



Optimerad renovering för effektiva solcellstak



Optimerad renovering för effektiva solcellstak

Peter Kovács

David Larsson



Energimyndighetens projektnummer: 46867-1

E2B2



Förord

E2B2s vision är en resurs- och energieffektiv byggd miljö.

Bebyggelsesektorn svarar för cirka en tredjedel av Sveriges totala energianvändning och en effektivare energianvändning är en viktig del av utvecklingen av energisystemet. I E2B2 arbetar forskare och andra aktörer tillsammans för att utveckla samhällets byggande och boende och effektivisera energianvändningen.

E2B2 är ett forsknings- och innovationsprogram från Energimyndigheten där IQ Samhällsbyggnad är koordinator. Programmets andra programperiod pågår mellan 2018 och 2021.

Syftet med E2B2 är att ta fram ny kunskap, teknik, tjänster och metoder som bidrar till en hållbar energi- och resursanvändning i bebyggelsen. Det läggs därför stor vikt vid samverkan mellan näringsliv, samhälle och akademi och programmet ska bidra till och vara ett verktyg för att länka samman behovsägare med projektutförare.

Optimerad renovering för effektiva solcellstak är ett av projekten som har genomförts i programmet med hjälp av statligt stöd från Energimyndigheten. Det har letts av RISE Research Institutes of Sweden och har genomförts i samverkan med forskningsutförare från Chalmers tekniska högskola och Högskolan Dalarna. AB Bostäder i Borås, Gårdstensbostäder, Einar Mattsson Fastighetsförvaltning AB och Lokalförvaltningen i Göteborgs stad har medverkat som formella projektpartners från beställarsidan men även Riksbyggen med bostadsrättsföreningarna Göteborgshus 38 och Skövdehus 10 samt Lustgården Ädelmetallen AB har bidragit med ett byggprojekt vardera. På leverantörs-konsult- och entreprenörssidan har Cowi, Wästbygg, Kaminsky arkitekter, Solkompaniet, Soltech Energy sales and support samt Elementum Eco medverkat.

Projektet har tagit fram fallstudier av objekt hos deltagande fastighetsägare och förutsättningar för demonstration av nya lösningar har undersökts. Projektet har bidragit till en accelererad, effektiv och kvalitetsorienterad marknadsutveckling samt möjliggjort näringslivsutveckling och nya industrisamarbeten.

Stockholm, 2 december 2021

Rapporten redovisar projektets resultat och slutsatser. Publicering innebär inte att Energimyndigheten tar ställning till framförda slutsatser, resultat eller eventuella åsikter.



Sammanfattning

I denna rapport beskrivs hur fastighetsägare kan bidra till ökad klimatnytta genom att ha solceller i åtanke när man planerar för att renovera en byggnad. I fokus för arbetet har legat solcellsinstallation i anslutning till takrenovering. I projektet har vi undersökt olika sätt att maximera storleken på en solcellsanläggning utifrån vad taket på en byggnad kan rymma, alltså en optimering med avseende på klimatnyttan. Detta resulterar i flerbostadshus som regel i en större anläggning än vid en ekonomisk optimering vilket är det tillvägagångssätt som brukar förmedlas i forskningsrapporter, ofta utan att man nämner att det finns andra alternativ. I detta projekt har vi i princip gjort tvärtom, utan att för den skull blunda för ekonomiska realiteter. I kapitel 3.1 till 3.3 behandlar vi arkitektur, plan- och lovfrågor och argumenterar för att den strategi vi förespråkar också leder till bättre arkitektoniska lösningar än state of the art. Fokus i arbetet har legat på att presentera ett antal konceptlösningar som syftar till att maximera utnyttjandet av den tillgängliga takytan, se kapitel 3.4 och 3.5 samt bilaga 1. I kapitel 3.6 avhandlas kortfattat några olika åtgärder för att öka egenanvändningen av den solel man producerar vilket innebär att man kan bygga en större anläggning med bibehållen god ekonomi. En av dessa åtgärder — kollektivmätning av hushållsel — behandlas mer utförligt i en vägledning riktad till fastighetsägare vilken presenteras som en del av den mer omfattande projektrapporten [11].

Projektets utgångshypotes var att samtidig renovering av tak och installation av solceller är ett optimalt tillvägagångssätt. Efter undersökningar av entreprenadformer och förfrågningsunderlag i kapitel 3.8 och analys av de sju fallstudier som presenteras i kapitel 3.9, kan vi presentera en mer nyanserad bild:

- Det är ibland bättre att installera solceller efter att tak- eller fasadrenoveringen är slutförd, men även i dessa fall finns det all anledning att ta den framtida installationen i beaktande i planeringen av en renovering.
- Förutom renovering av klimatskalet i en byggnad så kan även renovering av ventilations- och elsystemet ha stor inverkan på den tekniska och ekonomiska potentialen för en kommande solcellsanläggning.
- Detaljplaner och bygglovsplikten kan ibland vara en utmaning när man vill maximera solcellsytan på ett tak i samband med renovering eller ombyggnad och modernisering av dessa processer är angeläget.

I kapitel 4 diskuterar vi slutligen de erfarenheter och resultat som projektet lett fram till och hur arbetet kan tas vidare i framtida projekt och i kapitel 5 presenteras avslutningsvis projektets viktigaste slutsatser.

Solceller, BIPV, byggnadsintegration, byggprocess, renovering, installation, prefab



Summary

This report describes how property owners can contribute to increased climate benefits by keeping solar PV in mind when planning to renovate a building. The focus of the work has been PV installations in connection with roof renovation. In the project we have investigated different ways of maximizing the size of a PV system based on what the roof of a building can accommodate, i.e. an optimization with regard to climate benefits. In apartment buildings this results in larger PV systems compared to the result of an economic optimization, which is the approach that is usually conveyed in research reports, often without mentioning that there are other alternatives. In this project, we have basically done the opposite, without turning a blind eye to economic realities. In chapters 3.1 to 3.3, we deal with architecture, planning and permit issues and argue that the strategy we advocate also leads to better architectural solutions than state of the art. The focus of the work has been on presenting several concept solutions that aim to maximize the utilization of the available roof area, see chapters 3.4 and 3.5 and appendix 2. Chapter 3.6 briefly discusses some different measures to increase the self-consumption of the electricity you produce, which means that you can build a larger PV system while maintaining good finances. One of these measures - collective measurement of household electricity - is dealt with in more detail in a guide aimed at property owners, which is a part of the more extensive project report [11].

The project's initial hypothesis was that simultaneous renovation of roofs and installation of solar cells is an optimal approach. Having analysed different forms of contracting and tender documents, see chapter 3.8 and the seven case studies presented in chapter 3.9, we can present a more nuanced picture:

- It is sometimes better to install solar cells after the roof or facade renovation has been completed, but even in these cases there is every reason to take the future PV installation into account when planning a renovation.
- In addition to renovating the climate shell in a building, renovation of the ventilation and electrical systems can also have a major impact on the technical and economic potential of a future photovoltaic system.
- City plans and building permits can sometimes be a challenge when you want to maximize the solar PV area on a roof in connection with renovation or rebuilding. A modernisation of these procedures are therefore desirable.

In Chapter 4, we finally discuss the experiences and results that the project has led to and how the work can be taken further in future projects, and Chapter 5 finally presents the project's most important conclusions.

Solar PV, BIPV, building integration, construction process, renovation, installations, prefab



INNEHÅLL

1	INLEDNING OCH BAKGRUND	8
1.1	BAKGRUND	8
1.2	SYFTE OCH MÅL	8
1.3	OMFATTNING OCH AVGRÄNSNINGAR	8
2	GENOMFÖRANDE	9
3	RESULTAT	10
3.1	ARKITEKTUR OCH BYGGLOV	10
3.1.1	SOLCELLERNAS ORIENTERING	10
3.2	KOSTNADSEFFEKTIV DESIGN	12
3.3	FÖRESKRIFTER ENLIGT DETALJPLAN	12
3.4	PRINCIPER VID UTFORMNING AV SOLCELLSTAK OCH -FASADER	12
3.4.1	TAK UTAN ANDRA OBJEKT	12
3.4.2	TAK MED ANDRA INSTALLATIONER	13
3.4.3	TAK MED PÅBYGGNADER	14
3.4.4	FASADER	14
3.5	KOSTNADSBEDÖMNINGAR	15
3.6	ÖVERPRODUKTION AV SOLEL	19
3.6.1	SOLELENS VÄRDE VARIERAR	19
3.6.2	HUR PÅVERKAS LÖNSAMHETEN?	19
3.6.3	STRATEGIER FÖR ÖKAD EGENANVÄNDNING	20
3.7	KOMBINERA SOLEL OCH SOLVÄRME	20
3.8	SAMORDNAD UPPHANDLING	21
3.9	FALLSTUDIER	23
4	DISKUSSION	26
4.1	NYA ANGREPPSSÄTT MÖTER UTMANINGAR	26
4.2	FORTSATT ARBETE	27
5	SLUTSATSER	29
6	PUBLIKATIONSLISTA	30





1 Inledning och bakgrund

1.1 Bakgrund

I detta projekt, Optimerad renovering för effektiva solcellstak (EST), har vi byggt vidare på resultat från bland annat projekten "PROOF" [10] och "Miljontak" [7]. Många svenska hustak är i behov av renovering, alternativt så behöver kommande renoveringsbehov bedömas i samband med den solcellsinstallation som allt oftare står på fastighetsägarens åtgärdslista.

Framför allt på flerbostadshus är det en utmaning att uppnå ett högt värde för den producerade elen med stora solcellsinstallationer, eftersom egenanvänd el värderas betydligt högre än det överskott som uppstår vid bristande matchning mellan produktion och användning. En följd av detta är att stora takytor oftast förblir outnyttjade för resurseffektiva solcellsmontage.

1.2 Syfte och mål

Projektet har syftat till att undersöka hur renovering av tak och fasader på olika sätt kan samordnas med solcellsinstallation i flerbostadshus och lokalbyggnader. Med god samordning och öppenhet för nya lösningar skapas möjligheter för större, lönsamma och arkitektoniskt väl anpassade soleanläggningar. Målet har varit att inspirera och vägleda såväl byggherrar som entreprenörer till mer ambitiösa solcellssatsningar och därmed en ökad klimatnytta,

1.3 Omfattning och avgränsningar

Vilka kompletterande bygg- eller installationsåtgärder kan göras i samband med en renovering för att skapa bättre förutsättningar för en solcellsinstallation – och hur samordnas de olika arbetsmomenten bäst i en upphandling? Dessa är de huvudsakliga frågeställningarna som utretts, dels övergripande och teoretiskt, dels konkret och praktiskt genom fallstudier av sju renoveringsprojekt. I fem av projekten, en privat och en allmännyttig hyresfastighet, två bostadsrättsföreningar och en industrifastighet, har solcellsinvesteringar genomförts i anslutning till renovering. I två projekt, ett äldreboende och en hyresfastighet, valde man efter förstudien att inte gå vidare med ett byggprojekt.



2 Genomförande

Projektgruppen har varit brett sammansatt i syfte att få med de olika infallsvinklar som aktörer på både beställar- och leverantörssidan kan bidra med. Sammansättningen är dessutom representativ för de olika aktörer som behöver samverka i ett projekt av den typ som vi utrett. Forskningsutförare har varit RISE, Chalmers tekniska högskola och Högskolan Dalarna. Beställarsidan har representerats av AB Bostäder i Borås, Gårdstensbostäder, Einar Mattsson Fastighetsförvaltning AB och Lokalförvaltningen i Göteborgs stad som formella projektpartners men även Riksbyggen med bostadsrättsföreningarna Göteborgshus 38 och Skövdehus 10 samt Lustgården Ädelmetallen AB har bidragit med ett byggprojekt vardera. På leverantörs- konsult- och entreprenörssidan har Cowi, Wästbygg, Kaminsky arkitekter, Solkompaniet Konsult, Soltech Energy sales and support samt Elementum Eco medverkat.

Forskningsprojektet har byggts kring sju byggprojekt där byggherrarna föresatt sig att genom förstudier utreda förutsättningarna för att samordna ett planerat renoveringsprojekt med en solcellsinstallation. I dessa förstudier har man i varierande grad interagerat med forskningsprojektet, bland annat för att ta del av resultat från projekt som föregått detta, se 1.1. I fem av projekten har man efter förstudien valt att gå vidare till detaljprojektering och genomförande av en renovering med solceller och i ett av dessa har ett koncept från det tidigare forskningsprojektet Miljontak kunnat realiserats och valideras. Vart och ett av projekten har legat till grund för en fallstudie som dokumenterats i en kort berättelse.

Projektets resultat bygger alltså till stor del på erfarenheterna från dessa fallstudier, men också på annat arbete:

- En vidareutveckling av de konceptlösningar som presenterades i projektet Miljontak samt en grov ekonomisk analys av dessa
- En fördjupning i möjligheterna till ökad egenanvändning av solel genom kollektivmätning av hushållsel
- Ett samarbete med Lunds tekniska högskola inför demonstration av helhetslösningar för solcellstak och fasader
- Undersökning av intresset för prefabricerade solcellstak- och fasader hos beställare och leverantörer
- Undersökning av möjligheter kring innovationsupphandling med fokus på effektiv renovering med solceller

I ett antal projektmöten med deltagande från merparten av projektets partners har projektupplägget efterhand detaljplanerats och erfarenheter delats och diskuterats.



3 Resultat

3.1 Arkitektur och bygglov

Solenergianläggningar i sig omfattas inte av lovplikten för anläggningar enligt 6 kap. 1 § PBF. Däremot kan en anläggning på en byggnad omfattas av lovkravet om ändringen innebär att byggnadens yttre utseende avsevärt påverkas. Även om det inte krävs bygglov kan det krävas en anmälan om till exempel anläggningen berör byggnadens bärande konstruktion eller väsentligt påverkar brandskyddet. Kontakta alltid kommunens bygglovshandläggare i planeringen av en anläggning.

För installationer utanpå takmaterial och fasadbeklädnad finns sedan 2018 ett undantag i bygglovsplikten vid ändrat utseende. Undantaget gäller om:

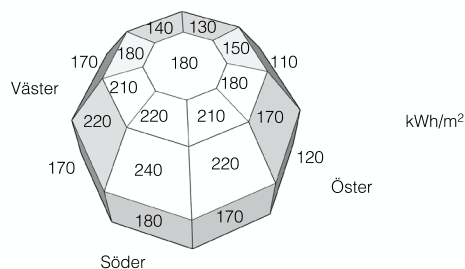
- solcellerna följer byggnadens form.
- inte monteras på byggnader eller inom bebyggelseområden som är särskilt värdefulla.
- inte monteras inom eller i anslutning till områden som är av riksintresse för totalförsvaret.
- inte kräver bygglov enligt den detaljplan som gäller för området.

Om installationen är en del av en ombyggnation eller om solcellerna integreras fysiskt i taket eller fasaden, krävs ofta bygglov. Även i de fall solceller installeras utan bygglovskrav kan det finnas anledning att göra arkitektoniska överväganden, så att installationen inte förvanskar stadsbilden.

Utgångspunkten för vår analys har varit att skapa sammanhängande ytor där solcellsmoduler kan installeras i fält med raka linjer. De byggåtgärder som då behövs kräver ofta samordning med andra funktioner på tak och fasad, vilket beskrivs närmare i kapitel 3.4. Här behandlas till att börja med frågor kring orientering och placering av solceller, samt hur de påverkar arkitektur och krav i områdets detaljplan.

3.1.1 Solcellernas orientering

Den årliga elproduktionen från solceller beror av hur solcellsmodulerna är orienterade. Högst elproduktion fås från södervända tak med brant lutning (runt 30 grader), men även låglutande tak (0-10 grader) från nordost till nordväst ger en god elproduktion, liksom fasader från sydöst till sydväst.



Figur 1 Ungefärlig årsproduktion per solcellsytta vid olika orienteringar (i Stockholm).



Pulpettak är ofta låglutande och därmed möjliga att använda för solceller oavsett mot vilket väderstreck de är orienterade.

På sadeltak kan antingen den ena eller båda takhalvorna bekläs med solceller, beroende på taklutningen och hur byggnaden är orienterad. Generellt kan sägas att den sammanlagda elproduktionen från båda takhalvorna är nästintill konstant, oavsett orientering. Om man har tillgång till ett bra söderläge på den ena takhalvan kan det däremot vara svårt att motivera solceller på norrsidan, medan ett öst-västligt tak har mer jämna förutsättningar. Hur stora ytor som i praktiken bör användas, avgörs av de ekonomiska förutsättningarna knutna till överproduktion av solel och ambitionsnivån med avseende på klimatnytta, vilket behandlas i nästa kapitel.

På platta tak bör solceller monteras upplutade, vilket ger bättre regnavrinning och därmed minskad nedsmutsning. Vid upplutning mot söder uppstår rader av skuggade fält som inte kan utnyttjas. En brant upplutning ger en högre elproduktion per solcellsmodul, men kräver också ett större radavstånd. Ofta väljs en lutning på 10–20 grader när solcellsmodulerna orienteras mot söder.

Vid upplutning mot öst och väst kan solcellerna monteras utan radavstånd. Där erhålls också högst elproduktion vid låg upplutning. Ofta väljs en lutning på 10–15 grader när solcellsmodulerna orienteras mot öst och väst. På platta tak kan man också överväga om man fortsatt vill ha ett platt tak eller om de sammanvägda behoven kan motivera en investering i ett lutande tak.

På fasader monteras solceller vanligen vertikalt av estetiska skäl. Om det är möjligt att montera dem lutande, ger detta en något högre elproduktion på fasader mellan sydöst och sydväst. Ett exempel på detta kan vara när solceller används för solavskärmning, se Figur 3.



Figur 2 Exempel på solcellsfasad där solcellerna inte placerats vertikalt (Citypassagen Örebro/Castellum, Foto: David Larsson)



3.2 Kostnadseffektiv design

Solcellsmoduler är generellt avsevärt dyrare om de avviker i utförande från standardprodukterna, till exempel med förstärkt hållfasthet eller med avvikande mått eller kulör. Som grundregel gäller därför att det oftast är bättre att anpassa byggnaden och skapa rektangulära ytor som är fria från andra objekt, än att anpassa solcellerna efter den befintliga byggnaden. Detta är dock inte alltid möjligt. Särskilt på fasader är det normalt att det krävs andra typer av produkter, delvis av säkerhetsskäl men också av estetiska skäl. På fasader kan det finnas en stor ekonomisk uppsida genom att solcellerna ersätter andra material. Fasadmonterade solceller är generellt också betydligt mer framträdande, vilket i vissa fall kan höja det arkitektoniska värdet och i andra fall sänka det om solcellsanläggningen inte utformas med omsorg.

En utmaning vid användning av mer innovativa produkter kan vara att dessa inte är lika väl kvalitetstestade som standardprodukter.

3.3 Föreskrifter enligt detaljplan

Kommunernas detaljplaner reglerar grundläggande förutsättningar för de byggnader som får uppföras inom ett visst område. I vissa fall anses området och byggnaderna särskilt kulturellt skyddsvärda, vilket kan ställa stora krav på solcellsanläggningens estetiska utformning och ibland helt omöjliggöra en solcellsinstallation.

Det som måste beaktas i normala fall är främst att den föreskrivna maximala byggnadshöjden inte överskrids om taket byggs om. Olika sätt att beräkna byggnadshöjder och idéer om hur man som fastighetsägare kan hantera dessa utmaningar presenteras i den mer utförliga RISE-rapporten [11].

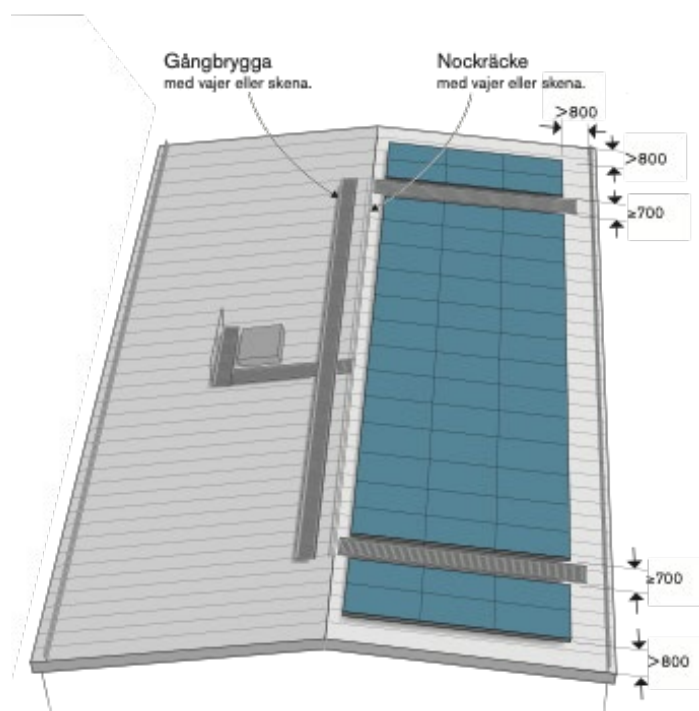
3.4 Principer vid utformning av solcellstak och -fasader

Nedan presenteras och kommenteras ett antal principiella utföranden för omfattande solcellsinstallationer på tak och fasader.

3.4.1 Tak utan andra objekt

På tak som är fria från andra installationer kan hela takytan täckas med solceller. I normalfallet installeras solcellerna med ett skensystem ovanpå den befintliga taktäckningen, men på lutande tak är det också möjligt att ersätta taktäckningen med solceller. Detta förutsätter att man väljer ett särskilt monteringsystem (och ibland även särskilda solcellsmoduler) så att konstruktionen blir regntät.

Viktigt att notera är också att alla nödvändiga service- och underhållsåtgärder på byggnaden måste kunna göras på ett säkert sätt. För att hela takytan ska kunna täckas med solceller måste dessa vara beträddbara och därmed extra hållfasta. Vanligen glas/glas-moduler, där tillverkaren godkänt att man kan gå på dem. Använder man vanliga solcellsmoduler med ett polymerskikt (tedlar) i stället för glas bakom solcellerna kan man inte gå på dem och då behövs gångvägar genom och/eller runt solcellsområdet. Dels för att man ska kunna inspektera solcellerna, dels för att säkra takets kanter från nedfallande snö och is. Fastighetsägaren kan emellertid också välja att utföra dessa åtgärder från skylift, vilket då kan öppna för mer solceller.



Figur 3 Rekommenderad utformning av ett solcellstak utifrån ett taksäkerhetsperspektiv.
(Källa: Taksäkerhetskommittén)

Vidare behövs i vissa fall ett snörasskydd längs takfoten. I normalfallet innebär detta att solcellsytan reduceras, eftersom det behövs viss fri yta ovanför snörasskyddet där snö kan samlas utan att skada och skugga solcellerna. Om man tillåter viss skuggning, och väljer extra hållfasta solcellsmoduler, är det dock fortsatt möjligt att täcka hela takytan med solceller.

Om fastigheten har avskiljande brandceller på översta planet eller vinden (t.ex. när fastigheten har flera trapphus i samma huskropp) behöver räddningstjänsten involveras i gestaltningen. Räddningstjänsten bör för övrigt alltid informeras om projektet i samband med projekteringen. Än finns inga gemensamma nationella riktlinjer men en vanligt citerad vägledning är CFPA-Guiden [3].

3.4.2 Tak med andra installationer

Vanligt förekommande installationer är luftningsrör till avloppssystemet, takhuvar för ventilationsluft, skorstenar samt gångvägar och infästningspunkter för fallskydd som används vid servicearbete på taket. Här finns olika möjligheter att skapa så stora fria ytor för solceller som möjligt:

- **Flytta installationerna**

Gångvägar och taksäkerhetsdetaljer kan ofta flyttas utan större ingrepp, så länge deras funktion bibehålls. Att flytta VVS-installationer tillnock eller fasad innebär att rör behöver dras om invändigt, vilket kan vara enkelt om det finns ett rymligt vindsutrymme. Skorstenar är normalt svåra att flytta, men kan ibland monteras ned helt.



- **Minimera installationerna**

I vissa fall är det möjligt att dra om rör utvändigt under solcellerna, eller att helt enkelt kapa dem och låta dem mynna direkt under solcellerna. Det kan också vara möjligt att montera infästningspunkter för fallskydd i solcellernas bärande konstruktion.

- **Höja upp solcellerna**

En tredje strategi är att montera solcellerna ovanför övriga installationer, antingen i fält med gångvägar runt eller tillräckligt högt så att man kan gå under dem. Här är det viktigt att beakta både att den arkitektoniska utformningen blir acceptabel och att den högsta tillåtna byggnadshöjden inte överskrids.

3.4.3 Tak med påbyggnader

Det är vanligt att hisstoppar och fläktrum sticker upp som en påbyggd del. På lutande tak kan takkupor och takfönster utgöra motsvarande hinder. Även här finns ett par tänkbara strategier som kan underlätta för solceller:

- **Bygga om**

Denna strategi gäller främst takfönster, där det i vissa fall kan vara möjligt att ändra utformningen så att takfönstren kan passa in mellan solcellsmodulerna.

- **Bygga till**

När det gäller hisstoppar, fläktrum och takkupor kan det vara möjligt att bygga ut dessa, så att det skapas fria takytor ovanpå. I dessa fall är det viktigt att beakta hur byggnadshöjden påverkas.

- **Höja upp solcellerna**

Även i detta fall kan det vara möjligt att höja upp solcellerna så att de inte skuggas. Resultatet kan vara snarlikt ett utbyggt fläktrum, med skillnaden att solcellerna monteras på en enklare konstruktion.

3.4.4 Fasader

Vid utformningen av nya byggnader kan det vara möjligt att anpassa fasadytorna för att passa in serietillverkade solcellsmoduler, men vid renovering är detta oftast inget alternativ. Kvar finns därför i huvudsak nedanstående möjligheter. Byggherren bör ha en dialog med räddningstjänsten kring utformningen av solcellsfasader, särskilt om fönster eller balkonger skall fungera som utrymningsvägar.

- **Måttanpassade solcellsmoduler**

Modulernas storlek anpassas för att passa in mellan fönster och andra objekt på fasaden. För att uppnå en hög verkningsgrad bör modulstorleken också anpassas efter storleken på cellerna. Måttanpassade solcellsmoduler är väsentligt dyrare än serietillverkade, men det innebär också stor frihet att välja färg och struktur på glaset, vilket ofta värdesätts just på fasader.



- **Använda passbitar**

Ett alternativ för att hålla nere kostnaden är att använda serietillverkade solcellsmoduler med tunnfilm (som vanligen är mindre och enklare att passa in än standardmoduler med kiselceller). Ofta behöver dessa kompletteras med passbitar utan solceller, som efterliknar solcellsmodulerna.

- **Solceller som utsmyckning**

En tredje variant är att använda solcellsmoduler som utsmyckning och endast klä in delar av fasaden. Ofta ger taket en både billigare och mer högpresterande solcellsanläggning, medan fasaden har ett betydligt högre kommunikativt värde. Att klä in hela fasaden med solceller är därför kanske inte nödvändigt.

Två specialfall som också kan vara intressanta på fasader är solavskärmningar och balkongfronter, som båda avhandlas i den mer utförliga RISE-rapporten [11].

3.5 Kostnadsbedömningar

Investeringskostnaden för en solcellsanläggning skiljer stort beroende på vilken typ av produkter som används och med integrerade solceller kan andra kostnader undvikas, se Figur 4 - Figur 5. Därför finns det ofta god anledning att försöka anpassa byggnaden så att mindre kostsamma produkter kan användas och helst så att de ersätter andra material, utan att man för den skull ska behöva kompromissa med arkitektoniska kvalitéer. Men även anpassningsåtgärder medför naturligtvis kostnader, vilket är det vi analyserat närmare i detta kapitel.

Tak



Fasad

ring

5 000 kr/m²
30 000 kr/kW

Figur 4 Ungefärliga investeringskostnader för olika typer av solcellsinstallationer.



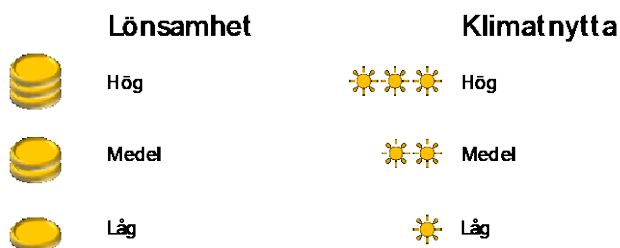
Figur 5 Antagen alternativkostnad och livslängd på material som solceller kan ersätta.

I vår ekonomiska analys har utgångspunkten varit att taket eller fasaden är i behov av renovering, så det finns alltid en alternativkostnad som grund. Våra kostnadsbedömningar är att betrakta som grova uppskattningar, men resultaten ger ändå en fingervisning om vilka åtgärder som är mer lönsamma än andra. Intäktsposterna består alltid av en eller flera komponenter utifrån den solel som produceras, ibland även kompletterat av sänkta kostnader för uppvärmning samt sänkta kostnader för tak- och fasadmateriäl. En åtgärd kopplad till takrenovering som kan ge upphov till en merkostnad i samband med solcellsinstallation är behovet av takförstärkningar. Det är inte ovanligt att projektet fördyras genom att en utanpåliggande solcellsinstallation för med sig ett krav på takförstärkningar. Genom att välja en takintegrerad lösning där solcellstaket inte har en högre vikt än taktäckningsmaterialet det ersätter bortfaller dock behovet av takförstärkning. I alternativen med påbyggda solcellstak kan dessa ibland också anpassas efter byggnadsstommen, så att inga förstärkningar behövs av det ursprungliga taket.

I tabellen nedan lyfter vi fram några principbilder med de alternativ som bedöms mest intressanta. I bilaga 2 redovisas grundläggande antaganden och de olika alternativen problematiseras. En komplett redogörelse med samtliga alternativ som studerats finns som bilaga till RISE-rapporten [11]. Där presenteras också beräkningarna mer ingående.

Vid sidan av de ekonomiska aspekterna redovisas även klimatnyttan, vilken är direkt proportionell mot elproduktionen. Denna beror i sin tur på solcellernas verkningsgrad, täckningsgrad¹ och orientering. Klimatnyttan kan även öka som en följd av att byggnadsintegrerade solceller ersätter andra byggmaterial.

¹ Med täckningsgrad menas hur stor del av en yta som täcks av aktivt solcellsmateriäl.

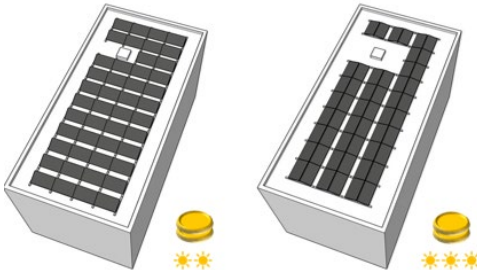
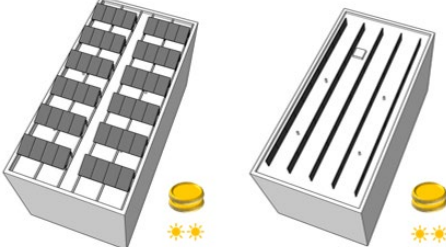
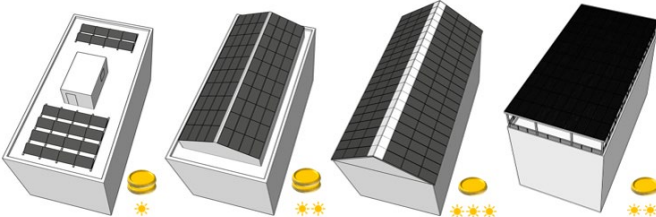
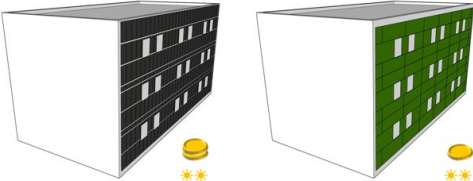


Figur 6 Symboler som används i tabell1 för att beteckna lönsamhet och klimatnytta

Tabell 1 Konceptlösningar för optimerade installationsförutsättningar som analyserats i projektet.

Generella tillämpningar, möjligheter och hinder	Möjliga angreppssätt och lösningar	Lönsamhet och klimatnytta beroende på vald lösning
God lönsamhet på lutande tak utan andra objekt	Utanpåliggande solcellsmoduler, integrerade solcellsmoduler och solcellstakpannor.	
Små objekt på lutande tak kan hanteras	Ingen omdragning av rör, omdragning av rör invändigt på vinden och omdragning av rör utvändigt på taket.	



<p>Lönsamt även på platta tak utan hinder</p>	<p>Solceller som monterats med ballast, svagt upplutat mot söder respektive öst/väst.</p>	
<p>Hanterbart med små objekt på platta tak</p>	<p>Solceller som monterats med upphöjt montage, respektive vertikalt med dubbelsidiga solcellsmoduler mot öst/väst.</p>	
<p>Flera alternativ för platta tak med fläktrum eller andra stora objekt</p>	<p>Solceller på befintligt tak med fläktrum, påbyggnad "Miljontak", påbyggt sadeltak och påbyggt terrasstak (samtliga påbyggnader med enkel integrering).</p>	
<p>Solceller intressant vid omfattande fasadrenovering</p>	<p>Fasadrenovering med enkel respektive avancerad integrering av solceller.</p>	



3.6 Överproduktion av solel

3.6.1 Solelens värde varierar

Med dagens skatteregler blir värdet av den solel som genereras på en byggnad väsentligt högre om den används direkt i byggnaden än om den matas ut på det allmänna elnätet. Skillnaden beror i huvudsak på att den egenanvända solelen i normalfallet inte belastas med energiskatt. Detta innebär att lönsamheten för en solcellsanläggning kan variera stort mellan byggnader som har likadana förutsättningar på tak och fasader, men olika elanvändningsprofiler.

Vidare finns en begränsning som säger att en solcellsanläggning får ha en installerad topeffekt på högst 500 kW, för att den genererade elen ska få användas utan att belastas med energiskatt. Detta innebär dock bara en begränsning på riktigt stora byggnader (med tak större än cirka 3 000 m²).

3.6.2 Hur påverkas lönsamheten?

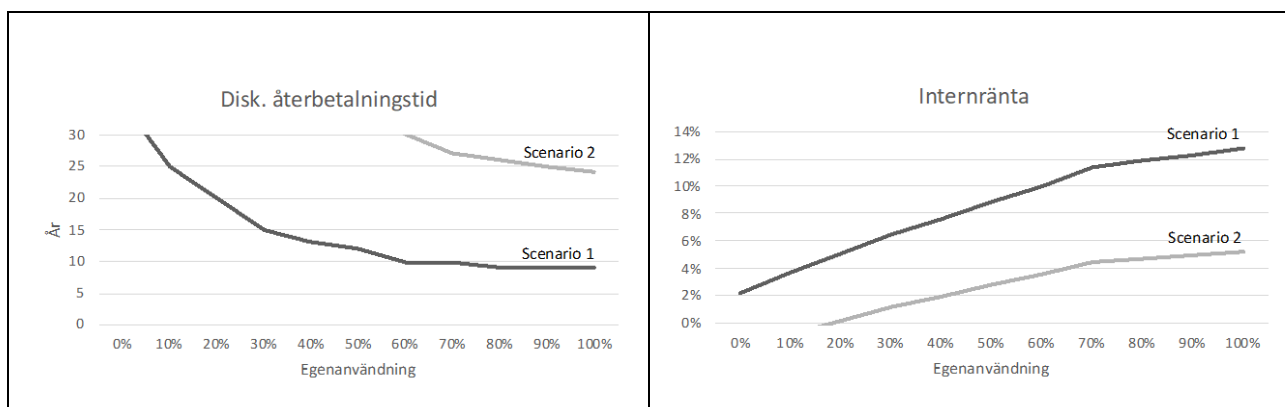
Eftersom både elbehovet och solinstrålningen varierar är det naturligt att det då och då uppstår ett överskott av solel, som automatiskt matas ut till det allmänna elnätet. Att helt undvika överskott är svårt och innebär antingen att man bygger en mycket liten solcellsanläggning, eller ett stort energilager. Den rekommenderade strategin är därför att bygga en solcellsanläggning som är *lagom* stor, och som balanserar tillräcklig klimatnytta med tillräcklig lönsamhet.

I diagrammen i Figur 6 finns två beräkningsexempel som visar hur elproduktionskostnaden och lönsamheten varierar utifrån hur stor andel av anläggningens årsproduktion av el som är egenanvändning. Beräkningarna har gjorts för en solcellanläggning på 100 kW med investeringskalkyl från Mälardalens Högskola² utifrån två scenarier enligt Tabell 1. Resultaten tyder på att så länge egenanvändningen är minst 60% finns goda förutsättningar för en lönsam investering. En mer omfattande analys av lönsamhetens beroende av egenanvändningen har gjorts av Haegermark och Dalenbäck [4]

Tabell 2 Indata som använts i lönsamhetskalkylen för en anläggning om 100 kW. Priserna avser genomsnittet under 30 års livslängd.

	Kalkylränta	Investering (kr/kW)	Årsproduktion (kWh/kW)	Pris köpt el (kr/kWh)	Pris såld el (kr/kWh)
Scenario 1	3%	10 000	1000	1,50	0,50
Scenario 2	4%	12 000	900	1,10	0,40

² www.mdh.se/forskning/forskningsprojekt/framtidens-energi/investeringskalkyl-for-solceller



Figur 7 Resultat från investeringskalkylen som visar hur lönsamheten varierar med andelen egenanvänd solel.

3.6.3 Strategier för ökad egenanvändning

Om ambitionerna är höga för att åstadkomma stor klimatnytta med solcellsinvesteringen kan det vara svårt att uppnå tillräcklig lönsamhet. Det kan då bli aktuellt att använda sig av någon av följande strategier för att öka egenanvändningen av solel:

- **Kollektiv elanslutning**

Elanläggningen byggs om så att fastighetsägaren köper in all el och sedan distribuerar hushållselen vidare till lägenhetsinnehavarna, så kallad kollektivmätning, eventuellt kompletterad med IMD-el (Individuell Mätning och Debitering). I ett flerbostadshus kan detta markant öka underlaget för solcellerna. Läs mer om kollektivmätning av hushållsel i [11], bilaga 3.

- **Batterilager**

Den solel som genereras under dagen lagras så att den kan användas på kvällen. Ett batterilager kan också ge fler intäcksströmmar om det används för att kapa effektoppar och balansera elnätet. Kombinerar med fördel med kollektiv elanslutning.

- **Elbilsladdning**

Allt fler efterfrågar elbilsladdning knuten till hemmet och arbetet, vilket kan öka underlaget för solceller. Kombinerar med fördel med ett stationärt batterilager.

- **Eldriven uppvärmning eller komfortkyla, se [11]**

En ny intressant möjlighet som underlättar för fastighetsägare att koppla samman byggnader med ej koncessionspliktiga elnät gäller från 1 januari 2022 [14]. Det innebär till exempel att en fastighetsägare med tak som lämpar sig väl för solceller kan fylla sina tak och leverera eventuellt överskott direkt till en grannfastighet som har sämre förutsättningar. Detta bör gynna båda parter ekonomiskt jämfört med den tidigare situationen.

3.7 Kombinera solel och solvärme

Att ta vara på den värme som omger solcellerna är ytterligare ett tänkbart sätt för att både höja lönsamheten och öka klimatnyttan för en solcellsanläggning.



Tre grundprinciper för hur detta kan göras är:

- Med en hybridsofångare som innehåller både en vätskekrets och solceller
- Med en vätskekrets som ansluts till vanliga solcellsmoduler
- Genom att fånga upp det varma luftflödet under solcellerna

Den tredje punkten har som en del av projektet studerats närmare i ett doktorandarbete vid Högskolan Dalarna och redovisas i RISE-rapporten [11]. Tanken är att den luft som värms upp under solcellerna sugts ut av en fläkt i närheten av nocken och leds vidare till ett aggregat där värmen överförs till en vätska. Den varma vätskan används antingen för att förvärma tappvarmvatten, eller fungerar som brinevätska i en värmepumpskrets.

Beräkningsresultaten visar bland annat att det i alternativet utan värmepump är möjligt att täcka 20% av tappvarmvattenbehovet i ett trevåningshus om 16% av den tillgängliga takytan är täckt med solceller. I alternativet med värmepump räcker det att 6% av den tillgängliga takytan är täckt med solceller för att täcka 30% av det årliga tappvarmvattenbehovet. En värmepump med solvärmad luft som värmekälla får en hög värmefaktor (SCOP) på hela 4,66, vilket gör det intressant med en driftstrategi som bara kör värmepumpen vid hög solinstrålning.

3.8 Samordnad upphandling

Vad innebär det konkret att kombinera en tak- eller fasadrenovering med en solcellsinstallation och hur påverkar det planering och genomförande av projektet? De olika ägande- och upplåtelseformer som representeras, liksom den stora variationen i omfattning på renoverings- och installationsarbetena har också gett en variation i hur projekten organiserats och handlats upp. Fallstudierna utgör därmed ett alltför begränsat underlag för att dra några långtgående slutsatser om optimala entreprenadformer och upphandlingsunderlag, men är ändå tillräckliga för att i stora drag beskriva hur olika randvillkor kan påverka processen.

Den vanligaste entreprenadformen för en solcellsanläggning är totalentreprenad (avtalsform ABT06), dvs. att erforderlig projektering överläts till entreprenören, som sedan utför allt bygg-/installationsarbete. Om det är aktuellt att handla upp takunderhåll/-renovering som en underentreprenad till en solcellsentreprenad krävs tydliga underlag och rimliga svarstider för att den senare ska vara motiverad att lämna anbud. Exempel på när det kan vara intressant är när takunderhåll sker genom byte av takduk eller då endast enklare förstärkningsarbeten krävs för att taket ska kunna bära solceller.

Då de flesta solcellsentreprenörer är specialiserade på just solcellsentreprenader, kan det beroende på vilken tak- eller fasadrenovering som ska göras, annars vara en fördel att dela upp projektet i två entreprenader, en för solcellsanläggningen och en för renoveringen, vilket sannolikt också leder till fler anbud. Erforderlig samordning faller då på beställaren eller delegeras till en av entreprenörerna. Byggentreprenörer har större erfarenhet av att samordna underentreprenörer och solcellsentreprenaden kan vid ett vanligt utanpåliggande montage med fördel hanteras likt övriga underentreprenörer. Vid en byggnadsintegrerad lösning ställs högre krav på en noggrann gränsdragningslista mellan entreprenader för att upprätthålla en tydlig ansvarsfördelning.



Vid en traditionell utanpåliggande solcellsinstallation bör projektering/dimensionering av montagesystem och solcellsanläggning ligga på solcellsentreprenören. Däremot bör fastighetsägaren (beställaren), redan tidigare låta göra en kontrollberäkning av tillåtna laster på taket och bifoga den i förfrågningsunderlaget. När en installation av en solcellsanläggning kombineras med takrenovering kan det också vara aktuellt med en utförandeentreprenad, upphandlad som Generalentreprenad (en entreprenör samordnar) respektive delad entreprenad (beställare samordnar flera entreprenörer). Detta förutsätter också att fastighetsägaren ansvarar för en mer långtgående projektering (med konsulthjälp).

Många stora offentliga beställare har tillräcklig kunskap att göra bra upphandlingar, medan många mindre kommuner ofta bara utvärderar utifrån pris. Konsekvensen kan bli att man presenteras anbud med billiga lösningar av lägre kvalitet.

En avgörande faktor för hur upphandlingarna sköts i den privata sektorn är huruvida en enstaka eller flera solcellsanläggningar avses installeras under de närmaste åren. En mindre organisation som planerar att köpa en enstaka anläggning genomför oftast ett enkelt inköpsförfarande genom att begära ett par eller flera offerter utan närmare specifikation av krav. Affären bygger på tillit mellan leverantör och kund, och vid kontraktsskrivningen förs ofta diskussioner för att komma överens om detaljer som inte rymdes i upphandlingsunderlaget, och ofta fortsätter diskussionen under projektets gång för att komma överens om ytterligare frågor. Ofta används ABT06.

Större organisationer som har etableringar/fastigheter på flera eller många platser tar oftast fram ett omfattande underlag som liknar de som används vid offentlig upphandling med AMA, AF, Teknisk beskrivning osv. Till skillnad från offentliga upphandlingar har man det enklare och kan styra mot utvalda "hovleverantörer" och långfristiga samarbeten. För något eller några projekt köps tjänster upp av en teknikonsult varvid företaget dels handlar upp någon anläggning och parallellt tar fram förfrågningsunderlag som kan tjäna som mall för kommande projekt.

I bostadsrättsföreningar ser omfattningen av dokumentation och förberedelser inför investeringen ut att kunna variera stort. Ibland nöjer man sig med en enstaka offert även om stadgar styr mot 2 – 3 offerter. Ibland görs en förstudie och i vissa fall därtill ett rejält förfrågningsunderlag men oftast kommer bara begäran om offert. Föreningarna har generellt sett bristfällig kunskap och det är inte sällan att upphandling görs utan stöd från konsulter.

Från leverantörssidan för soleanläggningar hävdas att marknaden inte fungerar så bra för fallet takrenovering och solceller. Man menar att entreprenören i mindre utsträckning lämnar anbud på dessa projekt, vilket bland annat beror på att det råder högt tryck för solcellsbranschen. Man väljer bort dessa affärer då de ofta har korta svarstider och det kan vara svårt att få fram relevant information tillräckligt fort. De offerter som ändå tas fram tenderar att ge höga kostnader bland annat för montage, och korta svarstider gör det svårare för leverantören att få fram data vilket gör att säkerhetsmarginaler läggs in i offerten.

Sammanfattningsvis drar vi här slutsatsen att samordningen av olika kompetenser är den viktigaste nyckeln till lyckade projekt när man kombinerar renovering med solcellsinstallation. Som beställare bör man därför:



1. Oftast genomföra en förstudie och även en mer långtgående projektering än för en vanlig solcellsinstallation. Denna bör bekostas av byggherren.
2. Dela upp arbetet i flera delar (bygg, solcell, ev. VVS) där gränsdragningarna ska vara tydligt definierade.
3. Upphandla en totalentreprenad med en huvudansvarig entreprenör. Om en byggentreprenör tillfrågas, efterfråga tidigare erfarenheter från samarbete med solcellsbranschen. Referenser från liknande projekt, med möjlighet att kontakta de tidigare beställarna, kan ingå i utvärderingsmodellen. Vid mindre omfattande renoveringar kan en solcellsentreprenör vara ett bättre val.
4. Förlänga svarstiden vid upphandling för att ge anbudsgivarna tid att samordna entreprenader.

För mer detaljer om entreprenader och upphandling hänvisas till beskrivningar av de olika fallstudierna i RISE-rapporten [11].

3.9 Fallstudier


Sju byggprojekt, varav sex gällde tak och ett fasad, inriktade på att kombinera renoveringsåtgärder med solcellsinstallation har studerats i projektet. Projekten redovisas här översiktligt och sammanfattningar av respektive fallstudieberättelse återfinns i bilaga 1. Berättelserna i sin helhet återges i RISE-rapportens [11] bilaga 1. Åvingeprojektet hos Einar Mattsson, se Figur 7, gav upphov till projektidén och var också det av de sju projekten där möjlighet gavs att realisera och utvärdera en konceptlösning som tidigare presenterats i projektet Miljontak [7].



Figur 8 Einar Mattssons projekt Åvinge där ett nytt koncept för effektiv renovering med solceller utvärderades. (Källa Einar Mattsson)



Tabell 3 Projektets sju fallstudier.

Projekt	Innehåll	Belysta frågeställningar och erfarenheter	Skisser och realiseringar
Hyreshus i privat regi (Bildkälla Einar Mattsson)	Totalrenovering. Fläktrumstillbyggnad på tak med effektiv installationsyta	Effektiviserad bygglovsprocess Konceptlösning alltför kostsam Intressanta resultat från beräkningar av klimatnytta	
Kommunalt äldreboende (Bildkälla Norconsult)	Omfattande förstudie med utvärdering av takintegrerade lösningar	Takförstärkningsbehov Ekonomiska analyser av olika alternativ Utbudet av takintegrerade solcellslösningar	
Hyreshus i allmännyttan (Foto: P. Kovács)	Enkel takförstärkning och utanpåliggande solcells-montage på plåttak.	Entreprenadformer och förfrågningsunderlag Kollektivt abonnemang samt IMD av hushållsel Driftövervakning	
Hyreshus i allmännyttan (Bildkälla Arkitekterna Krook & Tjäder)	Omfattande förstudie som bl.a. lyfte strategier för ökad egenanvändning	Hur El- och ventilationsrenovering kan påverka förutsättningarna för solcellsinstallation Tydliggjord potential för ökad klimatnytta Hinder för kollektivt elabonnemang	
BRF (Bildkälla Riksbyggen)	Omfattande takrenovering i en stor BRF och utanpåliggande solcells montage på plåttak.	Kostnadsbesparingar genom samordnad takrenovering och solcellsinstallation Välfungerande entreprenadupplägg och ansvarsfördelning i ett omfattande projekt Underlag för stor solcellsanläggning och hög klimatnytta genom kollektivt elabonnemang	



Projekt	Innehåll	Belysta frågeställningar och erfarenheter	Skisser och realiseringar
BRF (Bildkälla Merasol)	Takrenovering med takintegrerade solceller	Takintegrerad solcellslösning bidrog till att takförstärkning inte krävdes och totalkostnaden sjönk Samarbetsfrågor Hinder för kollektivt elabonnemang	
Industri- fastighet (Foto: P. Kovács)	Takrenovering utan solceller och ny fasadbeklädnad med solceller	Samarbetsfrågor Upphandling i privat sektor Värdet av "Grön profil"	



4 Diskussion

EST-projektets utgångshypotes har varit att det är smart att samordna tak- och fasadrenovering med installation av solceller och projektresultaten pekar på en rad möjligheter som detta för med sig. Vi visar också att slutresultatet i många fall vinner på att samordning kombineras med mer eller mindre samtidigt utförande. Ekonomiska prioriteringar kan dock göra att olika åtgärder ställs mot varandra och det är inte alltid solceller ryms inom den tillgängliga budgeten. Vidare kan praktiska utmaningar av olika slag medföra att det blir enklare och bättre att installera solcellerna vid ett senare tillfälle, efter att en renovering är slutförd. Även i dessa lägen finns dock mycket att vinna på att planera renoveringen med solceller i åtanke.

4.1 Nya angreppssätt möter utmaningar

Många av de utmaningar som vi belyst i projektet är kända sedan tidigare. Existerande regelverk och brist på incitament utgör i dag avgörande hinder för att vi i Sverige på allvar ska kunna tillgodogöra oss de fördelar som en storskalig implementering av solceller i flerbostadshus skulle medföra. Det är därför glädjande att kunna konstatera att utvecklingen av regelverk och incitament som underlättar marknadsutvecklingen går förhållandevis snabbt och i rätt riktning.

Under de tre år som projektet pågått har flera viktiga förändringar genomförts, till exempel den höjda effektgränsen från 255 till 500 kW över vilken man åläggs att betala energiskatt på den solel man själv använder. I skrivande stund meddelar regeringen att man från årsskiftet 2021/22 har för avsikt att ta ett viktigt steg genom att i Svensk lagstiftning införliva en del av det EU-regelverk som sammanfattas under rubriken energigemenskaper. Förändringen går ut på att kraftnät mellan byggnader inom en fastighet ska tillåtas. Detta är i dagsläget bara möjligt i vissa specialfall och kommer, när det införs, att innebära att man oftare, med bibehållen god ekonomi kan "maxa" hustak med solceller. En annan förändring som föreslås kan eventuellt komma att undanröja behovet av kollektivmätning av hushållselen i ett flerbostadshus för att öka egenanvändningen av producerad solel.

Projektet har bidragit med en samlad bild av de utmaningar som behöver hanteras för att möjliggöra ett maximerat utnyttjande av tillgängliga takarealer, framför allt på flerbostadshus. Av tidigare kända utmaningar har vi på ett generellt plan adresserat behovet av bättre samordning genom att visa hur byggherrar kan välja entreprenadformer och anpassa förfrågningsunderlag på ett mer ändamålsenligt sätt. En annan handlar om att detaljplaner, markanvisningar och regelverket kring bygglov förefaller att antingen bromsa utvecklingen, eller missa goda möjligheter att accelerera den. Projektets bidrag har här inskränkt sig till att tydliggöra regelverket kring beräkning av byggnadshöjder och till att belysa behovet av en modernisering och fortsatt utveckling av relevanta regelverk.

Mer specifikt har vi beskrivit hur kostnaderna kan hållas nere genom att anpassa byggnaden till (standardstorlekar på) solcellsmoduler i stället för tvärt om. Vi har i en vägledning för fastighetsägare adresserat deras osäkerhet kring möjligheter med kollektivmätning av hushållselen i en byggnad för att möjliggöra en högre egenanvändning av solel. Vi presenterar också ett antal förslag på tekniska lösningar för att komma bort från fragmenterade taktyper och/ eller för att ta tillvara möjligheter att skapa mer effektiva solcellsinstallationer i samband med renovering av fastigheters el- eller



ventilationssystem. Kostnader för dessa lösningar har uppskattats och i ett första fall, Åvinge, kunnat följas i praktisk tillämpning.

4.2 Fortsatt arbete

Det återstår att i flera pilotprojekt likt det hos Einar Mattsson i Åvinge undersöka konsekvenser och ekonomiskt utfall när de åtgärder vi föreslår ska genomföras i praktiken, för att därefter kanske förkasta några lösningsförslag och förhoppningsvis vidareutveckla andra.

För att sedan kunna ta de bästa lösningarna vidare i stor skala förordar vi att de demonstreras i olika tillämpningar och under olika förutsättningar för att samla fler praktiska erfarenheter av tekniken och processen. En tillämpning som ser ut att kunna erbjuda särskilt goda möjligheter för innovation och replikering är det svenska miljonprogrammets alla tak med renoveringsbehov. Det ekonomiska utrymmet är förvisso mer begränsat där än i många andra byggnads/ verksamhetstyper men å andra sidan erbjuder programmet en väldigt stor och relativt standardiserad marknad. En innovationsupphandling med fokus på renovering med solceller vore därför en intressant möjlighet att undersöka vidare.

Insikter om behovet av goda exempel och demonstrationsprojekt har under projektets sista år lett till nya samarbeten och idéer om hur RISE ska kunna bidra till detta. Intresset från fastighetsägare har varit stort, bland annat för att inom ramen för sådana projekt få tillgång till en samlad expertis inom områden som mer kvalificerad solelprojektering, produkt- och marknads-kännedom, brand-, el- och fuktsäkerhet. Baserat på de erfarenheter de sju fallstudierna har gett oss kan några reflexioner och rekommendationer vara befogade i detta sammanhang:

- Bygg/ Installationsprojekten som ska följas av forskare lever alla sina egna liv vilket gör det till en stor utmaning att etablera ett effektivt flöde av information till och ifrån projekten.
- En annan utmaning vi erfarit i några projekt är den höga omsättningen på personal i nyckelpositioner vilket gör att följeforskningen tappar fart och ibland helt kan stanna upp.

För att underlätta och öka flödet av information bör man som forskare:

- Försäkra sig om ett tydligt och aktivt intresse från byggherren.
- Sträva efter att förankra intresset hos flera personer hos beställaren, i företag som representerar denne eller i företag som levererar tjänster eller produkter till projektet, beroende på vad som ska studeras.
- Försöka vara aktiv i hela processen, till exempel genom att medverka vid relevanta byggmöten.
- Försöka etablera en kommunikation som drivs från båda håll, inte bara från forskarsidan.
- Försöka välja projekt som är någorlunda avgränsade till just de frågor man vill studera och inte omfattar många andra åtgärder. På så sätt undviker forskaren att drunkna i detaljer och både forskare och de som driver det projekt som studeras har lättare att hitta den tid som krävs för att följa processen.



Lyckas man med detta har man också betydligt bättre förutsättningar att hantera överlämning när nyckelpersoner försvinner från projektet.

En utmaning som lyfts i ett examensarbete från 2021 är hur vi ska åstadkomma en bra symbios mellan hållbarhet, funktion och form [15], något som vi bara i förbigående har behandlat i detta projekt. Där poängteras bland annat byggherrarnas, i synnerhet offentliga beställares, ansvar för att ställa krav på gestaltad livsmiljö, men också politikens ansvar för att energipolitiska prioriteringar också beaktar miljömässig och social hållbarhet.



5 Slutsatser

Projektet har samlat erfarenheter av att kombinera tak- och fasadrenovering med solcellsinstallation, i första hand genom sju fallstudier i olika typer av fastigheter och upplåtelseformer. Ny kunskap om hur man kan gå till väga och om de mervärden som kan uppnås har presenterats på ett sätt som ska inspirera och vägleda såväl byggherrar som entreprenörer till mer ambitiösa solcellssatsningar. Resultatet blir en ökad klimatnytta men i bästa fall också bättre lönsamhet och mer tilltalande lösningar ur ett arkitektoniskt perspektiv.

- Projektet har visat hur tak- och fasadrenoveringar men även renovering av fastigheters el- eller ventilationssystem kan ge nya möjligheter för solcellsinstallationer
- Projektet presenterar en rad förslag på tekniska lösningar för att komma bort från fragmenterade taktytor och skapa mer effektiva solcellsinstallationer.
- Även om solcellsinstallationen förväntas ske vid ett senare tillfälle, finns all anledning att ta detta framtida arbete i beaktande i planeringen av en renovering. Förhållandevis enkla åtgärder kan nämligen påverka förutsättningarna för en framtida solcellsinstallation på ett avgörande sätt.
- I den snabba och positiva utvecklingen av regelverk och marknadsdrivna incitament ser vi ett starkt stöd för ett ökat fokus på klimatnytta, i linje med de strategier vi utvecklat i projektet.
- Projektet har skapat förutsättningar för en bättre samordning av nyckelaktörer genom att visa hur byggherrar kan välja entreprenadformer och anpassa förfrågningsunderlag på ett mer ändamålsenligt sätt
- Där projektet pekar framåt mot behov av bland annat forskning, innovation och demonstration konstaterar vi att flera relevanta aktiviteter redan pågår, exempelvis stark svensk medverkan i det internationella samarbetsprojektet Task 15 "Enabling framework for the development of BIPV" inom IEA:s solelprogram PVPS [5], samt det RISE-ledda projektet "Standarder och certifiering-Nycklar till en ännu oexploaterad del av solcellsmarknaden" som adresserar certifiering av solceller som byggprodukt [12]. RISE har också i samarbete med Lunds tekniska högskola beskrivit ett upplägg för kvalificerade demonstrationsprojekt och en ansökan till E2B2 väntar i skrivande stund på besked. Diskussioner om någon form av innovationsupphandling med fokus på solceller och miljonprogrammets renovering har också förts med berörda myndigheter.



6 Publikationslista

1. RISE pressrelease i januari 2019. RISE leder tillämpad forskning om takrenovering med solceller. <https://bit.ly/3lrnGOi>
2. EST Nyhetsbrev juli 2019. <https://bit.ly/3lazBtl>
3. Poster vid E2B2 forskarseminarium i oktober 2019
4. BeBo aktuellt november 2019. <https://www.bebostad.se/aktuellt/2019/20190826-effektiva-solcellstak>
5. Kovács, P. Dalenbäck, J-O, Fiedler, F. Tvärfackligt projekt ger branschen ökad kunskap om solcellstak vid takrenovering. (Husbyggaren nr. 3 2019) <http://www.husbyggaren.se/hb1903-ettan/>
6. Dalenbäck, J-O. Haegermark M, Kovács P. Erfarenheter med fokus på ffu och entreprenader. Kombiner solcellsinstallation med takunderhåll för bättre lönsamhet. (Husbyggaren nr. 4 2020) <https://bit.ly/3rs8AMl>
7. Kovács, P. Larsson D. Effektiv renovering med solceller. (Husbyggaren nr. 3 2021). <https://bit.ly/3xOUaqH>
8. Presentation vid BeBo Belok seminarium Aktuellt inom solel. Oktober 2021
9. Webinar Effektiv renovering med solceller. Oktober 2021. <https://solartestbed.se/media/2021/10/211025-EST-Webinar.pdf>



7 Referenser

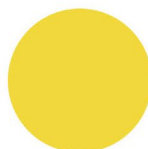
- [1] Askemar, H., & van Noord, M. (2021). Klimateffektiv solenergi: Jämförelse av klimatpåverkan från tillverkning av olika solcellsmoduler.
- [2] Boverket (2021) Energieffektiviseringsstöd. <https://www.boverket.se/sv/bidrag--garantier/stod-till-energieffektivisering-i-flerbostadshus/> Hämtad 2021-11-18
- [3] CFPA E Guideline No 37:2018 F
- [4] Haegermark M, Dalenbäck J-O, Kovács P (2017). Economic feasibility of solar photovoltaic rooftop systems in a complex setting: A Swedish case study. Energy. 127. 10.1016/j.energy.2016.12.121.
- [5] IEA PVPS Task 15. <https://iea-pvps.org/research-tasks/enabling-framework-for-the-development-of-bipv/> Hämtad 2021-11-18.
- [6] Kovács P et al. (2019) Testbädd för byggnadsintegrerad solel. <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/projekt/testbadd-for-byggnadsintegrerad-solel/>. Hämtad 2021-11-19.
- [7] Kovács P et al. (2017) Miljontak – Takrenovering med solceller. Energimyndighetens projektnummer: 41857-1
- [8] Kovács P et al. (2018) Solceller som solavskärmning – Forskning, utveckling och demonstration. RISE Rapport 2018:59. Energimyndighetens projektnummer: 40842-1
- [9] Kovács P et al. 2021. Solceller som byggprodukt. <https://www.ri.se/sv/vad-vi-gor/expertiser/solceller-som-byggprodukt>. Hämtad 2021-11-19.
- [10] Kovács P, Hemlin OP, Karlsson S. (2019) Konkurrenskraftiga Industrialiserade Solcellstak. Energimyndighetens Projektnummer 40 180-1
- [11] Kovács P, Larsson D. (2021) Effektiv renovering med solceller. RISE rapport 2021:100.
- [12] Kovács P, Sjöholm D. (2021) BIPV, standarder och certifiering. <https://www.vinnova.se/p/standarder-och-certifiering---nycklar-till-en-annu-oexploaterad-del-av-solcellsmarknaden/> Hämtad 2021-11-18.
- [13] Staaf H, Isaksson Nilsson S. (2020) Beslutsprocesser för hållbara renoveringar inom bostadsrättsföreningar. Examensarbete ACEX20. Institutionen för arkitektur och samhällsbyggnadsteknik. Chalmers tekniska högskola
- [14] Svensk Författningssamling SFS 2021:976. <https://svenskforfattningssamling.se/sites/default/files/sfs/2021-11/SFS2021-976.pdf> . Hämtad 2021-11-26
- [15] Unger, M. TÄNK OM - Kring solcellsanläggningar på byggnader. 2021-05-20. Examensarbete Campus Varberg - Solenergiprojektör specialisering solceller - sol 19.



Bilagor

Bilaga 1. Fallstudier

Bilaga 2. Ekonomisk lönsamhet och klimatnytta



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 är Energimyndighetens program där IQ Samhällsbyggnad är koordinatör.
Läs mer på www.E2B2.se.*



Sammanfattning av sju fallstudier

Projektet ”Optimerad renovering för effektiva solcellstak” har byggts kring sju fallstudier av vilka sex handlat om takrenovering och en om fasadrenovering. Fastighetsägarna har föresatt sig att genomföra förstudier för att utreda förutsättningarna för att kombinera sina renoveringsprojekt med installation av solceller. I fem fall har förstudierna lett vidare till slutförda projekt och i två har de stannat vid en detaljerad förstudie. Här följer sammanfattningar av dessa fallstudier vilka återges i sin helhet i RISE-rapporten 2021:100 ”Effektiv renovering med solceller”.

Innehåll

1	Hyreshus i privat regi, Stockholm	2
2	Äldreboendet Fyrväplingen, Göteborg	2
3	Hyreshus i allmännyttan, Göteborg	4
4	Hyreshus i allmännyttan, Borås	5
5	Bostadsrättsförening, Göteborg	6
6	Bostadsrättsförening, Skövde.....	8
7	Industrifastighet, Jönköping.....	9

1 Hyreshus i privat regi, Stockholm

Fastigheten Åvinge 2 var 2016 i behov av omfattande upprustning. Vid sidan av stambyte och lägenhetsrenovering planerades även värmeåtervinning med frånluftsvärmepumpar som var tänkta att placeras i nya fläktrum på taket. Einar Mattsson, privat hyresfastighetsägare i Stockholm, genomförde på ett av husen en omfattande takrenovering i linje med det koncept som utvecklades i det tidigare forskningsprojektet Miljontak, där många små fläktrum ersatts av ett stort. Därigenom tillskapades betydligt större ytor för solceller, både på taket och fasaden.

Inom ramen för projektet genomförde Solkompaniet Konsult en analys av de föreslagna energilösningarnas klimatpåverkan som en del av ett test av verktyget Tidstegen¹.

Summerade erfarenheter och resultat:

- En tidig dialog med bygglovshandläggare för att presentera projektet, liksom tydliga visualiseringar av den planerade solcellsinstallationen kan underlätta processen med bygglov och spara mycket tid.
- Analysresultat från Tidstegen visade att de frånluftsvärmepumpar som installerades är negativa ur klimatsynpunkt genom att de ökar fastighetens elanvändning samtidigt som de tar bort en del elproduktion från den mottryckskraft som annars skulle levererat fjärrvärme till fastigheten. Solcellerna bidrar däremot positivt.
- Planer på att lagra överskottsel från solcellerna i form av varmvatten avskrevs, då detta gjorde projektet mer komplext och inte bidrog med någon extra klimatnytta.
- Den genomförda takombyggnaden, med ett stort fläktrum, upplevdes ha flera fördelar vid sidan av att inrymma mer solceller. Enligt den kalkyl som genomfördes blev det dock väsentligt dyrare än att ha många små fläktrum.
- Mer takyta fanns tillgängligt på intilliggande byggnader, men dessa utelämnades på grund av att egenanvändningen där skulle ha blivit mycket låg, delvis eftersom hushållselen här liksom i Borås distribuerades via egna lägenhetsabonnemang. Dessa kan enligt nuvarande regelverk inte utgöra underlag för egenanvändning av den solel som produceras. Möjligheten att lägga om dessa till ett gemensamt abonnemang med undermätning undersöktes inte då renoveringen planerades.

2 Äldreboendet Fyrväpplingen, Göteborg

Lokalförvaltningen (LF) i Göteborg förvaltar äldreboendet Fyrväpplingen som består av två delar där papptaket på den äldre delen, se figur, var i behov av renovering. Alternativa

¹ IVL-rapport B2373. Klimatbedömning av energilösningar i byggnader – Pilotprojekt för test av verktyget Tidstegen. Tidstegen är ett fritt tillgängligt verktyg med vars hjälp man kan beräkna och jämföra klimatpåverkan under driftfasen när energilösningar planeras vid nybyggnad eller renovering. Verktyget kan laddas ner från <https://www.ivl.se/projektwebbar/tidstegen.html>

möjligheter som diskuterades var dels en omläggning av papptaket och möjligheten att trots alla störande avluftningar m.m. som bryter upp takytan få till en snygg och effektiv solcellsanläggning. En väg fram kunde då vara ett förhöjt montage, se avsnitt 5.5, en annan att kapa ner avluftningarna för att få in dem inom det utrymme under panelerna som ett konventionellt solcellsmontage kan ge. Eftersom LF hade dåliga erfarenheter av papptak ville man gärna testa vad EST-projektets förslag på en för solceller ändamålsenlig ombyggnad av taket skulle innebära.

Exempel på frågeställningar och insikter som detta ledde fram till:

- Nya snölastkrav behöver normalt tillämpas vid en ombyggnad och en grundlig utredning om laster visade på behov av förstärkningar av takkonstruktionen men inte av bärande väggar
- Samtidigt ifrågasattes kravet på förstärkningar vid ombyggnad eftersom det avsevärt kan fördyra en solcellsinvestering. Den stora merparten av takrenoveringar ses inte som ombyggnad och då krävs inga förstärkningar. På en byggnad med tegeltak kan exempelvis en integrerad solcellslösning som ersätter betongtakpannor minska takets vikt men ändå ge upphov till ett krav på takförstärkning om den definieras som en ombyggnad
- Ändrad orientering på takfallet kan dra med sig åtgärder för dagvattenhantering

Vid en workshop där EST-projektet i juni 2019 bjöd in leverantörer av takintegrerade solcellslösningar konstaterades att mycket hänt på området på ett par år då inte mindre än sju produkter inom tre olika kategorier visades upp. Lokalförvaltningen och deras konsult tog tillfället i akt att undersöka en lösning lämpad för en ombyggnad av Fyrväpplingens tak och tog in budgetofferter på två olika falsade plåttak med integrerade solceller, en med tunnfilm och en med kristallint kisel, samt en lösning baserad på en flexibel polymertäckning med integrerade tunnfilmssolceller.

Summerade erfarenheter och resultat

- Slutpriset på ombyggnad av taket med solceller blev, oavsett om cellerna integrerats eller monterats på traditionellt sätt alltför högt på grund av den omfattande ombyggnaden. Man valde i stället en enkel omläggning av pappen och att enbart lägga solceller på ett intilliggande falsat plåttak.
- Ambitionen att testa lösningar i framkant inom ramen för ett pågående stort investeringsprogram i Göteborgs stad kvarstår och projektet har bidragit med ny kunskap.²
- Otydlighet från flera leverantörer beträffande bland annat prissättning vid nämnda workshop och förfrågan från LF skickar signaler om att byggnadsintegration fortfarande är en omogen bransch som behöver ”komma ut” om marknaden ska växa.

² Lokalförvaltningen i Göteborg arbetar med ett ambitiöst investeringsprogram för solceller fram till 2030 och har prisats för en effektiv upphandlings- och genomförandeprocess, se <https://goteborg.se/wps/portal/enhetssida/tekniska-krav-och-anvisningar-for-dig-som-bygger-lokaler-at-goteborgs-stad/solceller>

Under de gångna två åren har dock branschen fortsatt att utvecklas och responsen skulle sannolikt blivit en annan i dag.

- Plåttak med integrerade tunnfilmssolceller blev 30-50% dyrare per installerad Watt än utanpåliggande kiselsolceller. De skulle dessutom ge ett lägre energiutbyte på samma yta på grund av den lägre effektiviteten / omvandlingsverkningsgraden.

3 Hyreshus i allmännyttan, Göteborg

Gårdstensbostäder är en erfaren beställare med en erfaren byggprojektledare som under lång tid genomfört solenergiinvesteringar och skaffat erfarenhet av olika upphandlings- och entreprenadformer³. Timjans- och Saffransgatan i norra Gårdsten är ett miljonprogramsområde byggt 1970 där taken på 80-talet byggts om från platta till uppstolpade plåttak som nu var i behov av renovering. Alternativet att bygga nya yttertak valdes bort efter en inledande grov kalkyl och man valde i stället att reparera läckande tak och att förstärka dem på de södertak på varannan huskropp, där solceller skulle monteras i ett enkelt utanpåliggande montage.

Summerade erfarenheter och resultat:

- Den stora förtjänsten med att kombinera takrenovering och solcellsinstallation på höga byggnader är minskade ställningskostnader vilket kan utgöra en avsevärd andel av kostnaden för en solcellsanläggning
- Genom att man här redan vid nybyggnation samlat alla utvändiga installationer vid nock kunde man utan stora ingrepp få på plats en effektiv och estetiskt sett ok solcellsanläggning.
- Sedan tidigare fanns ett gemensamt elabonnemang med undermätning av lägenheternas elanvändning vilket utan ytterligare åtgärder möjliggjorde en större anläggning med bibehållen god ekonomi än om lägenheterna haft egna abonnemang. El ingår i hyran och lägenheterna mäts individuellt. Mellanskillnaden mot det som ingår i hyran debiteras alternativt krediteras hyresgästen månadsvis till självkostnad plus administrativt påslag enligt en överenskommelse med hyresgästföreningen
- Området har elcentraler i varannan byggnad. Anläggningarna har dimensionerats för ett rimligt lågt överskott med en anläggning per elcentral vilket stämmer bra med södervänd takarea. Att inte fler takytor belades med solceller är en naturlig följd av dagens regelverk och en företagsekonomisk optimering av anläggningen där man i Gårdsten siktade på en överproduktion inom maximalt 5-10 procent.
- En anbudsfrågan som omfattade både en relativt enkel takförstärkning och solcellsinstallation fungerade i detta fall bra. Ett etablerat entreprenadföretag med erfarenhet av solcellsinstallation ansvarade för en totalentreprenad (TE), med tre underentreprenörer för el, bygg och ställningsbygge. En option på ytterligare sju takinstallationer löstes ut efter att den första installationen godkännts.

³ Läs mer om upphandling av kombinerad takrenovering och solcellsinstallation i Husbyggaren 2020-04.

Det har länge varit en ambition att ha med såväl Gårdstens som stadens övriga solcellsanläggningar i Göteborg Energis system för fastighetsuppföljning, men detta har tagit lång tid att realisera. I Gårdsten förväntas det ske år 2022. Svårigheter att integrera solenergianläggningar i, eller att länka dem samman med ordinarie driftövervakningssystem är tyvärr en alltför vanlig erfarenhet vid solcellsinstallationer. Detta har LF Göteborg framgångsrikt hanterat genom att ta med en styrentreprenad i sina solcellsinstallationer för att bidra med en förhållandevis trivial men viktig insats.

4 Hyreshus i allmännyttan, Borås

Fastigheten Tolvskillingen 2, byggd 1968, består av sex huskroppar med trevåningshus där varje gård har en gemensam fjärrvärmeanslutning och ett el-abonnemang för driftel. Varje lägenhet har sitt eget el-abonnemang. Husen har självdragsventilation som blivit otillräcklig efter att husen energieffektiviserats och ett nytt ventilationssystem behövde installeras. Fastighetsägaren valde då att undersöka möjligheterna med att samtidigt med detta installera solceller.

I förstudien blev det tydligt att en genomgripande renovering av ventilationssystemet, beroende på vilken lösning man väljer, kan få stor inverkan på takutformningen och/eller på förekomsten av installationer på taket. Detta kan i sin tur påverka förutsättningarna för en solcellsinstallation och möjligheten att åstadkomma stora sammanhängande ytor för solceller. Eftersom olika alternativ för ventilation, värme och varmvatten resulterar i olika elbehov så finns det även i det avseendet anledning att titta på helheten när man planerar en solcellsanläggning eller en takrenovering.

Egen användning av den el som solcellerna producerar är som regel mer lönsam än att sälja ett överskott och en ventilationslösning med högre elanvändning ger därmed underlag för en större solcellsanläggning med bibehållen god ekonomi. Fallstudien i Åvinge, se avsnitt 9.1, visar dock att klimatnyttan i det fallet i stället kan bli lägre. Ett ur klimatsynpunkt mer självklart sätt att motivera en större solcellsanläggning som också undersöktes är att lägga samman lägenheternas el-abonnemang till ett kollektivt abonnemang med undermätning, se avsnitt 6.3. Hyresgästföreningen ställde sig positiva men fastighetsägaren har valt att avvakta med sådana åtgärder vid renovering, bland annat på grund av oklara skatteregler.

I ventilationsutredningen jämfördes enkel frånluftsventilation, frånluftsvärmepump och FTX under antagande att man bibehåller fjärrvärmeanslutningen. Jämförelsen ledde fram till valet av enkel frånluftsventilation utan värmeåtervinning. Avgörande argument var dålig ekonomi i konkurrerande lösningar som ett resultat av dåliga praktiska förutsättningar. Parallellt utreddes några olika alternativ för solcellsinstallation där även möjligheterna för batterilagring och elbilsladdning fanns med.

Slutsatsen var att ventilationsombyggnaden inte skulle komma att få någon stor inverkan på takets utformning om man valde en enkel frånluftsventilationslösning. Den skulle möjligen skapa ytterligare hinder för solceller på taken. Taken var inte heller i behov av renovering i närtid, utan någonstans i mitten av sin livscykel vilket bidrog till att fastigheten bedömdes som mindre intressant för solcellsinstallation. AB Bostäder beslutade därför att avvakta med

solcellsinvesteringen i väntan på ett mer lämpligt objekt.

Summerade erfarenheter och resultat:

- Vid övergång från S till F, FX eller FTX-ventilation⁴ ökar elanvändningen, och därmed underlaget för egenanvändning av producerad solel i ordningen F, FTX, FX.
- Vid övergång från S till F, FX eller FTX-ventilation påverkas indirekt förutsättningarna för en solcellsinstallation på olika sätt eftersom det ofta resulterar i mer omfattande installationer på taket. Om installationerna arrangeras eller byggs in på rätt sätt skapas samtidigt förutsättningar för en effektivare solcellsinstallation. Om inte så kan förutsättningarna i stället försämrats. Samordning av dessa två aktiviteter kan ge en på flera sätt effektivare helhetslösning men det finns även anledning att planera för solceller om en sådan investering kan tänkas bli aktuell längre fram
- Med ett upphöjt montage skulle det vara möjligt att inrymma cirka 100 kW solceller per huskropp, jämfört med 20 kW per huskropp vid ett standardmontage på de ytor som är fria från installationer.
- Oklara skatteregler är en anledning till att bolaget väljer att avstå från att lägga samman individuella el abonnemang till ett gemensamt, vilket skulle skapa förutsättningar för en större solcellsanläggning
- Ett upphöjt montage med solceller kunde varit motiverat och fördelaktigt om man valt en FTX- eller FX-lösning för ventilationen. Med hänvisning till entreprenadform och upphandling skulle vår rekommendation i så fall varit att genomföra en projektspecifik projektering, för att reda ut detaljer kring utformningen och säkerställa effektiva gränsdragningar och samverkan mellan delentreprenader. Därefter handla upp en totalentreprenad med ett byggföretag som huvudansvarig. För att få in kvalitet i upphandlingen kan monetära avdrag på priset anges i utvärderingsmodellen, där avdragets storlek är beroende av hur relevanta/bra referensprojekt som redovisas.

5 Bostadsrättsförening, Göteborg

Bostadsrättsföreningen Göteborgshus 38 omfattar 16 huskroppar med totalt 14 000 m² tak och en stor variation i byggnadshöjder. Området är byggt 1975 och husen fick nya tak – uppstolpade sadeltak med trapetsformad plåt 1982. Föreningen kunde efter en undersökning av takens tillstånd 2012 konstatera att de var i behov av renovering. År 2017 började man undersöka möjligheten att investera i solcellsanläggningar. Renovering av byggnadernas tak började också bli akut efter allt oftare förekommande läckage och flagnande ytskikt på

⁴ S=självdraagsventilation, F= mekanisk frånluftsventilation, FX= mekanisk frånluftsventilation med frånluftsvärmepump för värmeåtervinning, FTX= Mekanisk från- och tilluftsventilation med värmeväxlare för värmeåtervinning

plåttaken. Inledande undersökningar av taken visade på fuktskador i takstolarna och man beslutade därför att bygga helt nya sadeltak på vindsbjälklaget.

Då byggnaderna omfattades av kulturmiljöprogrammet så var bygglov ett krav. Man sökte bland annat bygglov för att man ville dra ut takfoten för att skydda fasaden, se figur, vilket bidrog till att bygglovshandlingen drog ut på tiden och hotade att äventyra det installationsstöd på 2,8 MSEK som föreningen beviljats. Frågan löstes till sist genom att Riksbyggen kunde visa dokumentation som styrkte att takfotsutdrag var en effektiv åtgärd för att skydda fasaden. Frågan om solceller gick igenom bygglovsprocessen utan några komplikationer.

Föreningen har åtta el abonnemang totalt. Lägenheternas elanvändning ingår tillsammans med driftelen i kollektiva abonnemang vilket gav goda förutsättningar för en hög egenanvändning av producerad solel. Debiteringen av hushållsel ingår i avgiften. Enligt Riksbyggen är lägenheternas elanvändning 20-30% högre än normalt, men ett förslag om att införa IMD avfärdades av styrelsen. Taken erbjöd bra installationstekniska förutsättningar. Några fläktar behövde flyttas, men inte på grund av solelen. Takintegrerad lösning hade diskuterats tidigare, i samband med ett forskningsprojekt, men togs aldrig upp när man på allvar började fundera på solceller.

COWI gjorde en förprojektering och tog fram ett förfrågningsunderlag för en totalentreprenad, men lite mer styrt där exakt placering av moduler och växelriktare framgick, AC-kablar var dimensionerade och dragningen utritad. Entreprenaden gick till ett tidigare anlitat byggföretag- Tuve Bygg- med Solkompaniet som underentreprenör.

Fler bilder från takrenovering och solcellsinstallation:

<http://media2.gbghus38.se/2020/09/Produktionsbilder-forsta-huset-2.pdf>

Summerade erfarenheter och resultat:

- Byggprojektet bedöms i efterhand att ha gått enligt plan och varit lyckat, utan några stora förändringar eller tillkommande oförutsedda kostnader. Föreningen valde att köpa till visualisering av solcellsproduktionen Någon uppföljning av ekonomi eller drift har ännu inte genomförts i oktober 2021.
- Att genomföra solcellsinstallationerna i direkt anslutning till takrenoveringen ledde till besparingar i arbetsplatskostnader såsom bodar, platsledning, lyft, ställningar och hissar.
- Andra fördelar man lyfter fram från Riksbyggen är att ansvarsfördelningen underlättades genom en tydlig gränsdragning mellan tak- och solcellsarbeten och en kontraktspart som ansvarar för hela projektet gentemot beställaren.
- Framgångsfaktorer i projektet som lyfts fram i ett examensarbete från Chalmers [Staaf H, Isaksson Nilsson S. 2020. Beslutsprocesser för hållbara renoveringar inom bostadsrättsföreningar.] fokuserar visserligen på processen i bostadsrättsföreningen fram till investeringsbeslut på föreningsstämman vilken är intressant i sig, men några av dessa faktorer har även bidragit till att genomförandet av projektet blev bra:

- Projektet hade goda förutsättningar med kollektiv anslutning av all hushållsel och därmed en hög egenanvändning av den producerade solelen vilket är gynnsamt för investeringens lönsamhet
- Styrelsen tog tidigt i processen in hjälp och råd från Riksbyggen som tog byggherreansvaret och som i sin tur tidigt inledde ett samarbete med konsulter i förstudiearbetet
- Tiden från idé till driftsättning blev totalt drygt fyra år varav själva produktionsfasen utgjorde 1,5 år. Processen från idé till byggstart pågick alltså i 2,5 år vilket med tanke på projektets omfattning, en investering på cirka 100 MSEK, säkert varit befogad. Ytterligare en anledning kan ha varit det omfattande arbete som styrelsen och Riksbyggen la ner på att informera och involvera föreningens medlemmar i processen. Examensarbetet från Chalmers ger där flera uppslag till hur beslutsprocesser kring långsiktiga, hållbara investeringar i bostadsrättsföreningar kan effektiviseras ytterligare.

6 Bostadsrättsförening, Skövde

Bostadsrättsföreningen Riksbyggens Skövdehus 10 består av tio trevåningshus med totalt 183 lägenheter fördelat på två fastigheter. Idén till en solcellsinstallation kom upp i samband med att bostadsrättsföreningens styrelse, som beskrivs som framåt och nyfiken på ny teknik, började planera för en omfattande takrenovering 2018. Man initierade en förstudie kring takrenoveringen och var tidigt inne på solceller, med mandat från föreningen.

Behovet av takförstärkning kom upp som ett resultat av solcellsplanerna och vid en första kostnadsbedömning av en utanpåliggande solcellsanläggning konstaterades att takförstärkningarna skulle bli en stor merkostnad. Med ett förslag där solcellerna helt ersatte de gamla takpannorna kunde man dock visa att taket då inte skulle behöva förstärkas. En takintegrerad lösning gav alltså möjlighet att reducera kostnaderna för solcellerna genom att man undvek kostnader både för takförstärkning och nya takpannor. Styrelsen tog dock inget beslut om byggnadsintegrerade solceller utan utformade anbudsfrågan så att det gick att lämna anbud på antingen integrerade eller utanpåliggande solceller.

Fremsta målet för projektet var att genomföra en takrenovering. Höga kostnader för fastighetsel som man ville få ner bidrog till funderingar på solceller.

En projekteringsgrupp (A, EL, K samt projekteringsledare) tog fram ett komplett förfrågningsunderlag för totalentreprenad för kombinerad takrenovering och solcellsinstallation med option för pris på integrerat. Man fick in fyra offerter från olika entreprenörer. Alla räknade på takbyte med utanpåliggande solceller men endast en (Merasol) gav ett pris på takintegrerat montage. Det bästa anbudet var på 8,7 MSEK med integrerat, där ett utanpåliggande skulle blivit 312 000 kronor dyrare. Styrelsen gick på att det var mer än 300 kkr billigare med integrerat och har i efterhand dessutom konstaterat att installationen blivit mycket snyggare än med utanpåliggande. Solcellsanläggningen dimensionerades utifrån abonnemangens storlek

(endast fastighetselen) och att överskottet begränsades till cirka 30% på årsbasis. Rekommenderad anläggningsstorlek blev 120-130 kWp och en beräknad årsproduktion på 120 MWh.

Kollektivmätning diskuterades bland annat med Riksbyggens ekonom men valdes bort, främst för att det skulle bli krångligt med hanteringar av individuella abonnemang för lägenhetsinnehavarna och eventuellt även på grund av bristande kunskap om de tekniska förutsättningarna.

Summerade erfarenheter och resultat:

- Satsningen på solceller i anslutning till takrenoveringen backades upp brett från föreningens medlemmar med ett starkt miljöintresse som främsta motiv. Riksbyggen, BRF-representanterna och de boende är mycket nöjda med installationen och andra bostadsrättsföreningar har visat stort intresse för projektet.
- Slutpriset följde väldigt väl offerten på solcellsinstallationen med få överraskningar. Riksbyggen och BRF-representanterna är nöjda med installationen.
- Genom valet av en takintegrerad solcellslösning slapp man förstärka taken och kostnaden för hela projektet blev därmed lägre än vad den skulle blivit med utanpåliggande montage.
- Detta var det första samarbetet mellan totalentreprenör (bygg) och underentreprenör (solel) och gränsdragningen var antagligen inte riktigt tydlig mellan dessa två. Solcellsinstallationen drog över i tid vilket skapade en del friktion och merkostnader för hyra av byggställningar. Föranmälan dröjde o besiktningen drog ut på tiden. Dokumentationsöverlämnandet krävde en del arbete från projektledaren även om kraven fanns preciserade i FFU solceller.
- Systemet för driftuppföljning vållade en del bekymmer då det endast gick att få en inloggning. Vid driftfel ger systemet inte full information om vad som är fel utan det måste kontrolleras på plats.
- Bygglov för solcellerna behövdes inte då dessa följde takets lutning. Bygglovet gällde ändring av takmaterial, dock inte solcellerna.
- Det är upp till fastighetsägaren att säkerställa att taket klarar snö- och vindlast. Detta behöver inte stärkas i samband med bygglovsansökan.

7 Industrifastighet, Jönköping

Projektets enda fasadrenovering med solceller utförs i skrivande stund på en centralt belägen industrifastighet i Jönköping, Ädelmetallen 1. Mer än 3500 m² fasad kommer att täckas av svarta tunnfilmssolceller och kompletterande passbitar i samma kulör. Logistikfastigheten uppfördes från början av ASG och olika logistikföretag har varit verksamma i byggnaden sedan dess.

I samband med renoveringen delas de uthyrningsbara ytorna upp i 3 enheter och hyrs ut på 5- och 10årskontrakt. En bygghandel, en verksamhet med 20 padelbanor och ett inredningsföretag som säljer på nätet och behöver utökade kontorsytor samt större lager är nya hyresgäster i anläggningen. I samband med fasadbytet läggs också ett nytt tätskikt på taket i form av takpapp. Huset värms av fjärrvärme och man har ett elabonnemang från nätägaren och interna undermätare till hyresgästerna. Enligt hyresavtalen ska fastighetsägaren hålla samma pris som Jönköpings Energi där man köper sin el, plus ett mindre administrativt påslag.

Sex av Soltechkoncernens bolag har tillsammans fått uppdraget från den privata fastighetsägaren Lustgården Ädelmetallen AB i Jönköping som förutom industrifastigheter även äger cirka 500 hyresrätter i flerbostadshus.

Summerade erfarenheter och resultat:

- För EST-projektets forskargrupp bekräftar projektet en generell slutsats. Ett erbjudande där leverantören täcker in projektets alla behov med väl samkörda aktörer är en nyckel till framgång för mer komplexa projekt som byggnadsintegration och tak- eller fasadrenovering med solceller. I fallet Ädelmetallen hör samtliga sex aktörer hemma i samma koncern, men liknande erbjudanden kan förhoppningsvis i allt större utsträckning framöver presenteras av sinsemellan oberoende aktörer som målmedvetet utvecklar den här typen av samarbeten.
- Projektet är ett exempel på hur privata aktörer ofta genomför en mycket enkel upphandlingsprocess baserad på förtroende och med en från början utsedd leverantör, se avsnitt 8.
- Estetik och högt kommunikationsvärde har här varit viktigare än hög elproduktion till minimerad kostnad. Ägaren ser värden i form av en intäkt, ett ökat fastighetsvärde, samt att företagets miljöprofil kan stärkas.
- Solcellsanläggningen och den el som den producerar upplevs ha påverkat förhandlingarna med hyresgäster på ett positivt sätt. Man har kunnat sälja in ”grön, närproducerad el” som en del i sin, och i nästa led, hyresgästernas miljöprofil.
- Beställaren är klart positiv till erfarenheterna så här långt. Man menar att det är högst troligt att man kommer gå vidare med solcellsfasader i kommande nybyggnadsprojekt.

Ekonomisk lönsamhet och klimatnytta

På följande sidor lyfter vi fram några principbilder med de alternativ som bedöms mest intressanta. En komplett lista med samtliga alternativ som studerats finns som bilaga till RISE-rapporten 2021:100 ”Effektiv renovering med solceller”. Där presenteras också beräkningarna mer ingående.

Vid sidan av de ekonomiska aspekterna redovisas även klimatnyttan, vilken är direkt proportionell mot elproduktionen. Denna beror i sin tur på solcellernas verkningsgrad, täckningsgrad¹ och orientering. Klimatnyttan kan även öka som en följd av att byggnadsintegrerade solceller ersätter andra byggmaterial.



Figur 1 Så här illustrerar vi ekonomisk lönsamhet och klimatnytta i följande figurer

Innehåll

1	God lönsamhet på lutande tak utan andra objekt	2
2	Små objekt på lutande tak kan hanteras	2
3	Takkupor betydande hinder för solceller	3
4	Lönsamt även på platta tak utan hinder	3
5	Hanterbart med små objekt på platta tak.....	4
6	Flera alternativ för platta tak med fläktrum eller andra stora objekt	5
7	Solceller intressant vid omfattande fasadrenovering	6
8	Solceller kan ersätta fast solavskärmning	6
9	Solceller på balkonger bra i vissa fall	7

¹ Med täckningsgrad menas hur stor del av en yta som täcks av aktivt solcellsmaterial.

1 God lönsamhet på lutande tak utan andra objekt

Både solceller som installeras utanpå tak och system där vanliga solcellsmoduler ersätter takmaterialet uppvisar god lönsamhet. Att använda dyrare solcellsprodukter som takpannor och takplåtar med integrerade solceller kan vara lönsamt om de ersätter ett dyrare takmaterial eller om det går att värdesätta de arkitektoniska kvalitéerna.

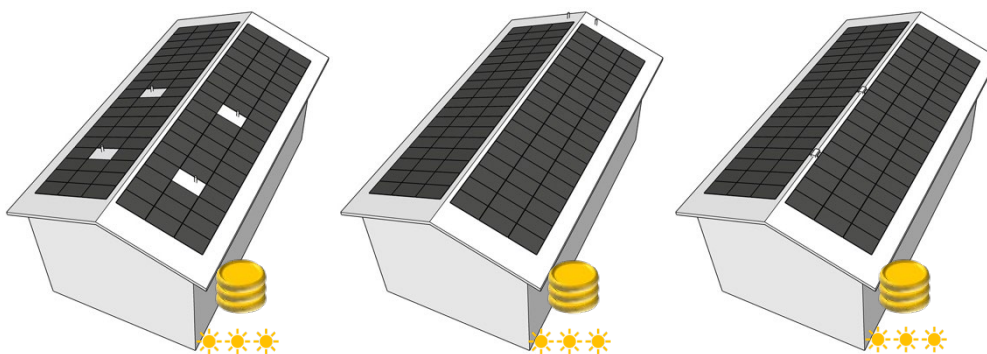
I beräkningarna har antagits att de utanpåliggande solcellerna inte är beträdbara, medan de integrerade är det (och även klarar den förhöjda snölasten intill eventuella snörasskydd).



Figur 2 Utanpåliggande solcellsmoduler, integrerade solcellsmoduler och solcellstakpannor.

2 Små objekt på lutande tak kan hanteras

Små objekt som rör och ventilationshuvor är ofta hanterbara. Oavsett om de åtgärdas genom att rör dras om invändigt på vinden eller utvändigt under solcellerna så är de tillkommande kostnaderna små sett till projektet som helhet. Vid invändig omdragning kan även fasadmonterade don användas.

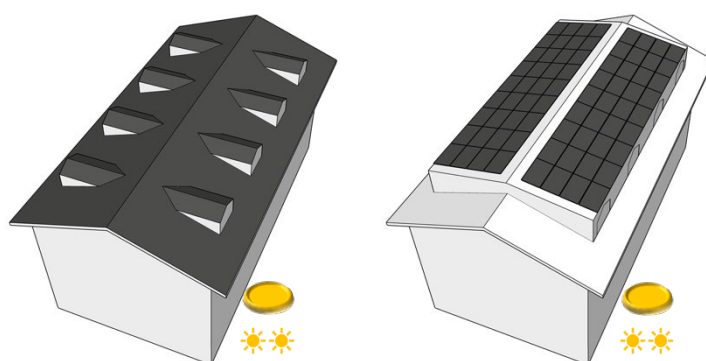


Figur 3 Ingen omdragning av rör, omdragning av rör invändigt på vinden och omdragning av rör utvändigt på taket.

3 Takkupor betydande hinder för solceller

Större objekt som takkupor är svåra att kombinera med vanliga solcellsmoduler, utan det krävs dyrare produkter som solcellstakpannor eller -plåtar.

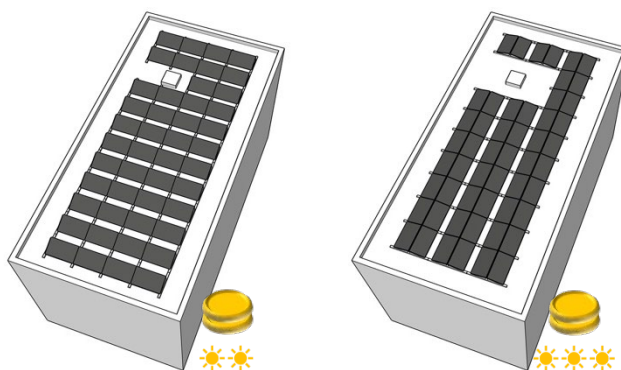
Kostnaden för en ombyggnad kan vara svår att motivera enbart utifrån värdet av den el som produceras. Möjligen är åtgärden genomförbar om det samtidigt går att utöka boytan.



Figur 4 Takintegrering på och runt befintliga takkupor med solcellstakpannor respektive ombyggnad med enkel integrering av solcellsmoduler.

4 Lönsamt även på platta tak utan hinder

Stora solcellsanläggningar på platta tak anses vanligen ge mycket god lönsamhet. När vi inkluderar takomläggningen i analysen ger detta emellertid ett något sämre resultat, dels för att upplutade solceller på ett platt tak ger lägre täckningsgrad (främst mot söder), dels för att vi antagit att papptaket behöver läggas om en gång under anläggningens livslängd.

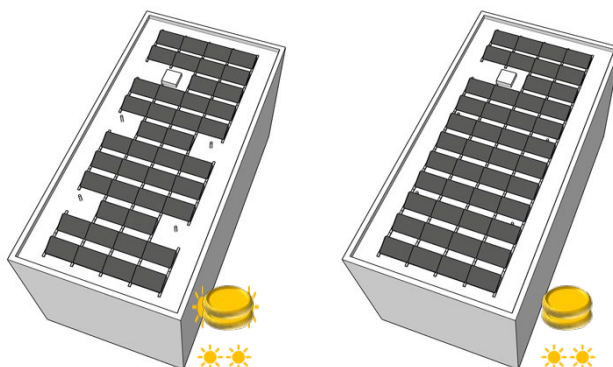


Figur 5 Solceller som monterats med ballast, svagt upplutat mot söder respektive öst/väst.

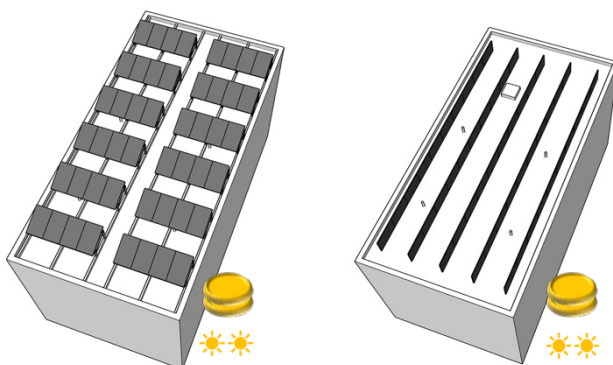
5 Hanterbart med små objekt på platta tak

Små objekt på taket kan ibland reducera solcellsytan avsevärt. I vår analys har vi antagit att 10% av solcellsmodulerna faller bort i grundfallet. Det finns flera tänkbara åtgärder för att öka solcellsytan, där den enklaste troligen är att flytta de rör och huvar som är i vägen genom små ombyggnationer på taket. Vi har också studerat möjligheten att montera solcellerna upphöjda, så att de hamnar högre än de andra objekten, och att använda dubbelsidiga solcellsmoduler som monteras vertikalt.

Samtliga alternativ bedöms vara genomförbara och det är endast små skillnader både i lönsamhet och klimatnytta emellan dem. Alternativen i Figur 17 har fördelen att taket kan läggas om utan att solcellerna behöver flyttas. Det ekonomiska värdet för detta är dock relativt lågt i kalkylen, dels för att arbetsinsatsen att flytta modulerna inte bedöms alltför omfattande, dels för att åtgärden ligger 20 år fram i tiden (vilket ger ett lågt nuvärde på grund av kalkylräntan).



Figur 6 Solceller som monterats upplutat mot söder utan byggåtgärd, respektive med omdragning av rör på tak.



Figur 7 Solceller som monterats med upphöjt montage, respektive vertikalt med dubbelsidiga solcellsmoduler mot öst/väst.

6 Flera alternativ för platta tak med fläktrum eller andra stora objekt

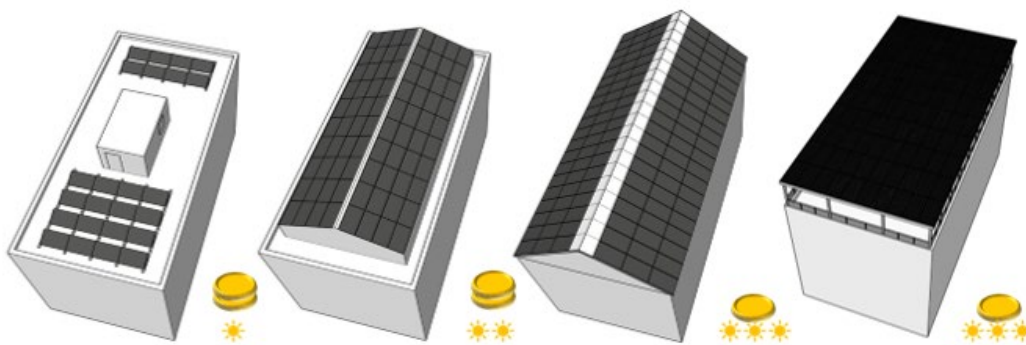
Stora objekt som fläktrum och hisstoppar medför ännu större hinder för solceller än rör och takhuvar, ibland så stora att det inte är lönt att installera några solceller alls. Här ser vi att det ofta finns goda förutsättningar för påbyggnad av ett regntätt solcellstak, som helt eller delvis ersätter den ordinarie takomläggningen och även undanröjer behovet av framtida takomläggning under solcellernas livslängd.

För ett rimligt ekonomiskt utfall krävs dock att konstruktionen görs på enklast möjliga vis och i princip bara består av takstolar med enkel integrering av solcellsmoduler ovanpå. Konstruktionen behöver också utformas så att de tillkommande lasterna kan hanteras av den befintliga byggnaden (t.ex. genom att placera nya takstolar rakt ovanför de gamla).

I samtliga påbyggnadsalternativ har antagits att solcellsmodulerna är monterade regntätt (enkel integrering). Om de i stället monteras utan krav på regntäthet och om de inte behöver vara beträddbara kan lönsamheten öka. Samtliga påbyggnadsalternativ bör också kunna utföras med prefabricerade solcellselement vilket innebär fördelar för bland annat kvalitet och arbetsmiljö [1]. I dagsläget ser vi dock inte att detta skulle förbättra lönsamheten.

Om det är möjligt att samtidigt skapa ny uthyrningsbar yta, eller bygga på helt nya våningsplan, stiger de potentiella intäkterna markant. Då krävs dock normalt även en helt annan och dyrare konstruktion, bland annat för att inkludera värmeisolering och ny takavvattning. Alternativet terrasstak kan dock fungera som ett uterum, utan behov av en dyrare konstruktion.

ksom tidigare är det också viktigt att bevaka så att den maximala byggnadshöjden enligt detaljplanen inte överskrids, eller att vid behov undersöka möjligheten att få ett undantag beviljat. Nyttan får vägas mot ändrad arkitektonisk gestaltning och eventuella förändringar i byggnadens system, så som t.ex. avvattning och ventilation.



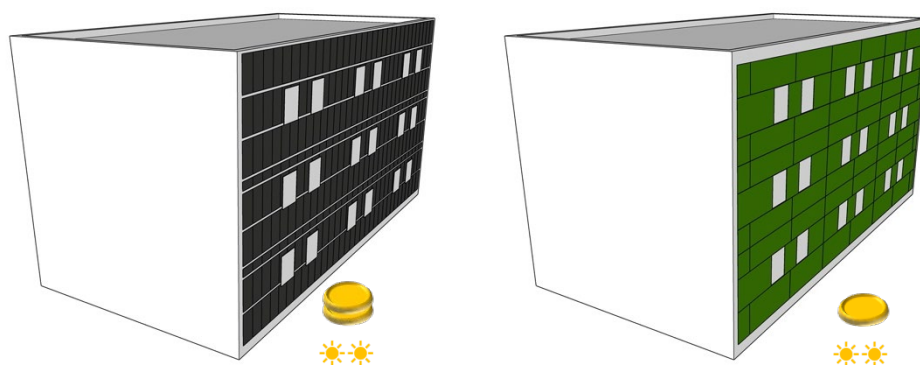
Figur 8 Solceller på befintligt tak med fläktrum, påbyggnad "Miljontak", påbyggt sadeltak och påbyggt terrasstak (samtliga påbyggnader med enkel integrering).

7 Solceller intressant vid omfattande fasadrenovering

Att installera solceller på fasader är generellt något dyrare än på tak och solinstrålningen är oftast också lägre, se Figur 2. I de fall fasaden står inför en omfattande renovering med tilläggsisolering kan dock en enkel integrering med solcellsmoduler vara ett lönsamt alternativ till andra fasadmateriäl. (I kalkylen har vi antagit att alternativet är fasadskivor i fibercement eller liknande.)

För att kunna passa in solceller på uppbrutna fasadytor väljs ofta solcellsmoduler med tunnfilm, som är mindre än de vanliga kiselmodulerna. Som komplement behövs oftast även icke aktiva moduler, som kan bestå av färgade glasskivor eller blanka byggskivor.

Måttanpassade och färgade solcellsmoduler kan vara lönsamt om de ersätter ett dyrare fasadmateriäl eller om det går att värdesätta de arkitektoniska kvalitéterna.

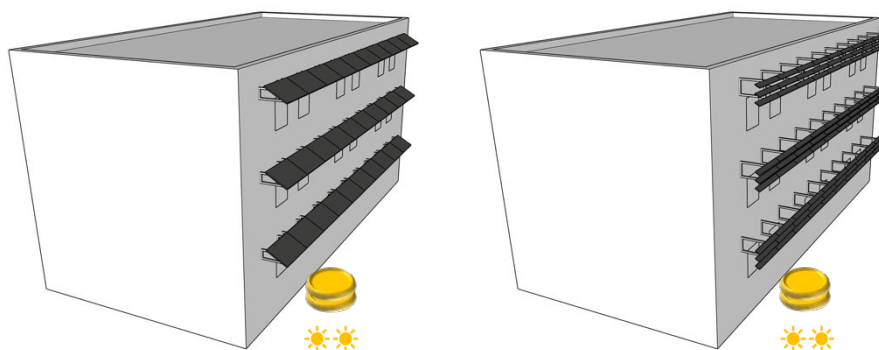


Figur 9 Fasadrenovering med enkel respektive avancerad integrering av solceller.

8 Solceller kan ersätta fast solavskärmning

I samband med fasadrenovering kan det också vara aktuellt att ersätta gammal solavskärmning. Det mest kostnadseffektiva är att skapa solavskärmning av vanliga solcellsmoduler (glas/glas av säkerhetsskäl), medan mer avancerad avskärmning med måttanpassade smala lameller kan upplevas mer tilltalande.

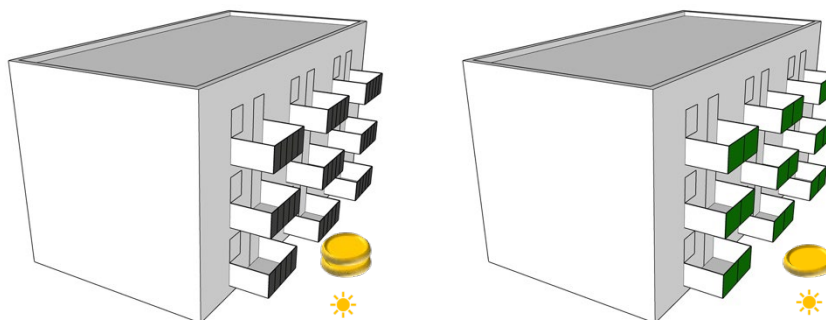
Jämfört med en heltäckande solcellsfasad blir elproduktionen lägre, eftersom solcellerna täcker en mindre yta men räknat per solcellsytta bli elproduktionen något högre [3]. Att göra både och rekommenderas inte eftersom avskärmningens skugg effekter på fasaden oftast har stor påverkan på solceller som placeras där.



Figur 10 Elgenererande solavskärmning i enkelt utförande med solcellsmoduler och i avancerat utförande med måttanpassade solcellsglas.

9 Solceller på balkonger bra i vissa fall

Förutsättningarna för att montera solceller på befintliga balkongräcken eller som nya räcken och fronter varierar stort från fall till fall. Om det är möjligt att montera serietillverkade solcellsmoduler (t.ex. med tunnfilm) kan det vara en lönsam investering. Solceller på balkonger kan också ha ett högt PR-värde.



Figur 11 Solceller på balkongfronter i enkelt utförande med solcellsmoduler (tunnfilm) och i avancerat utförande med måttanpassade solcellsglas.