilation är standard i de allra flesta miljonprogramshus vilket betyder att ventilationen oftast behöver åtgärdas vid energirenovering vilket ökar elanvändningen och därmed möjliggör ökad egenanvändning av solel.

3.4.2 Beslutsprocesser vid renovering av flerbostadshus

I sammanställningen av Thuvander et. al (2017) konstateras att det finns få vetenskapliga artiklar om beslutsprocesser vid installation av solceller liksom arkitektonisk integration (Thuvander, Femenías, & Gren, 2017). Resultaten beskriver komplexiteten i en renoveringsprocess jämfört med nyproduktion bl.a. genom brister i tekniska underlag, behovet av att förhålla sig till en befintlig kontext såsom ekonomiska, sociala och kulturella värden samt av att involvera de boende i processen.

Energieffektivisering i sig är oftast inte en drivkraft för renovering men ofta sammanfaller mål om energirenovering med andra mål om teknisk eller social upprustning (Thuvander, Femenías, Mjörnell, & Meiling, 2012). När det gäller bostäder kommer energifrågan och kostnader för effektivisering att balanseras med möjligheten att få tillbaka en del av investeringen från höjda hyror, vilket kan vara ett problem i områden med svag köpkraft (Mangold, Österbring, Wallbaum, Thuvander, & Femenias, 2016).

En bra svensk vägledning för beställare (BRF) att lyfta fram i sammanhanget är "Solceller ur flera perspektiv. Handbok för beslutsfattare" (Sommerfeldt, Muingo, & af Klintberg, 2016). Här poängteras bl.a. möjligheten och behovet av att handla upp kompetens för ett bra slutresultat.



3.4.3 Arkitektonisk integration av solceller

Flera nya svenska rapporter om solceller nämner vikten att ta hänsyn till estetik men inte på vilket sätt detta skall göras. Internationellt sett finns ett gediget arbete gjort inom IEA och deras rapport *T.41.A.2: Solar Energy Systems in Architecture - Integration Criteria and Guidelines, Subtask A: Criteria for Architectural Integration* (Munari Probst & Roecker, 2015). Munari Probst som har ledande forskning inom området har bland annat tagit fram en metod för att bedöma integrationen av solceller. Metoden beskrivs i mer detalj i (Thuvander, Femenías, & Gren, 2017). Sammanställningen redovisar även en uppsättning arkitektoniska riktlinjer för solceller som Köpenhamns stad har upprättat vilka ses som vägledande inom området. Detaljer kring takmaterial, solcellstyper- och placeringar diskuteras utifrån integrations- och effektivitetsaspekter liksom förläggning av kablar och placering av växelriktare.

3.4.4 Installationsteknik och policys för solel på tak

Rapporten av Kovacs et. al (2018) redovisar att det finns få publikationer som avhandlar solceller specifikt i samband med takrenoveringar (Kovacs, Ollas, & Hemlin, 2018). Det finns dock flera rapporter som avhandlar frågor kring montagelösningar och ekonomiska förutsättningar för installationer i flerbostadshus som är relevanta i sammanhanget. Ett examensarbete från 2016 har bland annat gått igenom de svenska byggreglerna BBR och en ny europeisk standard för byggnadsintegrerad solel och konstaterar att kraven blivit tydligare men samtidigt mer omfattande (Thellsén & Tibell, 2016). Behovet av höjd beställarkompetens lyfts i en BeBo-rapport från 2012 (Wahlström, Dalenbäck, Paradis, & Winkler, 2012), vilket denna studie antyder fortfarande är aktuellt 2017. En rapport från Chalmers och Profu 2017 ger en sammanfattande bild av hur olika ersättnings- och skatteregler påverkar ekonomin i en solcellsinvestering (Axelsson, Blomqvist, Dvali, Ludvig, & Unger, 2017). Rapporten visar samtidigt hur dessa uppgifter snabbt förändras då exempelvis värdet på elcertifikat sjunkit kraftigt och skatt på egenanvänd solel i princip har tagits bort sedan den skrevs. En annan skatteåtgärd som skulle få väldigt stor betydelse för miljontaksprojektets målgrupp är en utökning av den särskilda skattereduktion som införts för att kompensera för den försämrade lönsamhet som kommer av ett överskott från solel under dagtid. Det regelverket är fortfarande dåligt anpassat för bostadsbolag och andra aktörer som äger många solcellsanläggningar. I licentiatarbetet "Solcellssystem i svenska byggnader. Förutsättningar relaterade till lönsamhet och montage" (Haegermark, 2016) redovisas två omfattande studier där den första syftar till att visa hur solcellssystem i Sverige är monterade. Här ingår bland annat en sondering av de montagesystem som används i Sverige idag. Ett komplement till denna studie utgör rapporten "Takguide" (Paradis, 2014). Den andra studien i Haegermarks rapport undersöker hur lönsamheten för att installera solceller på byggnader i Sverige påverkas av såväl byggnadsspecifika som ekonomiska förutsättningar. Generellt skriver hon att kostnaden för en större solcellsanläggning nu är så låg att det idag är lönsamt med solel om man har rätt förutsättningar, något som bland annat innebär en hög elanvändning dagtid och ett lämpligt tak. Ett liknande resonemang redovisas i "Photovoltaic Systems for Swedish Prosumers – A technical and economic analysis focused on cooperative multi-family housing" (Sommerfeldt, Muyingo, & af Klintberg, 2016). Sammanställningen lyfter också fram en rapport från 2016 som redovisar värdefulla erfarenheter från upphandling och drift av 52 solcellsanläggningar i Solstaden Järva (Miljöförvaltningen i Stockholms stad, 2016).



3.4.5 Incitament och regelmässiga hinder vid renovering av flerbostadshus

Arbetsrapporten av Kovacs et. al (2018) redovisar en genomgång av avsnitt av BBR¹, PBL² och miljöcertifieringssystemet Miljöbyggnad med relevans för renovering generellt samt en beskrivning av hur energikraven kommer att skärpas fram till 2021 (Kovacs, Ollas, & Hemlin, 2018).

En genomgång av PBL redovisar de varsamhetskrav som gäller alla byggnader och bevarandekrav som gäller vissa byggnader. Byggnader från miljonprogrammet kan i vissa fall också ha hårdare bevarandekrav på sig. I en refererad studie som genomförts med nio kommunala bostadsbolag ansåg tre att bevarandekraven i PBL var ett stort hinder för energieffektivisering (Wistrand & Björk, 2014). Ett slopande av bygglovskraven för installation av solceller har föreslagits av Boverket (Boverket, 2017). Om installationen görs i samband med en takrenovering där ett plant tak byggs om till ett sadel- eller pulpettak så kommer man ändå att behöva söka bygglov, då detta är en omfattande ändring.

Nybyggnadskrav med avseende på t.ex. brandsäkerhet, energianvändning, vind- och snölast kan i vissa fall gälla vid ombyggnad eller renovering. Vilka krav som skall tillämpas vid en sådan *ändring* skall bedömas för varje specifikt fall. Generellt sett är nybyggnadskraven för energi på väg att bli verkligt styrande genom den successiva skärpning som pågår. Vad beträffar renovering så innebär de dock inget reellt stöd för att installera solceller i samband med en takrenovering. Om takrenoveringen skulle innebära tillbyggnad av nya våningsplan gäller däremot nybyggnadskrav och solcellerna kan då bidra till att nå energikraven. I en byggnadscertifiering enligt det i Sverige dominerande systemet Miljöbyggnad kan solcellselen bidra i långt större utsträckning jämfört med uppfyllandet av BBR-kraven eftersom både hushålls- och verksamhetsel får räknas med i underlaget. Solceller erbjuder då möjlighet att uppnå högsta nivån (Guld) på indikatorn "Andel förnybar energi".

3.5 Resultat från konceptutveckling

Utgångspunkten i konceptutvecklingen har varit att den nya lösningen ska ge stor klimatnytta, visa hänsyn till arkitektoniska värden, ha en rationell byggprocess och tillgodose servicebehovet för andra funktioner på taket. Ett huvudkoncept har tagits fram, där ett låglutande sadeltak byggs över det ursprungliga platta eller låglutande taket. I konceptet ingår en servicebalkong runt hela taket för att förenkla under byggtiden, fungera som snöfång och underlätta service och underhåll av taket och dess installationer. Vidare har arbetet resulterat i ett sidokoncept med ett upphöjt pulpettak, som är tänkt att kunna inrymma befintliga fläktrum och andra större objekt på taket. Principskisser för de båda koncepten återges i Figur 1.

Analysen visar att dessa koncept skulle kunna ge ett stort bidrag till byggnadens energibalans³, på i storleksordningen 25–30 kWh per m² golvyta i ett hus med 3–4 våningar och öka den totala solcellspotentialen i detta byggnadssegment i storleksordningen 50-100 %, se bilaga 1. Den ekonomiska bedömning som gjorts är ännu grov, eftersom det takelement med solceller som ingår i konceptet inte är färdigutvecklat, och detsamma gäller för flera andra detaljer i konstruktionen. Att installera solcellerna i fabrik istället för utomhus på tak bedöms dock ge relativt stora

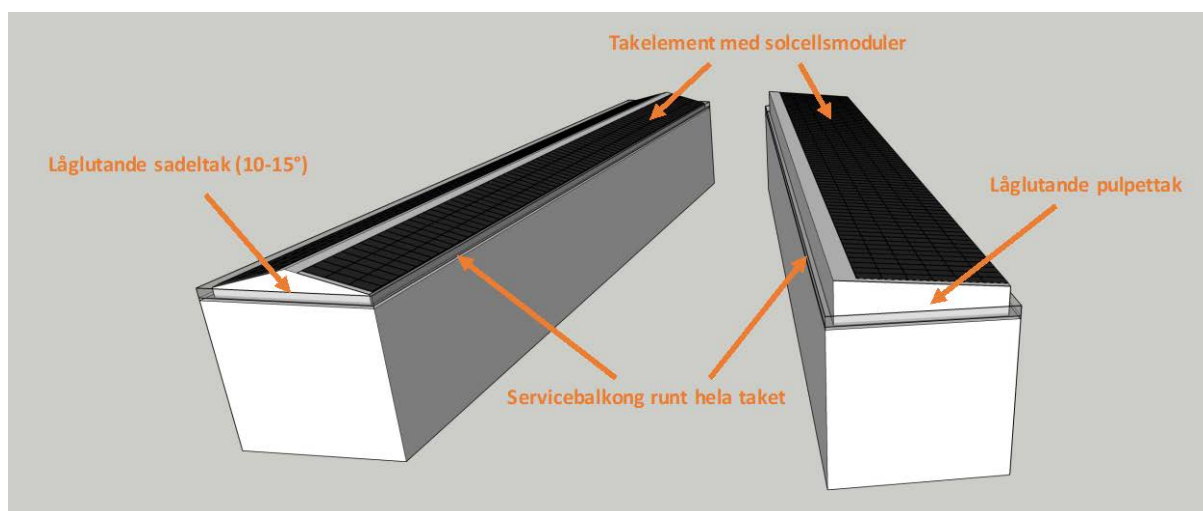
¹ BBR, Boverkets Byggregler

² PBL, Plan- och bygglagen

³ Här beaktas energibalansen i vid mening, där även hushållens energianvändning och interaktionen med elnätet inkluderas



kostnadsbesparingar, medan själva takkonstruktionen väntas bli billigare om den byggs på plats. Sammantaget är bedömningen att totalkostnaden ungefär densamma för det nya konceptet med prefab som för ett platsbyggt alternativ sett till enbart takkonstruktionen med solceller. Konceptet kan även tillföra mervärden som en snabbare renovering, mindre behov av väderskydd, ställning eller evakuering, förenklat takunderhåll och tillkommande yta i det nya vindsutrymmet för installationer eller annan användning. Lönsamheten i konceptet behöver därför bedömas objekts- och projektspecifikt. De prefabricerade takelementen är tänkta att vara konstruerade utan organiska material, vilket gör dem mindre fukt känsliga, och solcellerna monteras på korrugerad plåt med lång livslängd.



Figur 1. Det framtagna huvudkonceptet (till vänster) med ett låglutande sadeltak och sidokonceptet (till höger), med ett upphöjt pulpettak.

Solcellsanläggningar på flerbostadshus har generellt en utmaning i att det uppstår ett överskott av solex dagtid, vilket försämrar den ekonomiska kalkylen. Regeringen har infört en särskild skattereduktion som ska kompensera för detta, men som nämnts i avsnitt 3.4.4 är regelverket dåligt anpassat för bland andra bostadsbolag. Det examensarbete som studerat möjligheten att använda batterier och värmelager för att minska överskottet visar att dessa åtgärder i dagsläget inte är lönsamma (Gullberg, 2017).

Sammanfattningsvis bedöms att de koncept som utvecklats i detta projekt är intressanta alternativ till de liknande traditionella takrenoveringar som tidigare genomförts som underhållsåtgärd och/eller för att ge byggnaderna ett mer modernt utseende. De bedöms däremot inte ha förutsättningen att bli lönsamma enbart genom att de producerar solex – det måste också finnas ett behov av en omfattande takrenovering av andra skäl. Att bygga en servicebalkong runt taket bedöms kunna spara in andra kostnader både i byggskedet och för framtida drift och underhåll, men det återstår att utreda och kostnadsbedöma den detaljerade utformningen av denna.

Det bör vara möjligt att kombinera såväl huvudkonceptet som sidokonceptet med påbyggnad av nya lägenheter, vilket kan stärka det ekonomiska utfallet i områden med tillräckligt höga bostadspriser.



3.6 Kommunikation och informationsspridning

Projektet har presenterats i två branschtidskrifter, vid ett flertal seminarier och i projektpartners nyhetsbrev och sociala media. Ett konferensbidrag har accepterats för presentation 2018, se kapitel 6 Publikationslista.



4 Diskussion

Miljonprogrammets behov av takrenoveringar erbjuder en möjlighet att öka andelen sol i det svenska energisystemet där enbart de plana takens tekniska potential har uppskattats till 0.2 TWh. Det enhetliga utförandet av bostadshusen ger rimligen också förutsättningar för ett mer industriellt tillvägagångssätt med samordnad renovering och solcellsinstallation vilket enligt vår hypotes ska ge en effektivare process och en bättre helhetslösning utan att kalkylen försämras. Projektets koncepttänk ska uppmuntra bygg- och solelbranscherna att gemensamt utveckla nya lösningar såsom nu till exempel sker i systerprojektet PROOF. Sådana samarbeten bör på sikt kunna få betydelse långt utanför miljonprogrammets takrenoveringar.

Koncepten som tagits fram skulle enligt analysen kunna ge ett stort bidrag till byggnadens energibalans och det till kostnader jämförbara med konventionellt platsbyggda lösningar. Hög egenanvändning av solelen är dock en förutsättning som begränsar lönsamheten för de generöst dimensionerade koncepten med nuvarande utformning på incitament. Resultaten visar att möjligheterna att öka egenanvändningen i dagsläget är begränsade men de blir successivt bättre och det är också möjligt att incitament i form av skattereduktion kommer att ges en mer förmånlig utformning. Tillbyggnad av nya våningsplan har diskuterats som en möjlighet att skapa investeringsutrymme för en mer omfattande renovering. Intresse för detta finns inom miljonprogrammet men lönsamhet är generellt svårt att nå.

Projektet lyfter fram ett flertal anledningar till att fastighetsägare tvekar inför en investering i solceller och en slutsats är att många av dessa består av osäkerhet och brist på kunskap som kan informeras bort. En omfattande satsning på information om solceller planeras nu av Energimyndigheten, vilket mot bakgrund av våra resultat förväntas kunna låsa upp en stor potential. Informationen till fastighetsägare behöver beakta hyres- och bostadsrätters olika villkor för investeringar och genomförandeprocesser och lyfta möjligheter kring samordning med takrenoveringar. Idealt skulle satsningen också kunna åtgärda den brist på erfarenhetsåterföring som konstaterats i projektet eftersom praktiska erfarenheter och goda exempel från genomförda installationer är mycket viktiga i sammanhanget. Resultaten indikerar också att det är av betydelse för implementeringen av solceller att dessa betraktas som en byggnadsdel, inte enbart som en del av energisystemet.

Projektet har också visat på en problematik som kan försvåra ett storskaligt genomförande, exempelvis genom begränsade investeringsmöjligheter som ska täcka stora behov och ett regelverk som ger ett svagt stöd till energieffektivisering i samband med renovering, samtidigt som andra tillkommande krav kan fördyra genomförandet avsevärt.

En intressant möjlighet att undersöka vidare är leasing eller *power purchase agreements* (PPA) för solel som flera nya aktörer har börjat erbjuda. Fördelar med ett sådant avtal är att det lyfter bort både tidigare nämnda kunskapsbehov (kring solel, dock inte kring renoveringsprocessen) och behovet av den initiala investeringen.



5 Slutsatser

Projektet har föreslagit två konceptlösningar för renovering av platta tak i miljonprogrammet med solceller. Dessa bedöms kunna öka den tekniska potentialen i segmentet med minst 50 %. De förväntas kunna ge en enklare och bättre kvalitetssäkrad byggprocess, mer yteffektiva och snyggare solcellsinstallationer samt enklare drift och underhåll av tak och installationer. Jämfört med en liknande platsbyggd takrenovering med efterföljande solcellsinstallation har en första kalkyl visat att totalkostnaden inte behöver öka. Prefabricerade takelement med integrerade solceller har också goda förutsättningar att betraktas som en byggnadsdel och inte enbart som en energiproducerande komponent vilket kan få betydelse för en ökad acceptans för solel. Idén är därmed i sin helhet intressant att arbeta vidare med.

Konceptens fokus på hög replikerbarhet och klimatnytta drar ner lönsamheten i solcellsinstallationen, eftersom elproduktionen per kvadratmeter är något lägre än normalt och det tidvisa solelöverskottet är högre. Överskottsproblematiken i sig är ett generellt problem för solcellsanläggningar på flerbostadshus och därför något som bör uppmärksammas av staten framöver genom utvecklade regelverk. Ytterligare förbättrade incitament till följd av en snabb utveckling av tekniska, organisatoriska och affärsmässiga lösningar förväntas också leda till att lönsamheten successivt stärks för större solcellsanläggningar på flerbostadshus. I en framtid där lönsamheten för solcellerna inte begränsas av ett lågt värde på överskottselen blir det önskvärt att bygga en så stor solcellsanläggning som möjligt.

För att fördjupa och generalisera den kalkyl som legat till grund för att bedöma konceptens kostnader, och de besparingar de förväntas kunna leda till, behöver denna konkretiseras i fallstudier och demonstrationsprojekt. Detta skulle också ge möjlighet att närmare studera några tekniska frågeställningar, t.ex. omdragning av ventilation i samband med takrenoveringar och möjligheten att utnyttja luftvärme under solcellerna. Här finns utrymme för både organisatoriska och tekniska innovationer och en innovationsupphandling föreslås på lite längre sikt ta koncepten vidare till realisering.

Samtidig takrenovering och installation av solceller har inte varit vanligt hittills men resultaten pekar på att allt fler fastighetsägare tänker i dessa banor. Processen kring takrenovering och även energieffektivisering generellt med solceller behöver därför studeras, utvecklas och om möjligt standardiseras och vikten av arkitektens medverkan i ett tidigt skede av projekten betonas. De föreslagna fallstudierna skulle kunna ge betydande bidrag till detta. Riktlinjer för arkitektonisk integration och en dialog mellan dem som representerar bevarandekraven och dem som utvecklar produkter behövs vidare när det gäller byggnader med bevarandekrav. Ett stort informationsbehov kring solelens förutsättningar behöver också tillfredsställas hos fastighetsägarna som i sammanhanget behöver uppmärksammas på de möjligheter som renovering med solceller erbjuder.



6 Publikationslista

- Artikel i Bygg & Teknik (4/2017) – ”Nya utsikter för solceller vid takrenovering”
- Artikel i Fastighet & förvaltning (1/2017) – ”Solel från fastigheter utreds”
- Presentation från Riksbyggen vid två träffar med BRF:er och tre tillfällen internt under våren 2017
- Presentation vid workshop med Byggdialog Dalarna i Borlänge i oktober 2017
- Presentation vid SIRENs möte i Borlänge i november 2017
- Presentation vid Svenska solelmässan i Uppsala i november 2017
- Presentation vid styrelsemöte i FoU väst i Göteborg december 2017
- Solkompaniets nyhetsbrev i december 2017
- Paper om enkätstudie accepterat till Cold Climate HVAC konferens i Kiruna 12-15 mars 2018 – *”Potentials and challenges for integrating PV in roof renovation of multi-residential houses – a questionnaire survey”*
- RISE hemsida <http://solartestbed.se/om-projekten/miljontak-takrenovering-med-solceller/>
- Chalmers hemsida <https://www.chalmers.se/en/projects/Pages/Miljontak-Q-takrenovering-med-solceller.aspx>
- Solkompaniets hemsida <https://solkompaniet.se/2017/12/20/nytt-koncept-takrenovering-borjar-ta-form/>



7 Citerade arbeten

- Axelsson, E., Blomqvist, P., Dvali, K., Ludvig, K., & Unger, T. (2017). *Utbyggnad av sole i Sverige – möjligheter, utmaningar och systemeffekter*. Energiforsk.
- Boverket. (2010). *Teknisk status i den svenska bebyggelsen – resultat från projektet BETSI*. Karlskrona: Boverket.
- Boverket. (2017). *Altaner, solcellspaneler och solfångare i PBL. Delredovisning av "Uppdrag att utreda ytterligare undantag från krav på bygglov samt se över kraven på anmälan enligt plan- och byggförfordningen (2011:338)"*. Karlskrona: Boverket, oktober, 2017.
- Energimyndigheten. (2016). *Förslag till strategi för ökad användning av solel*. Eskilstuna: Statens energimyndighet.
- Formas. (2012). *Miljonprogrammet - utveckla eller avveckla?* Stockholm: Forskningsrådet för miljö, areella näringar och samhällsbyggande, Formas.
- Gullberg, Y. (2017). *Hantering av överskottsel från byggnadsintegrerad solel - Ekonomiska möjligheter för batterier och värmelager*. Uppsala: Teknisk- naturvetenskaplig fakultet UTH-enheten.
- Haegermark, M. (2016). *Solcellssystem i svenska byggnader. Förutsättningar relaterade till lönsamhet och montage*. Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Kovacs, P., Ollas, P., & Hemlin, O. (2018). *Regelmässiga förutsättningar för takrenoveringar och solcellsinstallationer – en litteratursammanställning*. Borås: RISE Rapport, 2018:03.
- Kovács, P., Thuvander, L., Femenias, P., Hemlin, O., & Larsson, D. (2017). Nya utsikter för solceller vid takrenovering. *Bygg & Teknik. 2017 (4) s. 12-17*.
- Mangold, M., Österbring, M., Wallbaum, H., Thuvander, L., & Femenias, P. (2016). Socio-economic impact of renovation and energy retrofitting of the Gothenburg building stock. *Energy and Buildings Volume 123*, 41-49.
- Miljöförvaltningen i Stockholms stad. (2016). *Solstaden i Järva. En utvärdering av Stockholm stads satsning på solceller*. Stockholm: Miljöförvaltningen, Energicentrum.
- Munari Probst, M. C., & Roecker, C. (2015). Solar energy promotion & urban context protection LESO-QSV (quality-site-visibility) method. *Proceedings from PLEA international conference in Bologna 2015*.
- Paradis, J. (2014). *Takguide för infästning av solceller*. Sol i Väst.
- Sommerfeldt, N., Muyingo, H., & af Klintberg, T. (2016). *Photovoltaic Systems for Swedish Prosumers - A technical and economic analysis focused on cooperative multi-family housing*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology.



- Sommerfeldt, N., Muyingo, H., & af Klintberg, T. (2016). *Solceller ur flera perspektiv. Handbok för beslutsfattare*. Stockholm: KTH Royal Institute of Technology.
- Thellsén, A., & Tibell, K. (2016). *SOLCELLSPANELER PÅ FASADER - En utredning av lagkrav och infästningssystem*. Uppsala: Institutionen för teknikvetenskaper, Byggt teknik, Uppsala universitet, Examensarbete 2016.
- Thuvander, L., Femenías, P., & Gren, J. (2017). *Solceller i samband med takrening på flerbostadshus - en enkätstudie*. Institutionen för Arkitektur och Samhällsbyggnad (ACE). Göteborg: Chalmers Tekniska Högskola.
- Thuvander, L., Femenías, P., Mjörnell, K., & Meiling, P. (2012). Unveiling the process of sustainable renovation. *Sustainability*, 4(6), 1188-1213.
- Wahlström, Å., Dalenbäck, J.-O., Paradis, J., & Winkler, C. (2012). *Hållbara energisystemlösningar inom solenergiområdet - en nulägesanalys*. BeBo.
- Wistrand, S., & Björk, J. (2014). *Analys av kommunala bostadsbolags arbete med energieffektivisering*. Institutionen för byggvetenskaper, byggproduktion. Lund: Lunds Tekniska Högskola.



Bilagor

Bilaga 1 Underlagsrapporten Konceptutveckling: Takrening med solceller på prefabricerade takelement



Runt 35 procent av all energi i Sverige används i bebyggelsen. I forskningsprogrammet E2B2 arbetar forskare och samhällsaktörer tillsammans för att ta fram kunskap och metoder för att effektivisera energianvändningen och utveckla byggandet och boendet i samhället. I den här rapporten kan du läsa om ett av projekten som ingår i programmet.

E2B2 genomförs i samverkan mellan IQ Samhällsbyggnad och Energimyndigheten åren 2013–2017. Läs mer på www.E2B2.se.