

# Metoder och lösningar för att matcha solexproduktion och elanvändning

Förstudie

Charlotta Winkler, Martin Skoglund, Jens Penttilä, Peter Bennewitz,  
Sara Olsson

2016\_09

Version 1

Stockholm

Augusti 2017

# Förord

BeBo är ett samarbete mellan Energimyndigheten och några av Sveriges mest framträdande fastighetsägare inom energiområdet och har varit verksam sedan 1989. BeBos aktiviteter ska genom en samlad beställarkompetens leda till att energieffektiva system och produkter tidigare kommer ut på marknaden. Utvecklingsprojekten ska visa på goda exempel med effektiv energianvändning samtidigt som funktion och komfort inte försämras utan snarare förbättras.

Denna förstudie gällande metoder och lösningar för att matcha solelproduktion och elanvändning har utförts av WSP, med medverkan från Charlotta Winkler, Martin Skoglund, Jens Penttilä, Peter Bennewitz och Sara Olsson.

# Sammanfattning

Utifrån dagens svenska lagstiftning och elmarknad är graden av egenanvändning en faktor som i stor utsträckning påverkar en solcellsanläggnings lönsamhet. I syfte att nå en hög egenanvändning av solel inom en fastighet kan ett flertal metoder för att matcha elanvändning och elproduktion tillämpas. Tre sådana metoder har utvärderats i denna förstudie med hänsyn till en solcellsanläggnings lönsamhet:

- Matchning med hjälp av anpassad riktning och lutning av solcellsmoduler.
- Matchning med hjälp av energilagring.
- Matchning med hjälp av styrning av laster.

Fyra flerbostadshus i Willhem ABs bestånd har utgjort underlag till denna förstudie. Förstudiens resultat gällande matchning med hjälp av energilagring baseras till stor del på examensarbete utfört av Svantesson (2017) inom ramen för denna förstudie.

De resultat som presenterats i denna förstudie visar att samtliga tre matchningsmetoder har möjligheter att öka egenanvändningen av solel. Genom att orientera solcellsmodulerna mot öst-väst i 45° lutning istället för mot söder i 20° lutning, vilket är ofta förkommande, kan egenanvändningen ökas med upp till 17 procentenheter. En lönsamhetsbedömning redovisar dock att denna ökade procentuella egenanvändning inte leder till en mer lönsam solcellsanläggning, då den minskade årsproduktionen reducerar lönsamheten mer än vad den ökade egenanvändningen tillför.

Med hjälp av energilagring i batterisystem har egenanvändningen bedömt kunna ökas med 7 procentenheter. Vidare konstateras att användandet av energilagring för reducering av effekttoppar är mest ekonomiskt lönsamt användning av energilagring, snarare än att använda lagret för att flytta energi mellan olika timmar. Dock resulterade inget av de utredda energilaggersystemen till en reducerad återbetalningstid för en solcellsanläggning.

För laststyrning har en stor potential för ökad egenanvändning identifierats. Förstudiens förenklade beräkningar redovisar förvisso en optimistisk bild av laststyrningens potential, med en procentuell ökning av egenanvändningen med 29 procentenheter, men även den realiserbara nyttan förväntas vara stor.

Det finns möjligheter att reducera effekttoppar i elanvändningen genom de tre undersökta matchningsmetoderna. Utvärdering av reduktion av effekttoppar har dock endast genomförts för energilagret, då den där visade sig vara ett viktigt bidrag till

energilagrets lönsamhet. Potentialen för reduktion av effekttoppar är av intresse att utvärdera vidare för de övriga matchningsmetoderna.

# Innehåll

Förord.....	2
Sammanfattning.....	3
Ordlista.....	6
Bakgrund.....	7
Mål och syfte.....	7
Avgränsning.....	8
Genomförande.....	9
Fallstudieobjekten.....	9
Egenanvändning av solceller.....	14
Lönsamhetsbedömning.....	16
Resultat och analys.....	18
Matchning av solcellproduktion och elanvändning: steg-för-steg-metod.....	18
Matchning med hjälp av anpassad riktning och lutning av solcellermoduler ...	19
Matchning med hjälp av energilagring.....	29
Matchning med hjälp av laststyrning.....	36
Slutsatser och rekommendationer.....	40
Rekommenderade fortsättningsprojekt.....	41
Referenslista.....	42

# Ordlista

Toppeffekt	Den effekt som solcellsmoduler märks med utifrån test vid tillverkning under så kallade STC-förhållanden. Anges i enheten Wt, alternativt Wp (eng. "peak").
Installerad effekt	Summan av solcellsmodulernas toppeffekt i en solcellsanläggning. Anges i enheten Wt, alternativt Wp (eng. "peak").
Egenanvändning	Den el producerad i en solcellsanläggning under en given tidsperiod används av anläggningens ägare bakom elnätbolagets debiteringsmätare utan att levereras ut på elnätet.
Överskottsproduktion	Då elproduktionen överstiger den momentana elanvändningen i fastigheten råder överskottsproduktion. Överskottet levereras ut på elnätet.
Återbetalningstid	Den tidpunkt då en investerings ackumulerade kassaflöde blir positivt.
Kalkylränta	Den räntesats som i investeringskalkyler används för att uttrycka investerarens avkastningskrav.
Internränta	Den kalkylränta som resulterar i nettonuvärdet noll. För positivt investeringsbeslut bör internräntan överstiga investerarens avkastningskrav.
Laststyrning	När elanvändning förflyttas i tid i syfte att öka matchningen mellan elproduktion och elanvändning.

# Bakgrund

En viktig del i strävan att uppnå en solcellsanläggning med god lönsamhet är att maximera den egna användningen av den producerade solelen. Egenanvändningen är således vara en parameter som ska beaktas och maximeras vid dimensioneringen av en solcellsanläggning. Denna förstudie har som syfte att studera metoder applicerbara för flerbostadshus gällande matchning av solelproduktion och elanvändning i syfte att möjliggöra en hög grad av egenanvändning.

Förstudien knyter an till det tidigare utförda BeBo-projektet ”Hållbara energisystemlösningar inom solenergiområdet – Beslutsguide, installations- och driftserfarenheter samt upphandlingsrutiner” (Wikensten och Wahlström 2016) inom vilket potentialen och behovet av matchningsmetoder för ökning av egenanvändning har belysts på en övergripande nivå.

## Mål och syfte

Syftet med denna förstudie är att inventera och studera koncept som syftar till att öka egenanvändningen av solel. Dessa koncept kommer att analyseras efter de behov och förutsättningar som finns för flerbostadshus.

De tre matchningsmetoder som utreds är:

- Matchning med hjälp av anpassad riktning och orientering av solcellsmoduler.
- Matchning med hjälp av laststyrning.
- Matchning med hjälp av energilagring.

Målet med förstudien är att underlätta för fastighetsägare i beslutsprocessen att välja metod för att maximera egenanvändningen av solel i flerbostadshus. Förstudien beskriver och utvärderar dessa matchningsmetoder och lösningar som i dagsläget finns för flerbostadshus samt behovet av vidareutveckling av nya affärsmodeller och tekniska systemlösningar.

## Avgränsning

Förstudien begränsas till att undersöka metoder som är applicerbara på solcellsanläggningar monterade på tak för flerbostadshus. Således utesluts koncept som främst är anpassade för markbaserade solcellsanläggningar, t ex ett solföljande montagesätt. Vidare kommer inte montagesätt där solcellsmoduler integreras i takkonstruktionen att särskiljas från montagesättet att montera modulerna direkt på takets tätskikt.

Förstudien berör endast solcellsanläggningar som ansluts innanför nätägarens debiteringsmätare. Matchning mellan elanvändning och elproduktion avser således matchningen mellan den producerade elen samt den använda elen bakom debiteringsmätaren. Alltså, solelproduktionen matchas mot den aktuella byggnadens elanvändning.

Gällande matchningsmetodernas lönsamhetsbedömning har utvärderingen för energilagring tagit hänsyn till besparingar av både elhandelskostnader och fasta nätavgifter, medan de övriga metoderna endast utvärderats utifrån besparade elhandelskostnader.



# Genomförande

Genomförandet av denna förstudie baseras på fyra fallstudieobjekt på vilka matchningsmetoder har tillämpats. Underlaget till förstudien utgörs av mätdata från dessa fallstudieobjekt samt en litteraturstudie om de tre matchningsmetoderna. Vidare utgör examensarbetet ”Energilagring för ökad egenanvändning av solex i flerbostadshus” (Svantesson 2017) en stor del av denna förstudies genomförande. Föreliggande förstudie presenterar främst examensarbetets resultat gällande ökad egenanvändning med hjälp av batterilager.

För att kvantifiera möjligheterna för ökad egenanvändning med hjälp av de undersökta metoderna har mätdata för elanvändning från fallstudieobjekten samt både teoretiska och uppmätta värden för solexproduktion använts som underlag. Jämförelser mellan användning och produktion har därefter gjorts på timbasis.

## Fallstudieobjekten

Elanvändningsdata som använts i denna förstudie avser fyra olika flerbostadshus i Willhem ABs bestånd. Fastigheterna har valts ut i samråd med Willhem. Urvalet gjordes utifrån att fastigheterna ur ett elanvändningsperspektiv ska motsvara olika typfall av flerbostadshus, i syfte att göra resultatet från förstudien brett och användbart för BeBos medlemmar. Vidare baserades urvalet av fastigheter på följande kriterier:

- Elabonnemang ska ha timvis mätning.
- Både fastigheter med gemensamhetsabonnemang samt med separata lägenhetsabonnemang ska finnas representerade i urvalet.
- Fastigheter med olika typer av ventilationssystem ska finnas representerade i urvalet.

Följande fastigheter i Willhems bestånd har valts ut:

- **Isstadion 21, Linköping.** FTX-ventilerat hus från 2013. Innefattar 104 bostäder och en lokal. Fastighetsägares elabonnemang gäller både fastighetsel- och hushållsel. Hyresgäster debiteras baserat på timvärdesmätningar.
- **Fjolner 23, Borås.** FTX-ventilerat hus från 1990. Innefattar 76 bostäder och tre lokaler. Fastighetsägare betalar endast fastighetsel, hyresgäster har egna elabonnemang.
- **Metallen 1, Västerås.** Från- och tilluftsventilerade hus från 1957. Sex trevåningshus med sammanlagt 86 bostäder. Fastighetsägare betalar endast fastighetsel, hyresgäster har egna elabonnemang.
- **Professorn 6, Malmö.** Frånluftsventilerad fastighet från 1962. Innefattar 48 bostäder och två lokaler. Fastigheten har en solcellsanläggning på taket med en installerad effekt på 81,9 kWt. Fastighetsägare betalar endast fastighetsel, hyresgäster har egna elabonnemang.

Det resulterande urvalet av fastigheter redovisas i tabell 1.

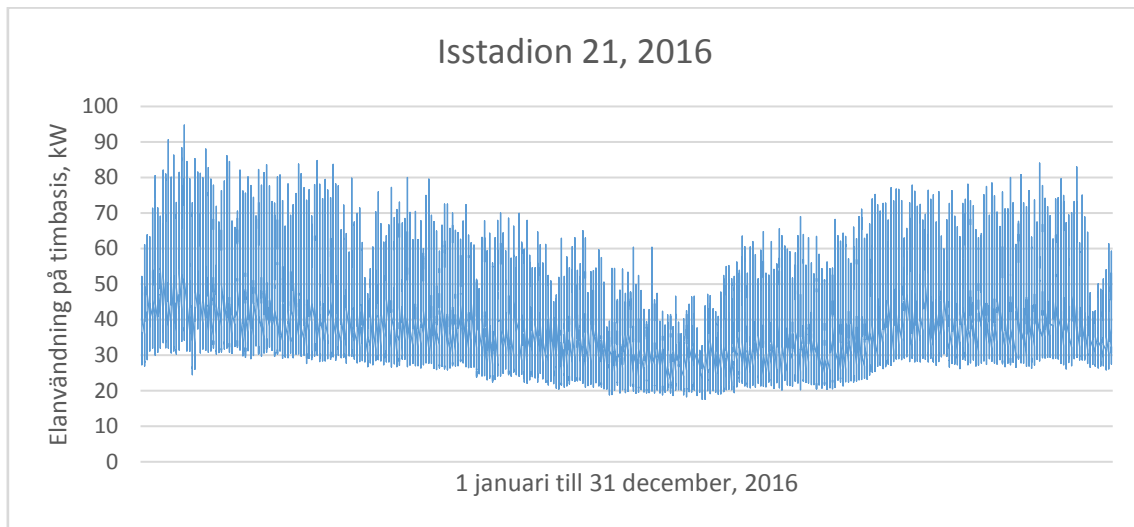
Tabell 1 De fyra fall-fastigheterna

Fastighet	Adress	Boa (m <sup>2</sup> )	Loa (m <sup>2</sup> )	Bostäder (st)	Lokaler (st)	Elbehov (MWh/år)	Hushållsel	Ventilation	Byggår	Sol-celler
Isstadion 21	Spannmålsg., Linköping	6 552	20	104	1	367	Inkl	FTX	2013	Nej
Fjolner 23	Skolg., Borås	5 192	343	76	3	252	Exkl	FTX	1990	Nej
Metallen 1	Skälängsg., Västerås	5 779	0	86	0	103	Exkl	FT	1957	Nej
Professorn 6	Kollegieg., Malmö	2 682	170	48	2	81	Exkl	Självdrag	1962	Ja

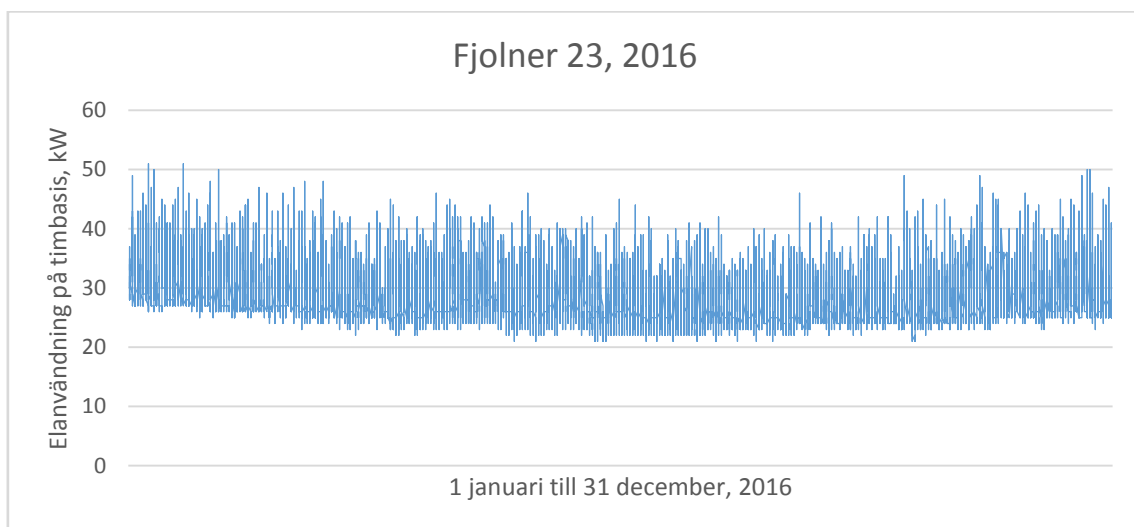
Varje fastighet betraktas i denna förstudie som en enhet som antas ha ett elkonsumtionsabonnemang med ett elbehov enligt tabell 1. Inget beaktande tas således till ifall elanvändningen i fastigheten är uppdelad på flera olika elkonsumtionsabonnemang. Mer information om hur sådana uppdelningar kan se ut i praktiken samt hur de eventuellt kan förändras i syfte att uppnå ett elkonsumtionsabonnemang för fastigheten kan läsas mer om i Dalenbäck och Haegermark (2017).

## Fallstudieobjektens elanvändning

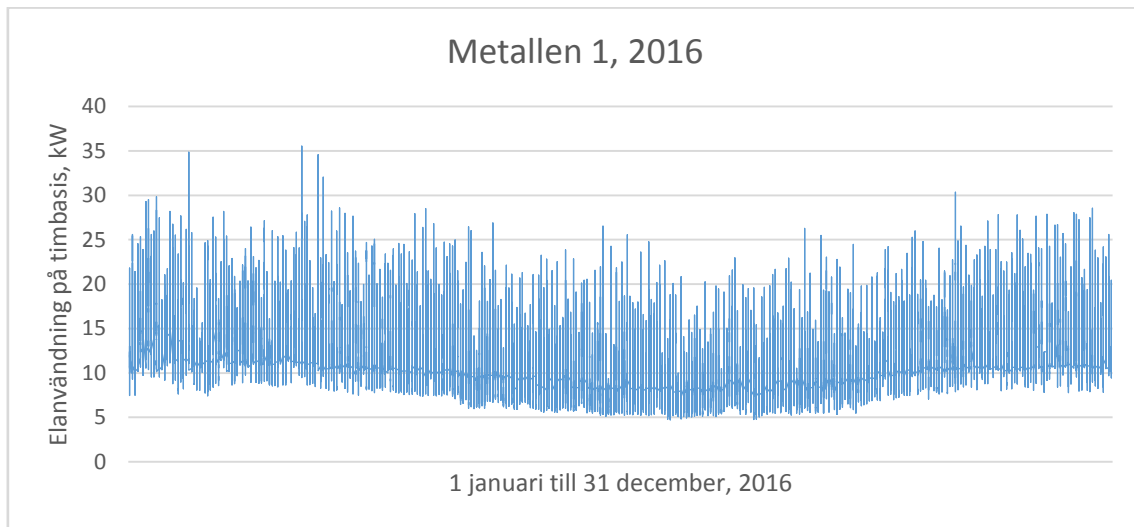
Fastigheternas årliga elanvändning redovisas i figur 1-4.



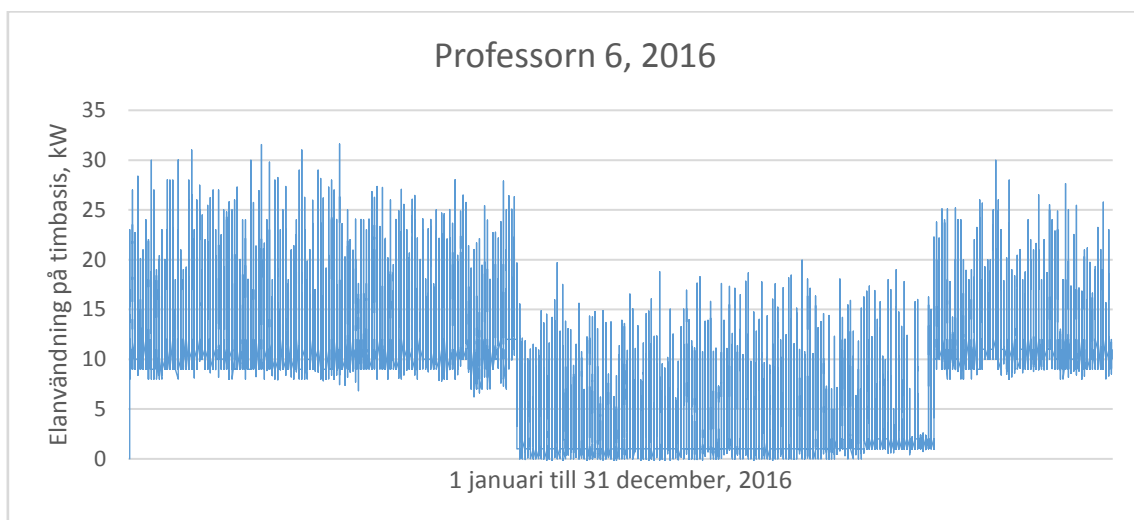
Figur 1. Elanvändning på timbasis för fastighet Isstadion 21, 2016.



Figur 2. Elanvändning på timbasis för fastighet Fjolner 23, 2016.

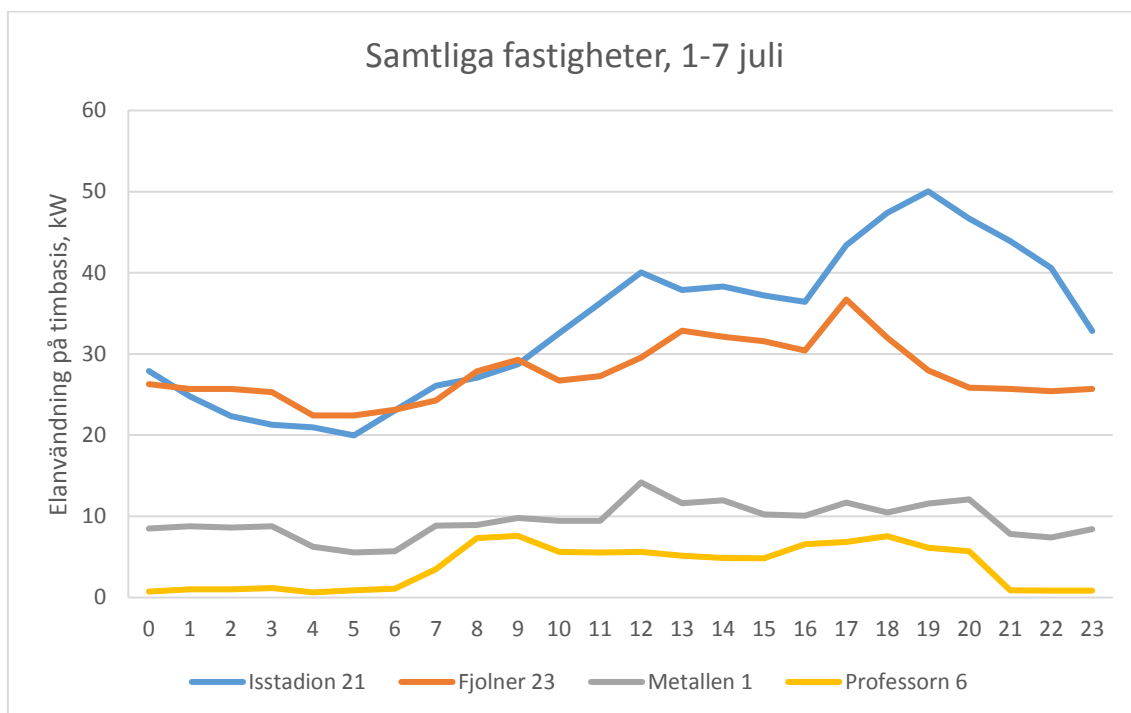


Figur 3. Elanvändning på timbasis för fastighet Metallen 1, 2016.



Figur 4. Elanvändning på timbasis för fastighet Professorn 6, 2016. Det kan noteras att denna fastighets elanvändning skiljer sig från de övriga, vilket beror på att endast denna fastighet har en solcellsanläggning installerad.

I syfte att redovisa variationer i elanvändning under dygnet redovisas i figur 5 elanvändningen för det genomsnittliga dygnet under perioden 1-7 juli för respektive fastighet.



Figur 5. Genomsnittlig elanvändning per timme under perioden 1-7 juli för respektive fastighet. För Isstadion 21, vilken är den enda fastighet där hushållsel försörjs av fastighetsägaren, kan en ökad elanvändning ses på kvällstid.

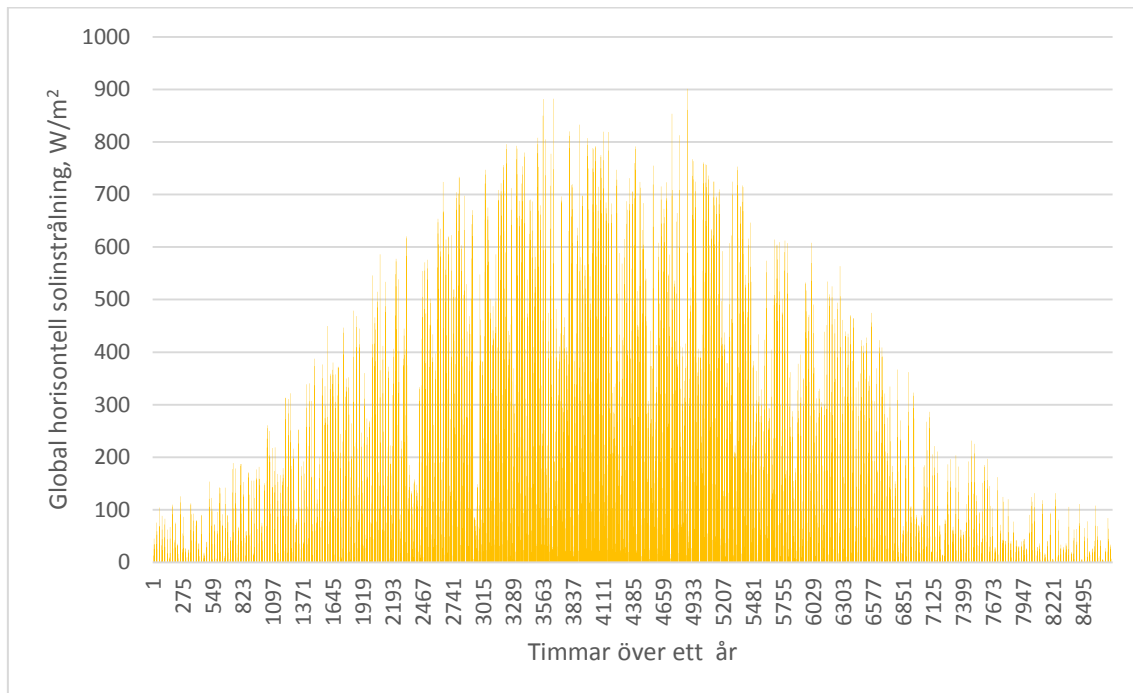
## Fallstudieobjektens solexproduktion

Då endast en av de fyra fastigheterna, Professorn 6, har en befintlig solcellsanläggning har en teoretisk solexproduktion för respektive fastighet tagits fram utifrån en teoretisk solcellsanläggning med simulerad elproduktion. I syfte att öka jämförbarheten sinsemellan de olika fastigheterna har även en teoretisk solcellsanläggning tagits fram för Professorn 6, med samma dimensionerings-principer som tillämpats för övriga fastigheter.

Den årliga elproduktionen från dessa solcellsanläggningar har beräknats med hjälp av programvaran PVsyst. Indata som använts redovisas i tabell 2. Den globala solinstrålningen som använts redovisas i Figur 6.

Tabell 2. Indata till beräkning av produktion från solcellsanläggning.

Parameter	Värde
Klimatfil	Stockholm, Meteonorm 6.1
Global solinstrålning	980 kWh/år
Skuggning	Endast skuggning mellan solcellsmoduler
Albedo	0,2



Figur 6. Timvärden för global solinstrålning i använd klimatfil från Meteonorm 6.1 för Stockholm.

## Egenanvändning av solel

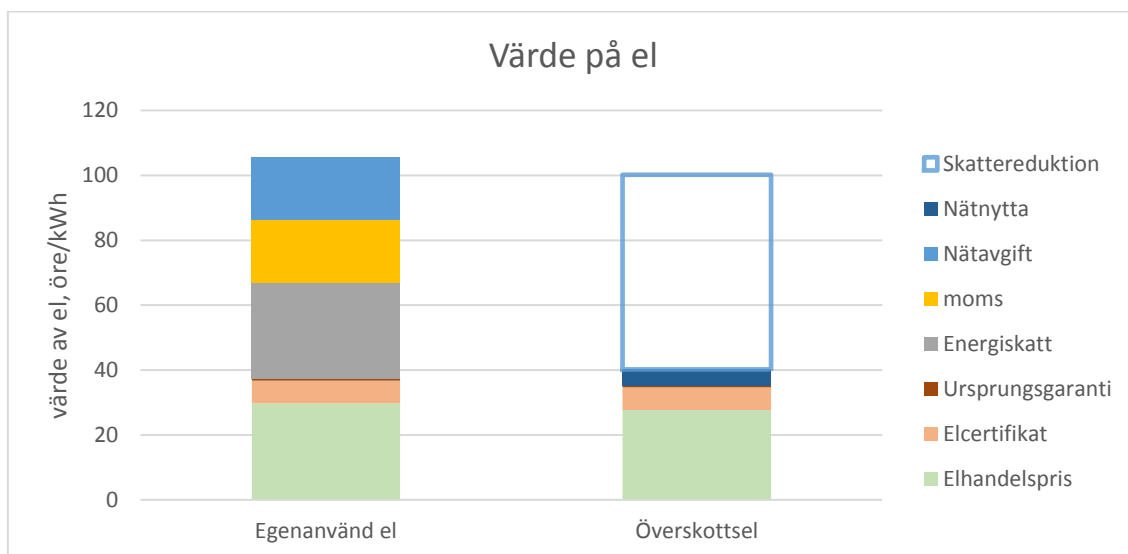
El producerad i en solcellsanläggning som är ansluten innanför ett konsumtionsabonnemang, tillika innanför nätbolagets debiteringsmätare, kommer att användas inom detta abonnemang under förutsättningen att ett behov av elen finns i det ögonblick den produceras. Denna el benämns härnäst som egenanvänd el. Om det inte finns ett momentant elbehov vid tillfället för produktion kommer el att matas ut till elnätet och utgöra så kallad överskottsel.

Ur en fastighetsägares perspektiv är det önskvärt att elen kommer till användning inom abonnemanget av främst två skäl, solcellsanläggningens ekonomiska nytta samt dess bidrag till en reducerad energianvändning i fastigheten. Gällande den ekonomiska nyttan är grundprincipen att egenanvänd el har ett större värde än den överskottsel som matas ut på nätet. Anledningen till detta är att den egenanvända elen från solcellsanläggningen leder till att rörliga kostnader för den annars köpta elen från nätet kan undvikas i sin helhet, vilket utöver ett elhandelspris även inkluderar energiskatt, nätavgift och moms. Om el istället behöver matas ut som överskottsel kan den i regel endast säljas för ett värde motsvarande elhandelspriset eller för elens spot-pris. För både egenanvänd el och överskottsel kan elcertifikat erhållas och säljas, vilket tillför ett värde till elproduktionen.

En redovisning av skillnaden i värde mellan egenanvänd el och överskottsel redovisas i tabell 3 och i figur 7. Det framgår ur figuren att värdet på överskottsel starkt påverkas av den skattereduktion för mikroproduktion som erhålls för förnybar el på 60 öre/kWh. Skattereduktion kan dock bara erhållas i omfattningen om maximalt 30 000 kWh/år per juridisk person eller anslutningspunkt, dock högst så mycket el som konsumerats i samma punkt under året, vilket gör att reduktionen inte är så intressant för större fastighetsbolag. Denna ersättning är begränsad till anslutningar med en säkring på maximalt 100 Ampere. Om skattereduktionen bortses ifrån (vilket den görs i resten av denna förstudie) blir värdet av överskottsel markant mindre än värdet av egenanvänd el. Skillnaden blir i detta fall ca 65,5 öre/kWh. Det är denna skillnad som blir vinsten om matchning mellan användning och produktion ökar.

Tabell 3. Värdet på egenanvänd el och överskottsel.

	Egenanvänd el (öre/kWh)	Överskottsel (öre/kWh)	Källa
Elhandelspris (inkl admin- och elcertifikatavgifter för egenanvänd el)	29,7	27,7	Nord Pool snitt 2016, Sverige
Elcertifikat	7,00	7,00	SKM snitt jan-maj 2017
Ursprungsgaranti	0,50	0,50	Mälardalens Högskola, "Investeringskalkyl för solceller"
Energiskatt	29,5	-	Enligt lag (1994:1776) för 2017 t o m 2017-07-01
Nätavgift	19,36	-	Tekniska Verken, Linköping 2017. Skiljer mellan nätbolag.
moms	19,64	-	25 % påslag på elhandel, nätavgift och energiskatt.
Nätnytta	-	5,00	Antaget. Skiljer mellan nätbolag.
Skattereduktion	-	60,0	Enligt lag (1999:1229).
<b>Summa inklusive skattereduktion</b>	<b>105,7</b>	<b>100,2</b>	
<b>Summa exklusive skattereduktion</b>	<b>105,7</b>	<b>40,2</b>	



Figur 7. Jämförelse mellan värdet av egenanvänd el och överskottsel. Elhandelspris motsvarar elpris bundet 12 månader hos Göteborg Energi. Nätavgift och nätnytta för mätarsäkring om max 63 A från Göteborg Energi. Elcertifikatpris ungefärligt spotpris enligt Svensk Kraftmäkling. Prisuppgifter från 2017-05-31.

## Lönsamhetsbedömning

Vid bedömning av lönsamhet för de olika matchningsmetoderna har parametrar enligt tabell 4 använts. Indata skiljer sig något mellan matchningsmetoden energilagring och de övriga två matchningsmetoderna, då lönsamhetsbedömning för matchning med hjälp av energilagring hämtats direkt från Svantesson (2017). De parametrar som skiljs åt mellan lönsamhetsbedömningarna är värdet på el använd i fastigheten, vilken i Svantesson (2017) beräknats utan momspåslag. Eftersom moms dock inte kan dras av för el avsedd för bostäder enligt avdragsförbud gällande stadigvarande bostad så bör momsen utgöra en del av värdet på el som används i fastigheten och på så sätt reduceras behov av inköpt el. Överlag kan det konstateras att skillnaderna i indata till lönsamhetsbedömningarna gör att jämförelser mellan matchningen med energilagring och de övriga matchningsmetoderna blir något missvisande, då energilagringens lönsamhet underskattas något till en följd av att värdet av att matcha elbehov och produktion är lägre. Däremot förblir övriga jämförelser mellan de olika metoderna samt inom respektive metod, exempelvis mellan olika orienteringar, högst relevanta.



Tabell 4. Indataparametrar till lönsamhetsbedömning.

Parameter	Energilagring	Övriga metoder
Årlig minskad elproduktion		0,3 %
Värde egenanvänd el	0,756 kr/kWh	1,057 kr/kWh
Värde överskottsel	0,482 kr/kWh	0,402 kr/kWh
Årlig ökning elpris		2 %
Årlig ökning rörlig nätavgift		2 %
Investeringskostnad, exkl. investeringsstöd	11,1 kr/kW <sub>t</sub>	11,0 kr/kW <sub>t</sub>
Tillämpning av 30 % investeringsstöd	Beräknat inkl. och exkl. stöd	Beräknat inkl. stöd
Reinvestering växelriktare efter 15 år		10 % av investeringskostnad
Drift och underhåll		1,5 %/år av investeringskostnad
Annullering av elcertifikat		Enligt kvotplikt fr o m 2017
Kalkylränta		3 %
Livslängd		30 år
Restvärde		0 kr

# Resultat och analys

## Matchning av solelproduktion och elanvändning: steg-för-steg-metod

För att matcha solelproduktion och elanvändning behöver både energimängden och tidsperioden för produktionen och elanvändningen överensstämja. Denna förstudie genomförs med utgångspunkten att elanvändningsprofilen är given och inte kan påverkas, förutom i det fall då matchningsmetoden laststyrning tillämpas. I övriga fall är frågan således hur produktionen kan anpassas i tid och kvantitet för att matcha den givna profilen för fastighetens elanvändning. För att uppnå detta kan en rad åtgärder tillämpas. En föreslagen ordningsföljd för dessa åtgärder presenteras nedan:

- **Identifiera syftet med solcellsanläggningens elproduktion.**  
Det bakomliggande syftet för en solcellsanläggning kan skilja sig åt. Att identifiera syftet bör vara det första steget i processen att matcha produktion och användning. Om det enda syftet är att solcellsanläggningens lönsamhet ska bli så hög som möjligt, kommer slutsatsen i de allra flesta fallen vara att installera en solcellsanläggning som tillfullo genererar el som direkt kan användas i fastigheten för att undvika inköp av el från elnätet. Detta resulterar i relativt små solcellsanläggningar i förhållande till fastigheternas årliga elanvändning. Med andra ord leder sådan dimensionering till en låg självförsörjningsgrad på årsbasis. Om syftet, utöver att generera en hög lönsamhet, även är ett en viss mängd producerad el ska uppnås kan motiv finnas till att uppföra en större anläggning i förhållande till användningen. I detta fall är det möjligt att en viss överskottsproduktion måste accepteras. På samma sätt kan krav på antingen egenanvändningsgrad eller absolut mängd egenanvänd el styra solcellsanläggningens storlek redan i dimensioneringsstadiet. Ett exempel på när den absoluta mängden egenanvänd el är viktig att beakta är då solelen avser att reducera mängden köpt energi för att uppnå energikrav enligt t ex BBR, Miljöbyggnad eller LEED.
- **Analysera elbehovet och fastställ fastighetens elanvändningsprofil.** För att fatta beslut om solcellsanläggningens storlek är det nödvändigt att utreda byggnadens elbehov. Analysen bör med fördel baseras på timvisa mätvärden där variationer framgår över säsong, månad, vecka och dag. En potentiell åtgärd kan i detta skede vara att undersöka ifall den rådande elanvändningsprofilen kan förändras i syfte att proaktivt förbättra matchningen mot den planerade solcellsinstallationen. Ett förslag på en sådan åtgärd är att övergå från separata lägenhetsabonnemang till ett gemensamhetsabonnemang.

Gemensamhetsabonnemang ger möjligheten för fastighetsägaren att avsätta mer egenproducerad solel inom fastigheten, vilket ökar möjligheterna till att täcka en större del av elanvändningen med solel på ett lönsamt sätt. Enligt en jämförelse redovisad av STUNS (2017) kunde de årliga elnätskostnaderna reduceras från 335 000 kr till ca 121 000 kr, motsvarande en reduktion på 64 %, för en bostadsrättsförening med 116 bostäder. Studien redovisar även nackdelar med gemensamhetsabonnemang, så som minskat inflytande på val av elhandelsavtal för de boende samt eventuell inskränkning på de boendes rättigheter gällande skadestånd vid elavbrott och kontroll av elmätare vid misstanke om funktionsfel. Studien påpekar dock att dessa aspekter kan regleras i hyresvillkoren, i bostadsrättsföreningens stadgar eller liknande.

- **Välj orientering av solcellsmoduler.**  
När elproduktionens syfte samt elanvändningsprofilens utseende är fastslagna kan solcellsmodulernas orientering bestämmas. Om syftet kräver både en hög egenanvändning och en hög absolut produktion av solel är en orientering som ger en god matchning mot elbehovets variation av stor vikt. Om syftet är strikt kopplat till en hög lönsamhet utan krav på en stor produktion i absoluta tal är en mindre södervänd anläggning lämplig.
- **Välj antal solcellsmoduler (installerad effekt).**  
Efter val av orientering av solcellsmoduler bestäms hur stor installerad effekt anläggningen ska ha. Återigen kan det skilja sig åt från fall till fall beroende på vad som eftersträvas, t ex hög egenanvändning, hög absolut produktion eller hög självförsörjandegrad.
- **Välj ytterligare åtgärd för att i tid matcha produktion och användning.**  
När solcellsanläggningen är dimensionerad kan ytterligare åtgärder vidtas för att ytterligare öka matchning av produktion och elanvändning. Exempel på sådana åtgärder är att implementera laststyrning eller energilagring.

## Matchning med hjälp av anpassad riktning och lutning av solcellsmoduler

Denna matchningsmetod bygger på principen att bestämma den riktning och lutning som solcellsmodulerna monteras för att på bästa sätt matcha produktionen mot en känd elanvändningsprofil under dygnet och året. Metoden har presenterats och betonats som en intressant metod för ökad egenanvändning av bl a Wikensten och Wahlström (2016).

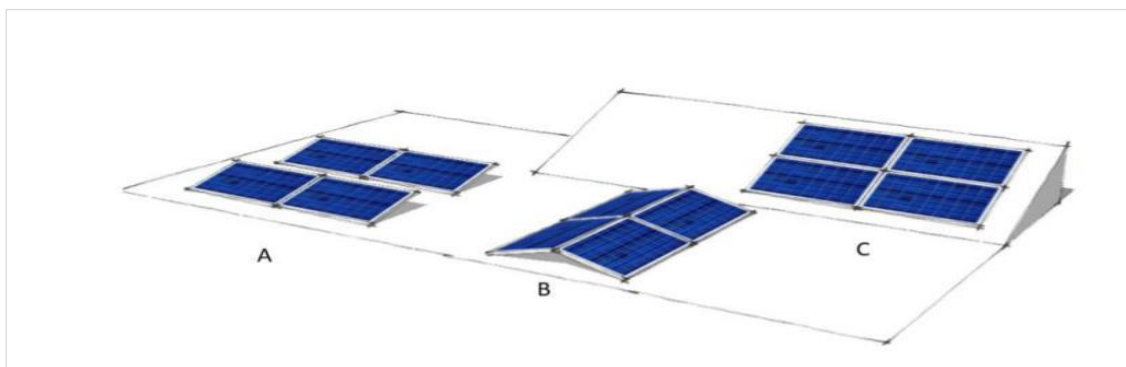
Nedan beskrivs först vilka montagesätt av solcellsmoduler som är lämpliga för olika typer av tak, följt av en beskrivning av hur dessa montagesätt påverkar elproduktionen. Därefter redovisas exempel på hur elanvändningsprofilen ser ut för olika typer av flerbostadshus. Slutligen kombineras ett antal typer av montagesätt med några typer av elanvändningsprofiler för att kvantifiera hur mycket en anpassad orientering av solcellsmodulerna kan bidra till en ökad matchning mellan produktion och användning.

## Montagesätt

Många varianter och typer av montagesystem finns tillgängliga för installation av solcellsmoduler på tak. Solcellsmoduler kan i princip monteras på vilken typ av takkonstruktion som helst så länge takets bärighet och beständighet beaktas. Om det endast beaktas hur montagesättets orientering förhåller sig till den aktuella takytan kan det dock urskiljas tre kategorier av montagesätt som vanligtvis används:

- Montage i takplanet. Kan utföras dikt an takyta eller integrerat i takkonstruktion. Takets lutning avgör modulernas lutning.
- Montage på stativ med lutning åt söder. Typisk lutning ca 5-20°. <sup>1</sup>
- Montage på stativ med lutning åt öst och väst. Typisk lutning 10°. <sup>2</sup>

Dessa tre kategorier kan ses i Figur 8.



Figur 8. Tre kategorier av vanligt förekommande montagesätt. A: lutning åt söder. B: lutning åt öst och väst. C: dikt an tak. Källa: Malmsten (2015).

<sup>1</sup> 5°, 10° och 15° lutning gäller för montagesystemet AEROCOMPACT S. 10° och 15° gäller för AeroFix 10-S respektive 15-S samt AluGrid. 10° och 20° gäller för Knubix SR 100/10 respektive SR 100/20.

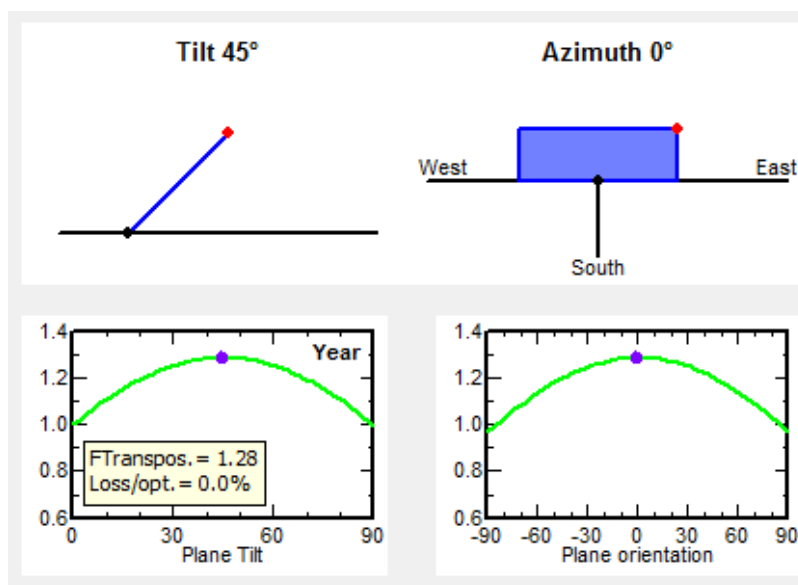
<sup>2</sup> 10° lutning gäller bl a för montagesystemen AEROCOMPACT+, AeroFix 10-EW och D-Dome 10° system.

Skillnaden i kostnad för dessa typer av montagesätt per installerad modul antas vara försumbar i denna förstudie.

Övriga typer av montagesätt, t ex solföljande montage samt montage på stativ med en större lutning i riktning mot söder beaktas inte i denna förstudie då dessa lösningar inte anses vara konkurrenskraftiga sett till kostnadseffektivitet och praktisk lämplighet för flerbostadshus.

## Elproduktion baserat på montagesätt

Solcellsmodulernas orientering avgör hur mycket solinstrålning som når den aktiva solcellsytan. Att välja orientering i syfte att maximera den inkommande solinstrålningen på årsbasis är en god utgångspunkt vid projekteringen av en solcellsanläggning i syfte att maximera elproduktion och lönsamhet. En illustration av hur den årliga solinstrålningen beror av såväl riktning som lutning kan ses i Figur 9.



Figur 9. Illustration av hur årlig global solinstrålning beror av solcellsytans lutning och riktning. Lutning 45° och azimuth 0° (riktning rakt mot söder) ger maximal årlig instrålning enligt klimatfil från Meteornorm 6.1 för Stockholm. Solinstrålningen i denna orientering är en faktor 1,28 gånger större än solinstrålningen i det horisontella planet. Källa: PVsyst.

Dock kan det finnas ett värde i att välja en annan orientering i syfte att matcha tidpunkten för maximal inkommande solinstrålning i solcellsmodulens plan med elanvändningsprofilen för den aktuella fastigheten. Luthander (2013) har visat, med hjälp av simuleringar av ett enfamiljshus i Västerås, att egenanvändningen kunde ökas med öst-väst-orienterade solcellsytor, i jämförelse med en motsvarande

söderorienterad solcellsyta. Dock var fortfarande den söderorienterade anläggningen mer lönsam sett till det värde som anläggningen genererade på årsbasis.

För ytterligare jämförelser mellan olika orienteringar och deras möjligheter att matcha olika elanvändningsprofiler har följande montagesätt studerats.

- **5° S:** 5° lutning med riktning rakt åt söder, motsvarande montagestativ i lutning åt söder med låg vinkel.
- **20° S:** 20° lutning med riktning rakt åt söder, motsvarande montagestativ i lutning åt söder med hög vinkel.
- **45° S:** 45° lutning med riktning rakt åt söder, motsvarande montage i takplan i lutning åt söder med hög vinkel.
- **10° Ö-V:** 10° lutning med riktning rakt åt öst och väst, motsvarande montagestativ i lutning åt öst och väst.
- **45° Ö-V:** 45° lutning med riktning rakt åt öst och väst, motsvarande montage i takplan i lutning åt öst och väst med hög vinkel.

De teoretiska solcellsanläggningarna har i utvärderingen av denna matchningsmetod dimensionerats utifrån följande princip. Först dimensionerades en solcellsanläggning med 20° lutning med riktning rakt åt söder för att täcka 50 % av den årliga elanvändningen för fastigheten. Denna lutning anses således utgöra grundfallet för jämförelsen mellan de olika orienteringarna för respektive fastighet. Den installerade effekt som detta val av dimensionering gav behölls sedan konstant för samtliga studerade orienteringar.

Dimensioneringsmetoden resulterade i anläggningsstorlekar redovisade i tabell 5. Dimensioneringen gjordes utan hänsyn till huruvida solcellsanläggningen faktiskt skulle kunna installeras på den aktuella fastigheten. Valet att basera förstudien på en solelproduktion som inte är kopplad till fastigheternas fysiska utformning utan enbart kopplad till fastigheternas elanvändningsprofil har gjorts med syftet att öka jämförbarheten mellan fallstudieobjekten sinsemellan samt att göra resultatet mer generellt. En översiktlig kontroll av hur anläggningarnas storlek relaterar till fastigheternas tillgängliga takytor har dock utförts, vilken också redovisas i tabell 5.

Nyckeltalet installerad effekt per takyta kan användas för att bedöma rimligheten i anläggningarnas storlek. En solcellsmodul av standardstorlek med 18 % verkningsgrad har en installerad effekt på 180 W/m<sup>2</sup>. Om denna placeras dikt an takytan kan 180 W/m<sup>2</sup> per använd takyta uppnås. Om solcellsmodulen istället placeras med 20° lutning rakt åt söder beräknas den aktiva solcellsytan vara ca 50 % av den använda takytan, vilket möjliggör ca 90 W/m<sup>2</sup> per använd takyta. För det montagesätt som tar mest yta i

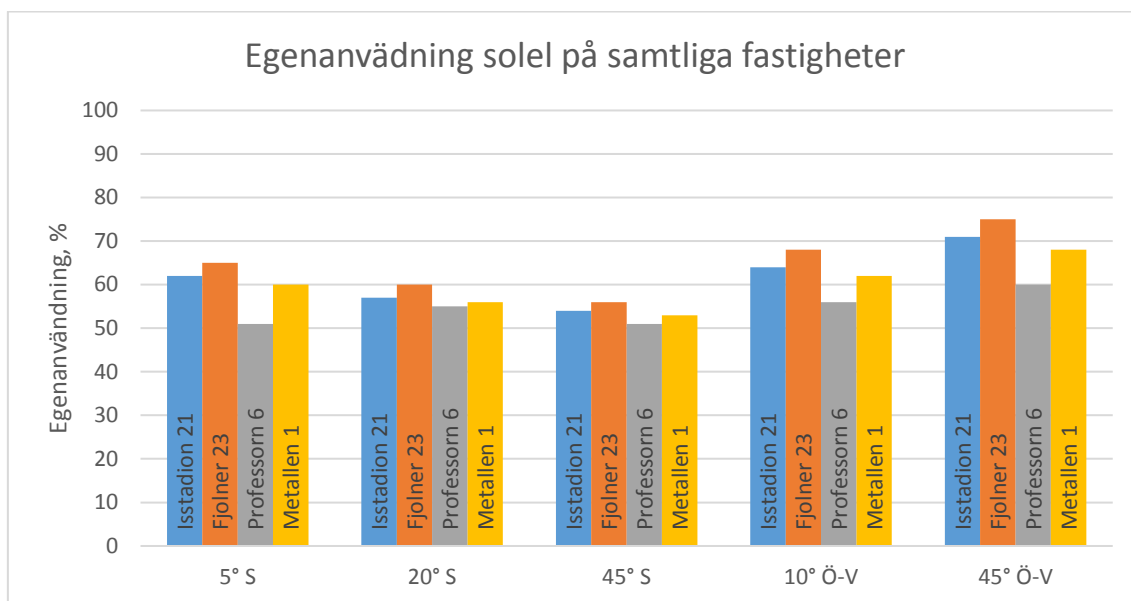
anspråk per installerad effekt, vilket är då moduler placeras med 45° lutning med riktning rakt åt söder, beräknas ytan för solcellsmodulerna bli ca 33 % av den använda takytan, då längre avstånd krävs mellan raderna lutade solcellsmoduler för att undvika intern skuggning. Detta montagesätt möjliggör ca 60 W/m<sup>2</sup> per använd takyta. Utifrån ovanstående resonemang konstateras att Isstadion 21 och Fjolner 23 skulle kunna inrymma de mer yteffektiva montagesätten, medan de mindre yteffektiva montagesätten skulle kräva större takytor än tillgängligt. För Metallen 1 och Professorn 6 bedöms däremot samtliga beskrivna montagesätt kunna inrymmas på befintliga takytor.

Tabell 5. Solcellsanläggningarnas storlek i relation till tillgängliga takytor och elbehov.

Fastighet	Adress	Elbehov (MWh/år)	Installerad effekt (kW <sub>t</sub> )	Takytor (m <sup>2</sup> )	Installerad effekt / takyta (W/m <sup>2</sup> )
Isstadion 21	Spannmålsg., Linköping	367	187,5	1 697	110
Fjolner 23	Skolg., Borås	252	130	931	140
Metallen 1	Skälängsg., Västerås	103	52	3 028	18
Professorn 6	Kollegieg., Malmö	81	41	910	47

## Resultat av matchning med hjälp av anpassad orientering och lutning av solcellsmoduler

I figur 10 nedan illustreras den årliga procentuella egenanvändningen av el från solcellsanläggningarna för de fem olika orienteringarna på de fyra studerade fastigheterna.



Figur 10. Årliga procentuell egenanvändning av el från solcellsanläggningarna för de fem olika orienteringarna på de fyra studerade fastigheterna.

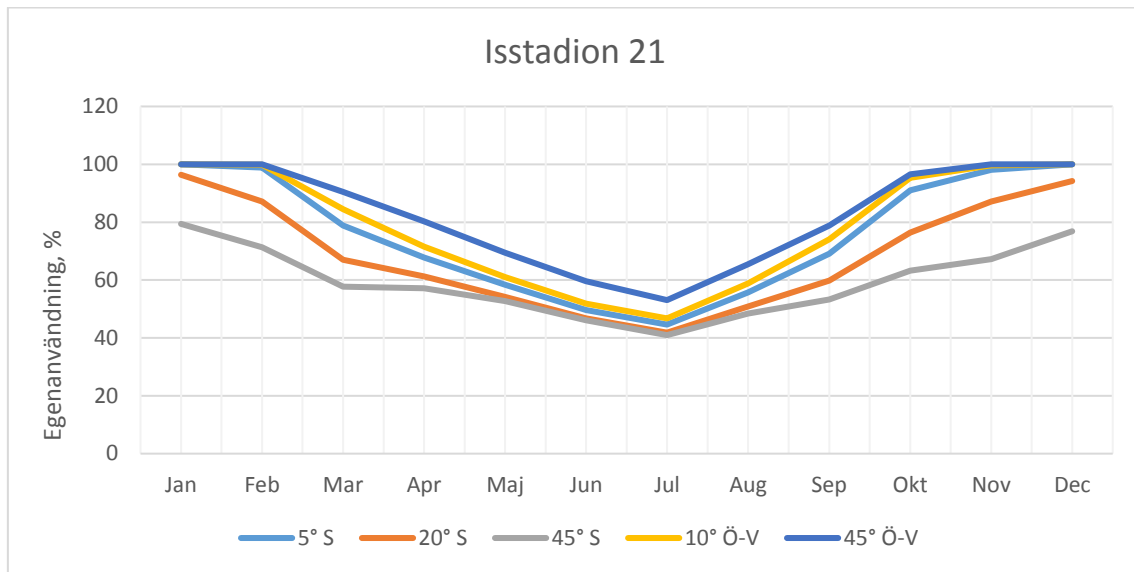
Orienteringen 45° Ö-V ger den högsta procentuella årliga egenanvändningen medan 45° S ger den lägsta procentuella årliga egenanvändningen för samtliga fyra fastigheter. Orsaken till detta är inte att en signifikant högre mängd egenanvänd el i fallet 45° Ö-V jämfört med fallet 45° S uppnås. Den årliga egenanvända soleleenergin i absoluta tal är i stort sett den samma för samtliga fyra fastigheter för dessa två fall. I fallet 45° Ö-V undviks dock till stor del att överproduktion sker mitt på dagen vilket leder till en hög procentuell årlig egenanvändning av solcell.

Orsaken till att resultatet för Professorn 6 inte följer de övriga fastigheterna är att lastprofilen skiljer sig med en låg elanvändningen på sommaren vilket försämrar förutsättningarna för en hög årlig egenanvändning då modulerna har en lägre vinkel.

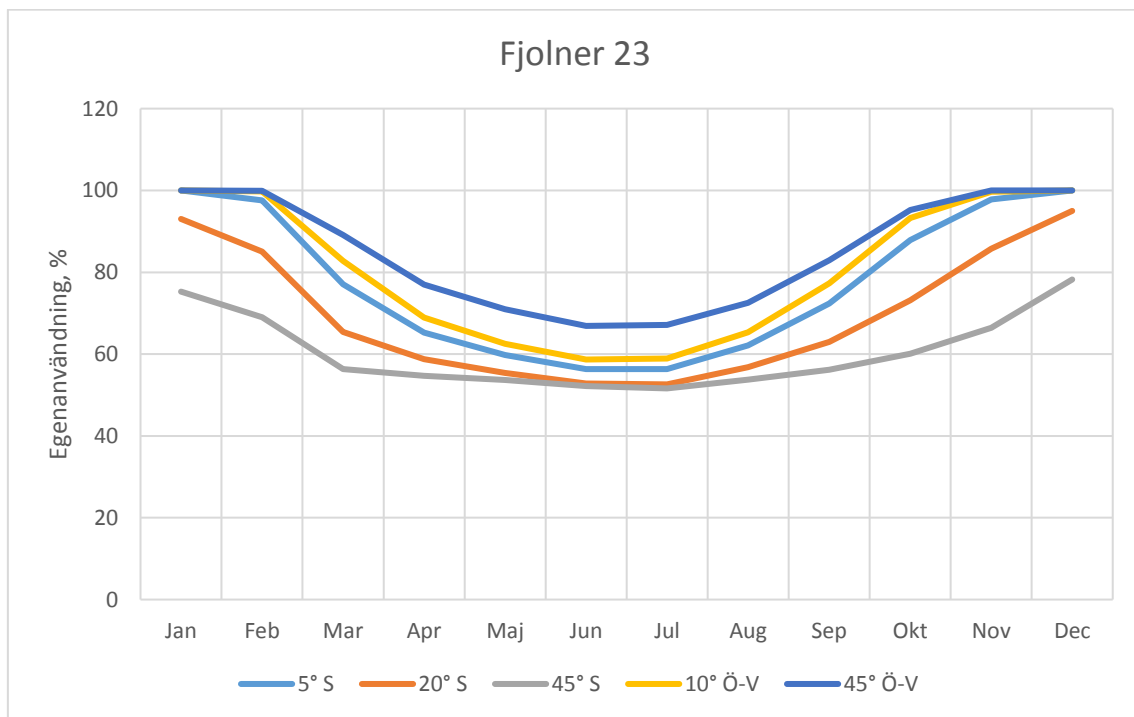
Då Professorn 6 har en befintlig solcellsanläggning kan en jämförelse mellan den verkliga och den, enligt dimensioneringsprincipen ovan, teoretiska anläggningen göras. Den verkliga anläggningen har en installerad effekt på 81,9 kWt jämfört med den teoretiska på 41 kWt. Egenanvändningen beräknas till mellan 50-60 % för de olika orienteringsalternativen för den teoretiska användningen, medan mätvärden redovisar en egenanvändning på 39 % för den verkliga anläggningen.

I figur 11-14 nedan ses den procentuella månatliga egenanvändningen för de studerade fastigheterna.

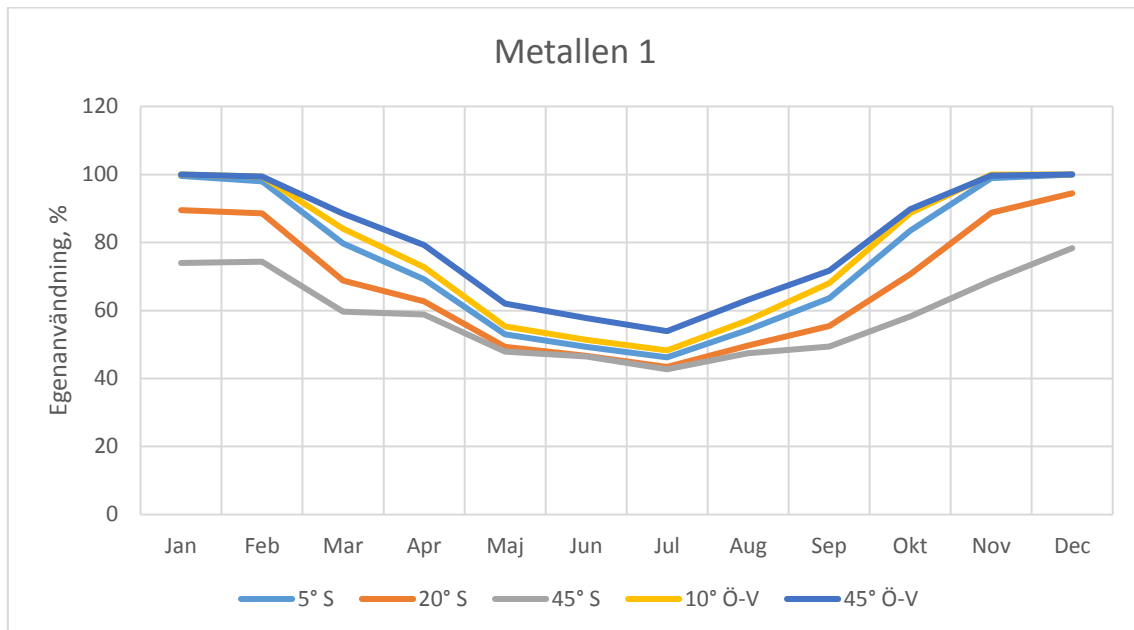




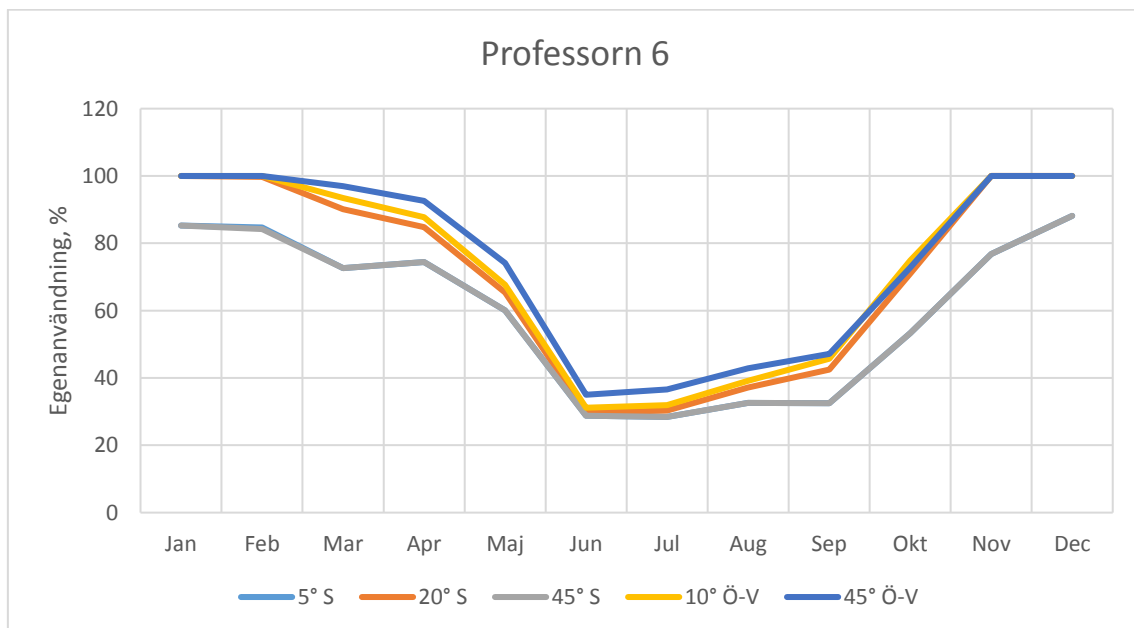
Figur 11. Månatlig procentuell egenanvändning för de fem olika orienteringarna på fastigheten Isstadion 21.



Figur 12. Månatlig procentuell egenanvändning för de fem olika orienteringarna på fastigheten Fjolner 23.



Figur 13. Månatlig procentuell egenanvändning för de fem olika orienteringarna på fastigheten Metallen 1.

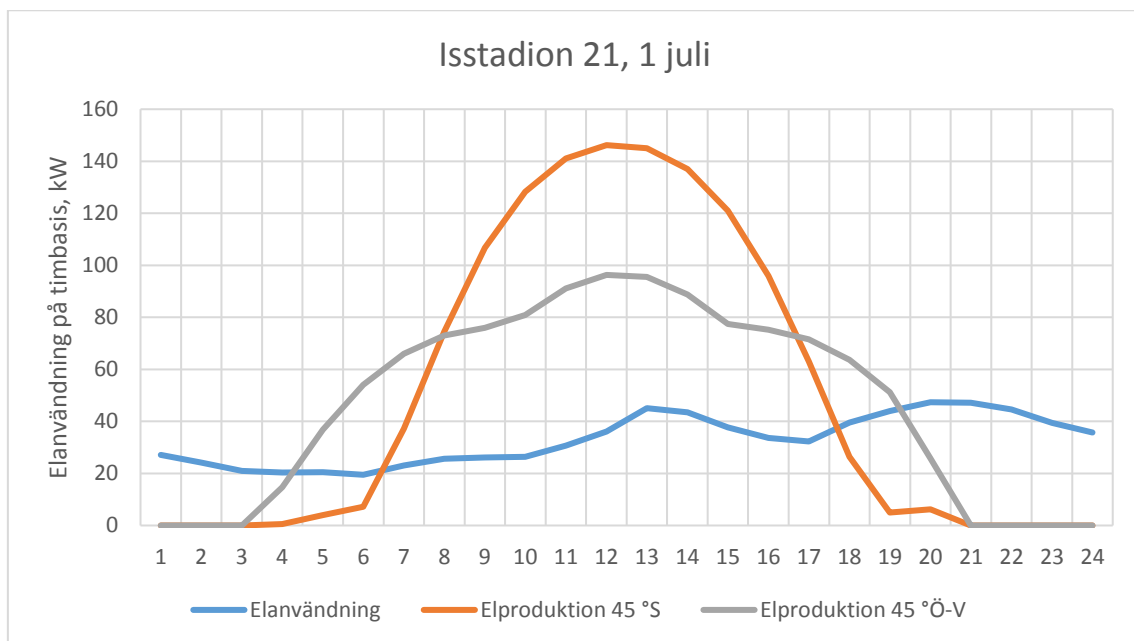


Figur 14. Månatlig procentuell egenanvändning för de fem olika orienteringarna på fastigheten Professorn 6.

För de studerade fastigheterna ses att den procentuella månatliga egenanvändningen är som högst på vinterhalvåret. Detta beror på att solelproduktionen under dessa månader är låg vilket ökar förutsättningarna för att hela eller en stor del av

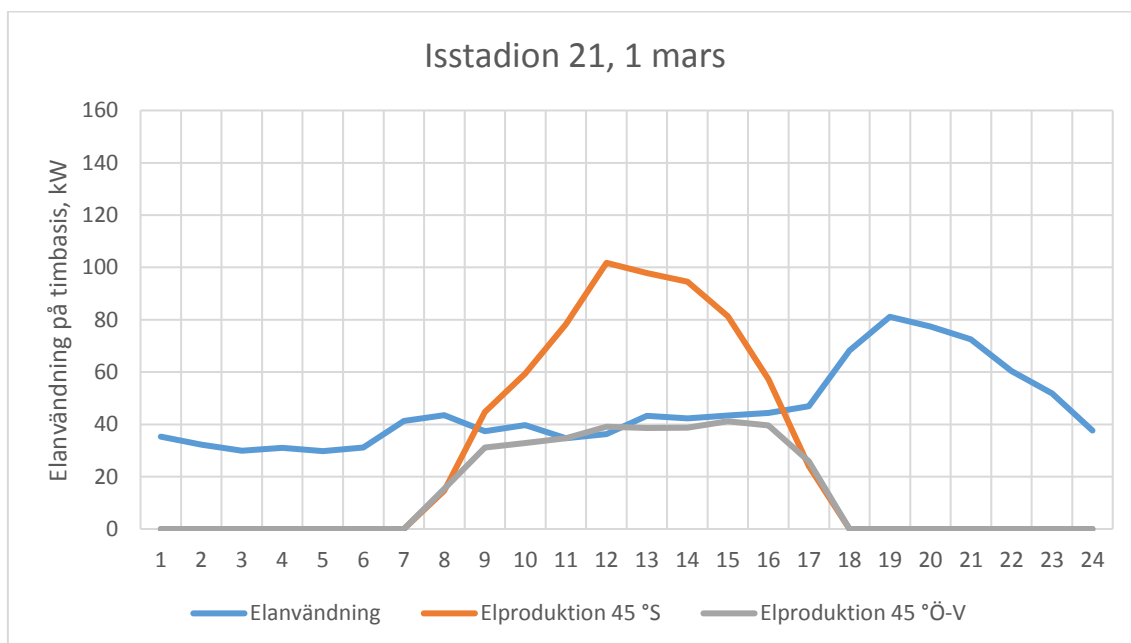
solelproduktionen skall kunna användas i fastigheterna. Det är möjligt att ha 100 % egenanvändning samtliga månader om den producerande solcellsanläggningen är liten i förhållande till fastighetens elbehov. Under sommarhalvåret sjunker den procentuella månatliga egenanvändningen för samtliga fem orienteringar, detta beror på att risken för överproduktion ökar på sommaren då solinstrålningen är som högst.

I figur 15 och 16 nedan ses dygnsprofilen för elanvändning och elproduktion för orienteringen 45° S och 45° Ö-V den 1 juli och den 1 mars.



Figur 15. Dygnsprofil för elanvändning och elproduktion för Isstadion 21 för orienteringen 45°S och 45°Ö-V den 1 juli.

Med orienteringen 45° Ö-V erhålls en högre solelproduktion på morgonen och på kvällen, men en lägre produktion mitt på dagen jämfört med orienteringen 45° S. Detta gör att mängden egenanvänd solel ökar på morgonen och på kvällen med orienteringen 45° Ö-V jämfört med orienteringen 45° S. Denna ökning av egenanvänd el motsvarar cirka 110 kWh den 1 juli för fastigheten Isstadion 21. Mellan klockan 10:00-15:00 erhåller både solcellsmoduler som är riktade rakt åt öst och de som är riktade rakt åt väst solinstrålning vilket förklarar toppen av solelproduktion mitt på dagen.



Figur 16. Dygnsprofil för elanvändning och elproduktion för orienteringen 45°S och 45°Ö-V den 1 mars.

Dygnsprofilen den 1 mars ser som förväntat annorlunda ut jämfört med dygnsprofilen den 1 juli. Här finns ingen tydlig fördel ur ett matchningsperspektiv med att använda orienteringen 45° Ö-V jämfört med orienteringen 45° S. Produktionen för de båda orienteringarna sker vid samma tillfälle, dock i större kvantitet för den södervända orienteringen. Detta beror på solens bana som tidigt på våren börjar i sydöst och slutar i sydväst. banan gör att öst-västligt orienterade solceller inte exponeras för solljus i någon större omfattning.

I jämförelser mellan orienteringar ovan kan det konstateras att öst-västliga montagesystem ger en högre egenanvändning på årsbasis än södervända system för samtliga fastigheter. Dock är den årliga absoluta produktionen större för de södervända solcellerna. Fortfarande kvarstår frågeställningen ifall de öst-västliga systemen möjliggör en mer lönsam solcellsinstallation tack vare den ökade egenanvändningen. För att utvärdera detta har en lönsamhetsbedömning gjorts för samtliga montagesätt för Isstadion 21, vars resultat redovisas i tabell 6. Då orienteringens påverkan på egenanvändning enligt figur 10 är mycket snarlik mellan samtliga fastigheter är denna lönsamhetsbedömning representativ för samtliga fastigheter.

Tabell 6. Lönsamhetsbedömning av solcellsanläggning med 187,5 kWt installerad effekt på Isstadion 21 för samtliga orienteringar. För varje redovisat nyckeltal har det mest gynnsamma och det minst gynnsamma orienteringsalternativet markerats med grön respektive röd färg.

Orientering	Elproduktion (MWh/år)	Egenanvändning (%)	Diskonterad återbetalningstid (år)	Nettonuvärde (kkr)	Internränta (%)
5° S	165	62	18	857	6,7
20° S	185	57	16	1 076	7,6
45° S	197	54	15,5	1 192	8,0
10° Ö-V	157	64	19	761	6,3
45° Ö-V	148	71	19	758	6,3

Lönsamhetsbedömningen visar att trots att orienteringen 45° S ger lägst procentuell egenanvändning så är denna orientering den mest lönsamma. Orienteringen 20° S är nästan lika lönsam samt ger en något högre procentuell egenanvändning. Om syftet är att maximera den procentuella egenanvändningen så är dock 45° Ö-V det bästa alternativet, vilket möjliggör en ökning av den procentuella egenanvändningen med 17 procentenheter jämfört med 45° S.

## Matchning med hjälp av energilagring

Med ett energilager i form av batterier kan den producerade solelen lagras vid tillfällen då överskottsproduktion sker för att därefter användas vid tillfällen då elanvändningen överstiger den momentana elproduktionen.

Utvärderingen av denna matchningsmetod baseras på examensarbetet utfört av Gustaf Svantesson (2017). I examensarbetet utfördes beräkningar för energilagring i både batterier och vätgassystem för två fastigheter, för ovan nämnda Fjolner 23 samt för ÖBOs nybyggnadsprojekt Karmen. Beräkningarna baserades på en teoretisk solelproduktion för respektive fastighet. Då vätgassystemet visade sig vara väsentligt mindre lönsamt än batterisystemet, samt då resultaten mellan de två fallstudieobjekten inte skiljde sig i någon större utsträckning, presenteras endast resultaten för energilagring i batterier för fallstudieobjektet Fjolner 23 i denna förstudie. I examensarbetet antogs att en solcellsanläggning på 80 kWt installerades på fastigheten, vars produktion bedömdes till 66,2 MWh/år. Det kan noteras att detta skiljer sig från den solcellsanläggning som dimensionerats i denna förstudie för utvärdering av anpassad orientering av solcellsmoduler, då den dimensioneringen resulterade i en solcellsanläggning på 130 kWt samt en produktion på 127 MWh/år.

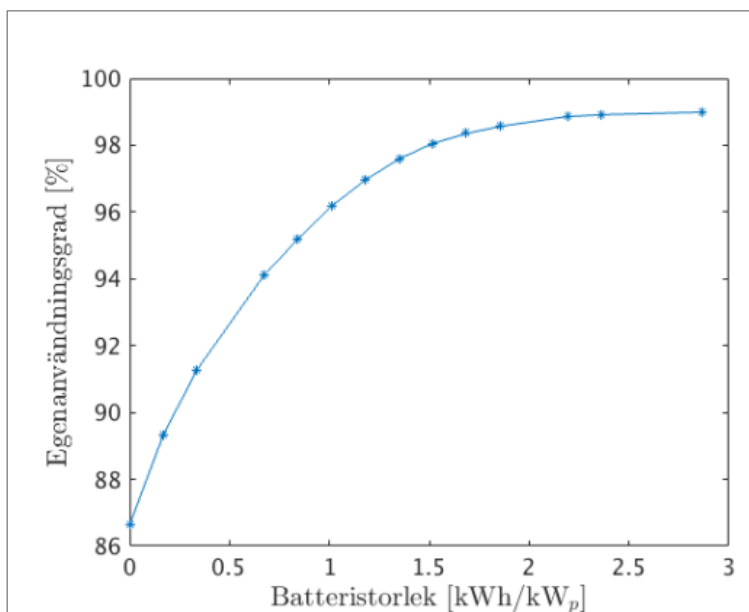
## Dimensionering av energilagrar

Batterilagrets storlek till en given fastighet bör dimensioneras utifrån en analys av hur egenanvändningen av egenproducerad el påverkas av batterilagrets storlek. För en befintlig fastighet undersöks egenanvändningen enklast genom att undersöka omfattningen av överskottsproduktion som skett över en given tidsperiod, förslagsvis över ett helt år. Mängden överskottsproduktion registreras av nätbolagets elmätare. I det fall då dimensionering ska göras för en framtida installation i fastighet bör jämförelser av beräknad förväntad produktion och konsumtion användas för att bedöma överskottsproduktionen. Upplösningen på de mätdata som används i jämförelsen bör vara på timbasis eller kortare tidsperioder.

Gällande dimensioneringen av batterier kan de två ytterligheterna först jämföras, alltså att ingen el lagras samt att all el som produceras utöver det momentana behovet ska kunna lagras. Att all el ska kunna lagras får i denna förstudie motsvara att all överskottsproduktion ska kunna lagras för den dag då högst överskottsproduktion sker. Detta val görs utifrån resonemanget att den överskottsel som lagras under dagtid antas kunna användas under följande kväll och natt och att batteriet är fullt tillgängligt att lagra all överskottsel för nästkommande dag. Att dimensionera batterier utifrån den dag med högst överskottsproduktion medför att batterierna förblir delvis outnyttjade samtliga övriga dagar, vilket i sin tur minskar den ekonomiska nyttan med energilagret. Att därför dimensionera batterierna med utgångspunkten att acceptera överskottsproduktion under vissa dagar och låta energilagret utnyttjas i en större grad kan därför rekommenderas ur lönsamhetssynpunkt.

Vid dimensionering av batterier som syftar till att lagra el från en solcellsanläggning kan nyckeltalet kWhbat/kWt vara användbart att förhålla sig till. Nyckeltalet redovisar batteriets energilagringsskapacitet i kWh i relation till solcellsanläggningens installerade topp effekt. En studie utförd av Luthander et al (2015) redovisar att 0,5-1 kWhbat/kWt är en vanligt förekommande dimensionering av batterierna i tidigare forskning inom området. Vid sådan dimensionering av batterilagrets storlek har egenanvändningen av el från en solcellsanläggning kunnat ökas mellan 13 och 24 procentenheter.

Att en dimensionering utifrån nyckeltalet 0,5-1 kWhbat/kWt förefaller rimligt kan stärkas med ett exempel från Svantesson (2017) vilket presenteras i figur 17. Figuren redovisar hur den relativa egenanvändningen beror av batteristorleken för fastigheten Fjolner 23. Det kan noteras att egenanvändningen utan batterilagrar redan var relativt hög, nära 87 %, samt att batterilagret bidrar till ökad egenanvändning i relativt stor omfattning upp till ca 1 kWhbat/kWt. Därefter avtar batterilagrets inverkan på egenanvändningsgraden.



Figur 17. Relation mellan egenanvändning av solel och batteristorlek för Fjolner 23.

## Princip för styrning av energilager

Gällande styrning av energilagrets laddning och urladdning har tre styrsätt utvärderats. Samtliga styrsätt utgår från en timvis jämförelse mellan användning och produktion för årets alla timmar.

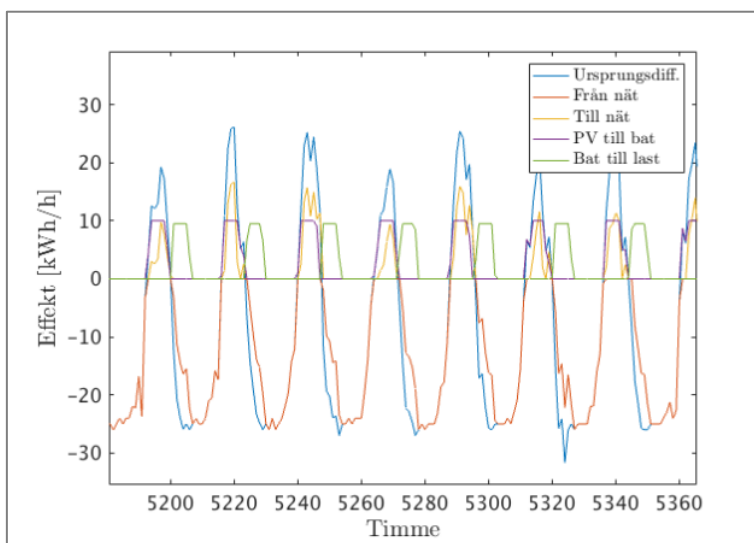
- Enkel styrning: om överskott råder så laddas batteriet med högsta möjliga effekt. Om batteri är fullt går överskott ut på elnätet. Om underskott råder används batteriets lagrade energi med högsta möjliga effektuttag.
- Fördröjd urladdning: samma princip som enligt ”Enkel styrning”, dock skillnad vid urladdning. Om underskott råder påbörjas urladdning av batterilagret när elanvändning är högre än en på förhand beräknad nivå. Den beräknade nivån baseras på en perfekt prognos av solelproduktion och elanvändning. Denna styrning syftar till att möjliggöra sänkning av effekttoppar i elanvändning från elnätet, s k effektkapning, med hjälp av solel lagrad i batterilagret. Vid start av varje dygn, vilket enligt styralgoritm startar kl 06, granskas differens mellan förväntad användning och produktion för att avgöra vilka timmar energilagret bör användas för effektkapning.
- Fördröjd urladdning och nattladdning: samma princip som enligt ”Fördröjd urladdning”, dock med den tillagda funktionen att batteriet tillåts laddas nattetid (då potentiellt låga elpriser råder) i syfte att möjliggöra effektkapning även

vintertid då den rådande solexproduktionen potentiellt inte räcker till att ladda batterilagret.

## Resultat av matchning med hjälp av energilagring

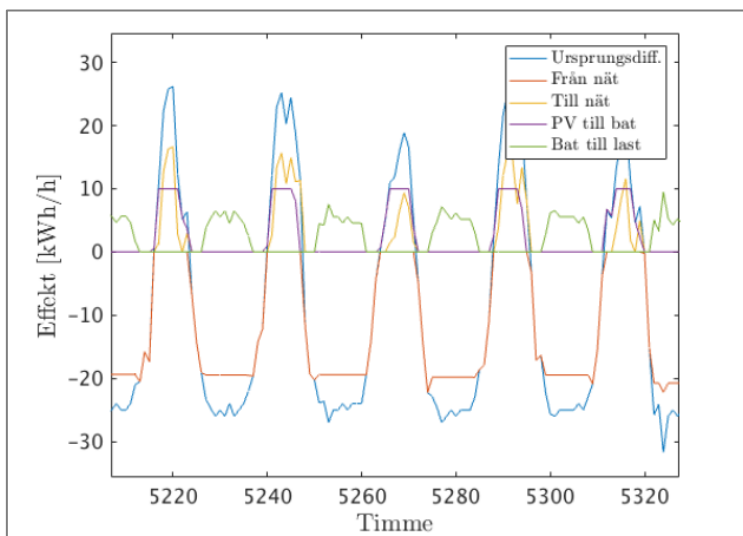
För Fjolner 23 dimensionerades batterilagret till 54 kWh, vilket i förhållande till solcellsanläggningen på 80 kWt innebar ca 0,67 kWh/kW.

I figur 18-20 redovisas hur energiflödena förändras då de tre olika styrprinciperna av energilagret tillämpas under utvalda dagar.

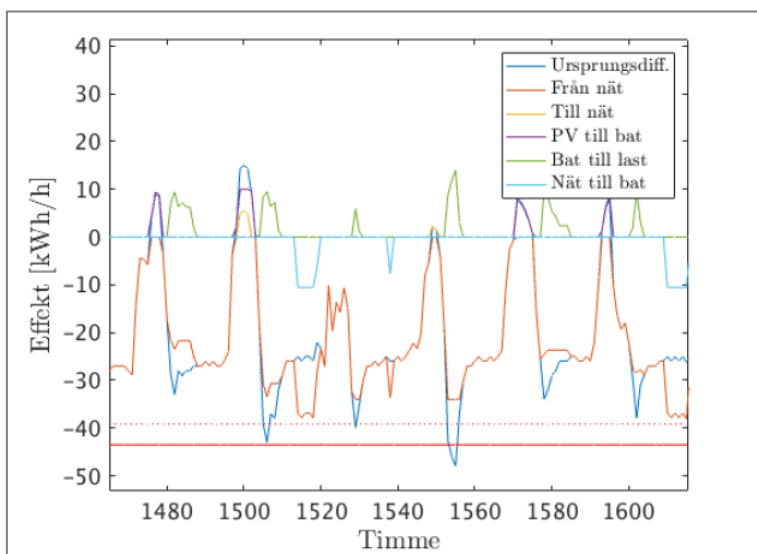


Figur 18. Energiflöden vid enkel styrning, 5-11 augusti för Fjolner 23. Den minskade överskottsproduktionen kan ses som differensen mellan blå och gul linje. Grön linje visar att energi från batterier används så fort det finns ett underskott av solex i förhållande till elanvändningen.





Figur 19. Energiflöden vid styrning med fördröjd urladdning, 6-10 augusti för Fjolner 23. Grön linje visar att energi från batterier inte används så fort det finns ett underskott av sole i förhållande till elanvändningen, utan urladdningen fördröjs i tid fram till dess då elanvändningen är högre än den beräknade nivån. Då används energin i syfte att kapa effekttopp. Kapad effekttopp ses som differens mellan orange och blå linje.



Figur 20. Energiflöden vid styrning med fördröjd urladdning och nattladdning, 4-9 mars för Fjolner 23. Nattladdning av batterilager med el från nätet kan ses i ljusblå linje. Kapad effekttopp ses som differens mellan orange och mörkblå linje.

Gällande lönsamhetsbedömningen av batterilagret har det antagits att värdeskillnaden mellan köpt och såld el beräknas på timbasis utifrån priser på Nord Pool Spot 2016. Den genomsnittliga skillnaden över året beräknades till 27,4 öre/kWh. Denna värdeskillnad antas således kunna utgöra vinsten ifall elen lagras och används i

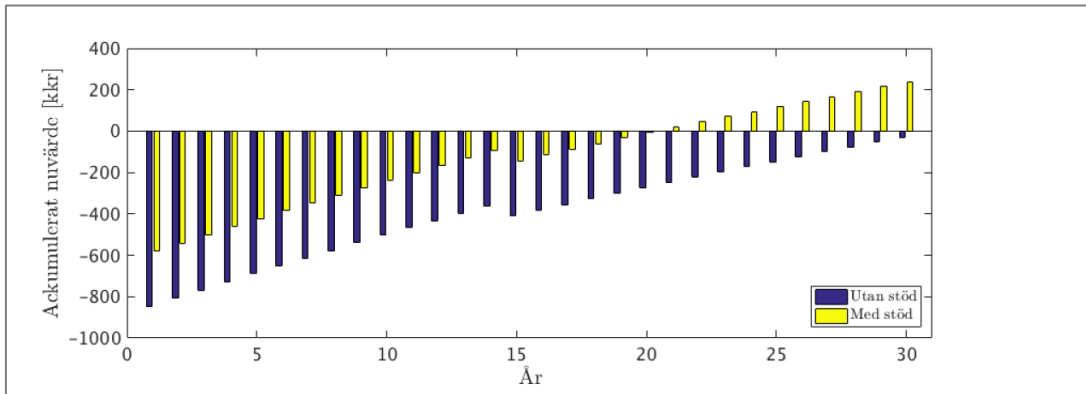
fastigheten istället för att säljas vid ett överskottstillfälle. Vidare inkluderades den fasta nätavgiften i denna bedömning för att ta hänsyn till ifall energilagret kan ge minskade fasta nätavgifter.

En sammanställning över hur mycket batterilagret med respektive styrprincip kan öka egenanvändningen, samt hur lönsamt respektive fall blir, redovisas i tabell 7 samt i figur 21-23. Notera även här att vätgassystemet är inkluderat i syfte att påvisa hur detta skiljer sig från batterilagret i såväl lönsamhet som egenanvändningsgrad och självförsörjningsgrad. Det kan utläsas att solcellsanläggningen utan energilagret (benämnt som system "Referens" i tabell 7) ger egenanvändningsgraden 86,6 % samt beräknas vara återbetalat efter 21 år inkl. stöd. Även ett gynnsamt fall redovisas, där högre elprisökningar antagits, vilket beräknas vara återbetalat efter 18 år.

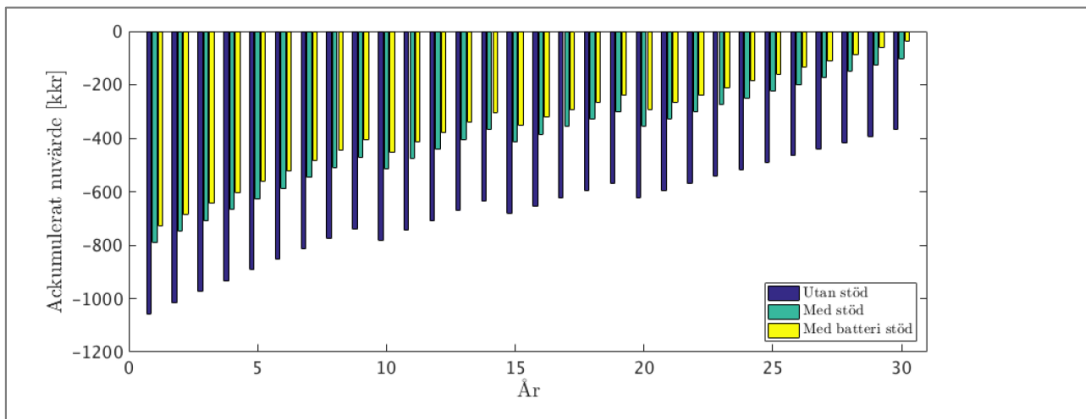
Gällande batterilagret kan det ses i tabell 7 att styrprinciperna "Enkel styrning" (batteri E) samt "Fördröjd urladdning" (batteri F) båda ger 93,4 % egenanvändning, vilket innebär en ökning på nästan 7 procentenheter. Styrprincipen "Fördröjd urladdning och nattladdning" (batteri X) innebär dock en något lägre ökning av egenanvändningen, upp till ca 92,9 %. Sett till lönsamheten ger dock fallet med fördröjd urladdning och nattladdning bäst lönsamhet, då nattladdningen bidrar med sänkta nätavgifter. Ingen av styrprinciperna medför dessvärre att tillägget av ett batterilagret förkortar återbetalningstiden för solcellsanläggningen. Det kan tilläggas att det mest gynnsamma fallet för batterilagret med styrmodellen "Fördröjd urladdning och nattladdning" faktiskt marginellt ökar investeringens nettonuvärde, trots att återbetalningstiden för detta fall ökar från 18 till 19 år. Det kan även noteras att vätgassystemet ger ett sämre resultat än batterilagrets samtliga styrprinciper gällande samtliga parametrar redovisade i tabell 7.

Tabell 7. Resultat av lönsamhetsbedömning för solcellsanläggning (Referens) samt med olika energilagringssystem. Inget energilagringssystem bidrar till en förkortad återbetalningstid.

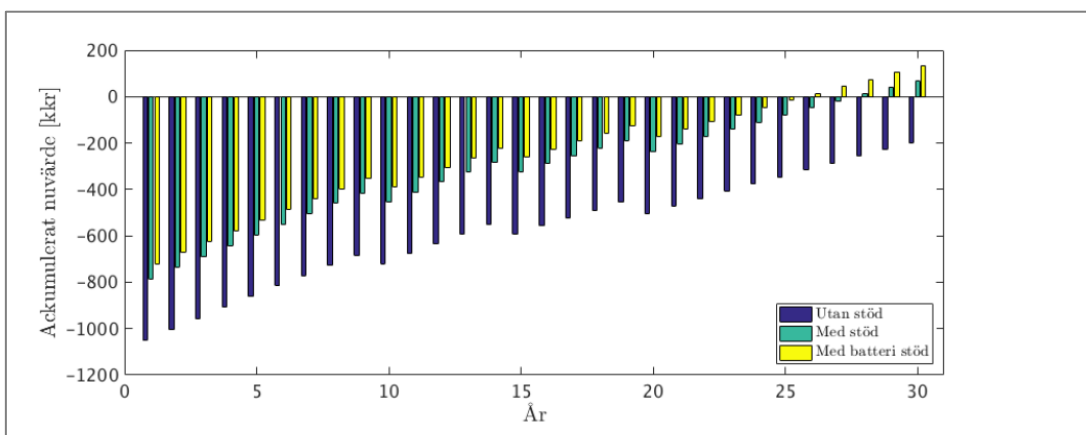
System	Egenanvändningsgrad [%]	Självförsörjningsgrad [%]	LCOE [kr]		Diskonterad återbetalningstid [år]		
			stöd	utan stöd	stöd	utan stöd	gynnsamt fall
Referens	86,6	22,5	0,70	0,93	21	>30	18
Batteri E	93,4	24,2	1,02	1,31	>30	>30	24
Batteri F	93,4	24,2	1,02	1,31	>30	>30	24
Batteri X	92,9	24,1	1,02	1,31	27	>30	19
Vätgas	89,6	23,2	2,55	2,85	>30	>30	>30



Figur 21. Ackumulerat nuvärde för solcellsanläggning utan batterilager. Den diskonterade återbetalningstiden med stöd inräknat kan ses ske 21 år efter investeringen.



Figur 22. Ackumulerat nuvärde för solcellsanläggning med batterilager med enkel styrning. Resultat i princip identiskt för batterilager med fördröjd urladdning.



Figur 23. . Ackumulerat nuvärde för solcellsanläggning med batterilager med fördröjd urladdning och nattladdning.

## Matchning med hjälp av laststyrning

I syfte att anpassa elanvändningen utifrån en given elproduktion kan konceptet laststyrning tillämpas. Konceptet baseras på förutsättningen att användaren, i detta fall de boende alternativt fastighetsägaren, accepterar att vissa elanvändande aktiviteter kan förflyttas i tid.

### Styrbara laster

Laster som antas vara styrbara i denna förstudie är diskmaskiner, hushållsmaskiner och elbilsaddare. En förutsättning för att styrning av dessa laster ska kunna tillämpas i syfte att matcha användning och produktion är således att dessa laster försörjs av fastighetsägarens elabonnemang, t ex via ett gemensamhetsabonnemang. Typiska laster som fastighetsägaren i regel besörjer, men som inte ansetts vara lämpliga att styra ur ett komfort- och trygghetsperspektiv är belysning i gemensamma utrymmen, ventilationsaggregat, pumpar i uppvärmningssystemet och dylikt.

I syfte att utreda hur styrning av dessa laster kan öka matchningen av användning och produktion har laststyrningsberäkningar utförts för fallstudieobjektet Isstadion 21, då denna fastighet är den enda av fallstudieobjekten för vilken fastighetsägarens elabonnemang innefattar hushållselen. Beräkningen bygger på antagandet att en solcellsanläggning installerats i 20° lutning riktad rakt åt söder och täcker 50 % av fastighetens årsbehov. Vidare har det antagits att styrbara laster finns tillgängliga enligt tabell 8.

Tabell 8. Styrbara laster som antagits finna tillgängliga för samtliga fastigheter.

Last	Effektuttag under användning (kW)	Drifttid per användningstillfälle (timmar)	Användningstillfälle (per dygn)	Laster förd. (per lgh)
Elbilsaddare	6,60	4	1	0,1
Diskmaskin	0,42	2	1	1,0
Tvättmaskin	0,55	2	1	1,0

Då Isstadion består av 104 lägenheter och en lokal (vilken ansetts utgöra en lägenhet i den mening som avses i tabell 8) antas fastigheten innefatta 5 elbilsaddare, 105 diskmaskiner och 105 tvättmaskiner med en summerad styrbar last på 336 kWh/dygn.

### Princip för styrning av laster

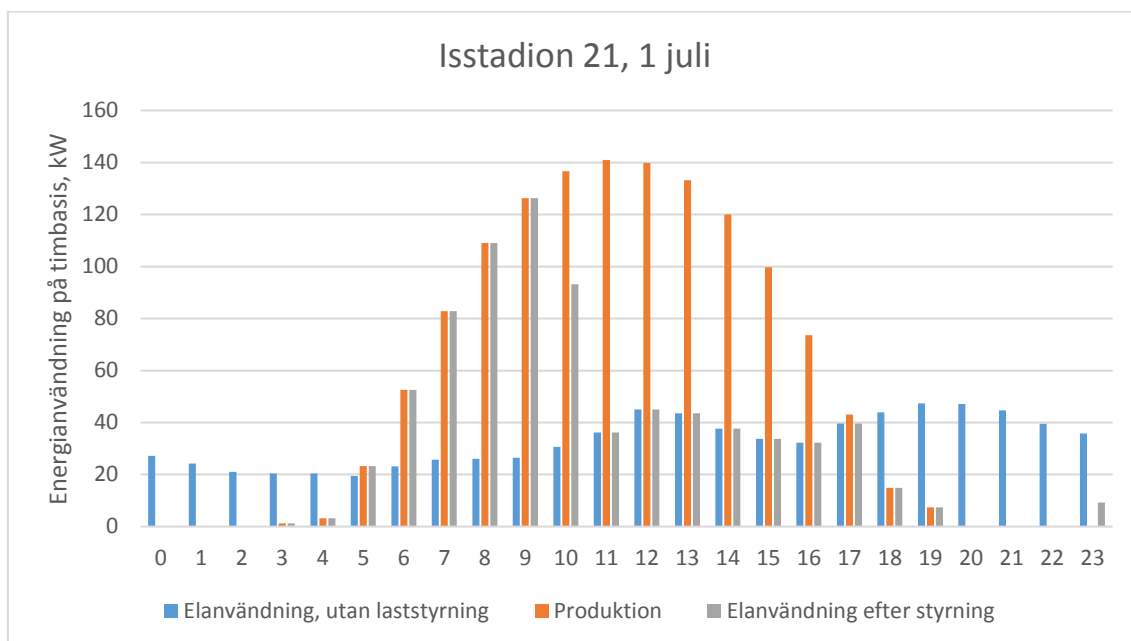
Det finns en mängd parametrar som potentiellt skulle kunna utgöra underlag till hur lasterna ska styras. Två intressanta parametrar är väderprognoser samt elprisets variationer över dygnet. Denna förstudie ämnar dock inte redovisa alla möjliga typer av

styrfunktioner i detta hänseende, utan avgränsas till att beakta fallet att det är möjligt att flytta laster för diskmaskin, tvättmaskin samt elbilsladdare inom det aktuella dygnet. Det antas att en perfekt prognos av dygnets elanvändning och elproduktion finns tillgänglig vid starten av varje dygn samt att ett konstant elpris råder över året. För varje dygn görs en jämförelse på timbasis mellan användning och produktion, med start från kl 00:00. Om användningen för timmen 00-01 överstiger den perfekt prognostiserade elproduktionen har användningsöverskottet flyttats från denna timme till den första timmen under dygnet då ett produktionsöverskott finns. Om överskottsanvändningen från 00-01 inte kan inrymmas i den första timmen med överskottsproduktion flyttas den kvarvarande överskottsanvändningen vidare till nästa timme med överskottsproduktion. Finns ingen överskottsproduktion för någon timme på dygnet har ingen användning flyttats via laststyrningen. Metoden har itererats för dygnets samtliga timmar. Den totala flyttbara lasten har i en första beräkning begränsats till 336 kWh/dygn enligt resonemang ovan. Därtill har även en beräkning gjorts där den styrbara lasten halverats till 168 kWh/dygn i syfte att se hur nyttan av styrningen beror av den styrbara lastens storlek. Laststyrningen beräknades med hjälp av programmeringskod i Visual Studio.

En förenkling som således gjorts, som är viktig att belysa, är att det antagits att summan av de styrbara lasterna kan användas för att förflytta elanvändning från valfri timme till valfri timme under dygnet. Ingen hänsyn har alltså tagits till när dessa laster realistiskt sett bör ske. Till exempel har beräkningen tillåtit att all uppmätt elanvändning kl 00-01 för ett givet dygn kan förflyttas till en lämplig timme under samma dag då överskottsproduktion sker, utan hänsyn till att elanvändningen kl 00-01 potentiell inte bestod av någon styrbar last. Resultatet från denna laststyrningsberäkning bör därför ses som en bedömning av laststyrningens möjligheter snarare än en fullt realistisk utvärdering. För en mer noggrann utvärdering av laststyrning, vilket skulle utgöra en intressant fortsättning på denna förstudie, behövs underlag i form av mätdata som innehåller information om när de styrbara lasterna sker under dygnet.

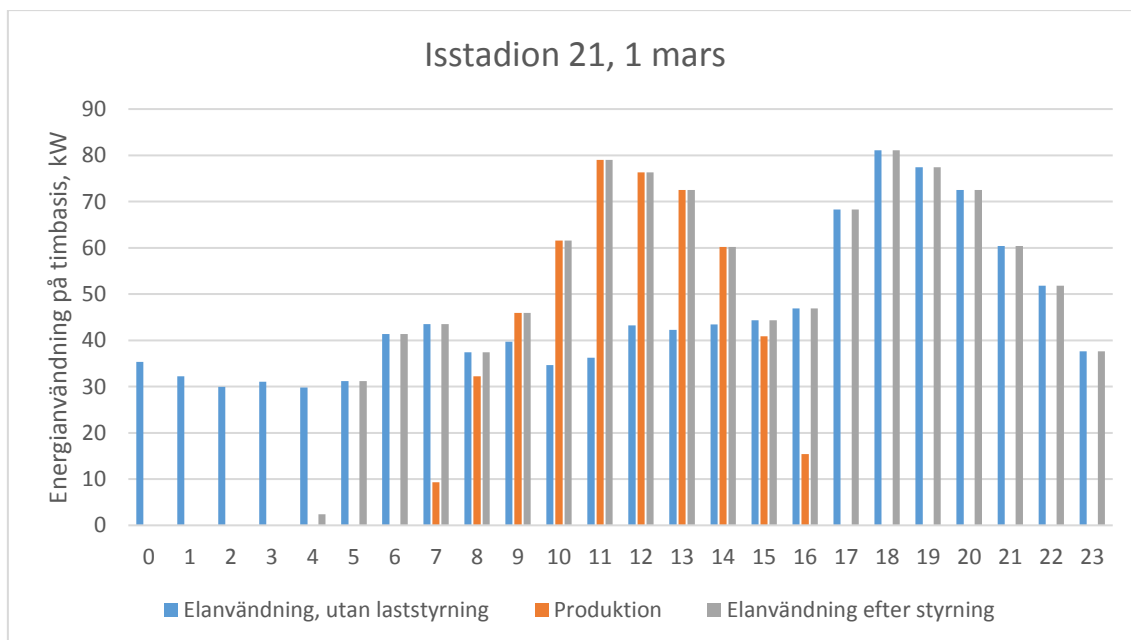
## Resultat av matchning med hjälp av laststyrning

Resultatet av laststyrningen redovisas med hjälp av två exempeldagar, 1 juli och 1 mars, i figur 24 respektive figur 25. För den 1 juli kan det ses att det ursprungligen finns ett stort överskott av elproduktion kl 7-17, vilket gör att det finns stora möjligheter att flytta elanvändningen från nattetid och kvällstid till timmar med överskottsproduktion. Nästan all elanvändning under detta dygn kan flyttas till timmar då en överskottsproduktion råder. Dock begränsar de styrbara lasternas sammanlagda elanvändning, 336 kWh/dygn förflyttningen av el för dygnets sista timme.



Figur 24. Redovisning av laststyrning för 1 juli för fastigheten Isstadion 21.

För den 1 mars kan det ses att överskottet är mindre och att enbart elanvändning från timmarna 00 till 05 har behövt flyttas till timmar mitt på dagen. För övriga timmar är elanvändningen redan större än produktionen.



Figur 25. Redovisning av laststyrning för 1 mars för fastigheten Isstadion 21.

Laststyrningens bidrag till ökad egenanvändning för Isstadion 21 på årsbasis redovisas i tabell 9. Som kan ses indikerar resultatet att egenanvändningen kan ökas med hjälp av laststyrning, då den procentuella egenanvändningen beräknas öka med 29 procentenheter upp till 86 %. Det ska återigen poängteras att beräkningen gjorts med antaganden som gör att resultatet snarare bör ses som en möjlighet än som en realistisk bedömning.

Tabell 9. Egenanvändning för Isstadion 21 med och utan laststyrning.

Elanvändning (MWh/år)	Produktion (MWh/år)	Styrbar last (kWh/dag)	Egenanvändning utan laststyrning (%)	Egenanvändning med laststyrning (%)
367	185	336	57	86

I en känslighetsanalys där den styrbara lasten halverats till 168 kWh/dag nås resultatet att egenanvändningen kan ökas till 75 %, motsvarande en ökning på 18 procentenheter.

Att realisera en laststyrning enligt dessa principer förutsätter bland annat att utrustningen ifråga kan mottaga information om när de ska aktiveras, samt att någon styrdator eller dylikt med hjälp av prognoser kan förutspå en lämplig laststyrning. För implementering i en befintlig fastighet skulle byte av utrustningen kunna innebära stora merkostnader, medan implementering i en nyproduktion förmodligen skulle innebära lägre merkostnader. En kvantifiering av dessa kostnader har inte gjorts i denna förstudie men utgör en intressant möjlighet till fortsättning. Utan att kvantifiera merkostnaderna för laststyrningen kan det dock konstateras att metoden har möjligheten att förbättra en solcellsanläggnings lönsamhet, vilket redovisas i tabell 10 där ekonomiska nyckeltal tagits fram utifrån den beräknade egenanvändningen i tabell 9 samt de övriga indata som användes för utvärdering av orienteringar av solcellsmoduler (tabell 4).

Tabell 10. Lönsamhetsbedömning av laststyrning för Isstadion 21, utan hänsyn tagen till merkostnader för implementering av laststyrning. Notera även att ökningen av egenanvändning med laststyrning snarare bör beaktas som en potential än som ett realistiskt utfall.

	Elproduktion (MWh/år)	Styrbar last (kWh/dag)	Egenanvändning (%)	Diskonterad återbetalning (år)	Nettonuvärde (kkr)	Internränta (%)
Med laststyrning	185	336	86	11	1 941	10,6
Utan laststyrning	185	336	57	16	1 076	7,6

# Slutsatser och rekommendationer

De resultat som presenterats i denna förstudie visar att samtliga tre matchningsmetoder skapar möjligheter att öka egenanvändningen av solex inom fastigheten. Genom att orientera solcellsmodulerna mot öst-väst i 45° lutning istället för mot söder i 45° lutning kan egenanvändningen ökas med ca 17 procentenheter. En lönsamhetsbedömning redovisar dock att denna ökade procentuella egenanvändning inte leder till en mer lönsam solcellsanläggning, då den minskade årsproduktionen reducerar lönsamheten mer än vad den ökade egenanvändningen tillför.

För energilagring i batterisystem visar resultatet att egenanvändningen kunde ökas med 7 % för det studerade fallstudieobjektet. Vidare kunde det konstateras att användandet av lagrad energi för kapning av effekttoppar är den ekonomiskt sett mest lönsamma aspekten med energilagring, snarare än att använda lagret för att flytta energi mellan olika timmar. Dock ledde inget av de utredda energilagringssystemen till att solcellsanläggningens återbetalningstid förkortades.

För laststyrning har en stor potential för ökad egenanvändning identifierats. Förstudiens beräkningar redovisar förvisso en optimistisk bild av laststyrningens inverkan, med en ökning av egenanvändningen med 29 %, men den realiserbara nyttan förväntas även den vara stor. Utan att ha tagit hänsyn till merkostnaderna som laststyrningen medför kan inte metodens lönsamhet bedömas tillfullo, men dess potential till att förbättra lönsamheten bedöms vara god.

Medan möjligheter att kapa effekttoppar i elanvändningen finns för samtliga tre matchningsmetoder har denna aspekt endast utvärderats för energilagret, där den visade sig vara ett viktigt bidrag till energilagrets lönsamhet. Denna potential är intressant att utvärdera för de övriga matchningsmetoderna.



## Rekommenderade fortsättningsprojekt

Ett flertal tänkbara fortsättningar på denna förstudie kan rekommenderas:

- Förfinad modellering av laststyrning baserad på mätdata som tar hänsyn till de styrbara lasternas uppmätta elanvändning samt ursprungliga placering i tid.
- Utvärdering av möjlighet och nytta med att laststyra andra tänkbara laster, t ex värmepumpar.
- Utredning av lönsamhet med gemensamhetsabonnemang samt av merkostnader vid införande av laststyrning.
- Utvärdera samtliga matchningsmetoders potential att reducera effekttoppar i elanvändningen.

# Referenslista

Dalenbäck, J-O. & Haegermark, M. 2017. Möjligheter och begränsningar för egenanvänd solex i ett flerbostadshusområde. Energiforsk.

Luthander, R. 2013. Photovoltaic System Layout for Optimized Self-Consumption. Examensarbete, Uppsala universitet.

Luthander, R. et al. 2015. Photovoltaic self-consumption in buildings: A review. Applied Energy, (142), 80-94.

Malmsten, J. 2015. Solceller på tak – Möjligheter och fallgropar. Belok.

STUNS 2017. Solex i flerbostadshus – En rapport om förutsättningar för att sälja solex till hyresgäster.

Svantesson, G. 2017. Energilagring för ökad egenanvändning av solex i flerbostadshus. Examensarbete, Uppsala universitet.

Wikensten, B. & Wahlström, Å. 2016. Hållbara energisystemlösningar inom solenergiområdet – Beslutsguide, installations- och driftserfarenheter samt upphandlingsrutiner. Slutrapport för BeBo-projekt.