



UPPSALA
UNIVERSITET



UPTEC ES 22017

Examensarbete 30 hp

Juni 2022

Analys av en fysisk energigemenskap med solceller och batterilagring

Maria Gustafsson



UPPSALA
UNIVERSITET



Analyze of a physical energy community with PV-modules and battery storage

Maria Gustafsson

Abstract

During the last years the number of installed PV-modules have increased significantly. As a result, the self-consumption of the solar electricity has become more important. One way to increase the self-consumption is to install an energy storage, for instance a battery. Another way is to introduce a physical energy community. An energy community is a way to share energy, in this case local produced renewable energy from the PV-panels, between buildings in a local electrical-grid.

The aim of this project is to investigate how the self-consumption change when an energy community is introduced and explore differences depending on the heating system of the building. This energy community includes seven buildings, two buildings with district heating and five buildings with heat pumps. An economic analysis of the economic benefits of energy communities is also included.

The project is conducted as a case study of a new block that is under construction in Örebro. A building simulation have been performed in IDA ICE 4.8 SP2. This includes simulations of energy consumption and energy production from PV-modules. The battery model is done in Matlab and used to simulate different battery sizes.

The self-consumption increases when an energy community is established for all the individual buildings no matter of the heating method. For buildings with heat pump, the self-consumption was higher than it was for the buildings with district-heating. The district heated building with the lowest self-consumption as an individual building increased its self-consumption from 66.7% to 72.5% when joining an energy community with only one other building. For building with heatpump the lowest self-consumption was 82.5% and in an energy community the self-consumption increased to 92.6%

From an economic aspect it is a good idea to establish an energy community regardless of size and type of heating method that is used in the buildings. For all communities the repayment period for the PV-modules is shorter for the community than it is for the individual buildings. However, to install a battery for the community is not profitable if you only load the battery when there is an overproduction from the PV-modules compared to the need from the load.

Teknisk-naturvetenskapliga fakulteten

Uppsala universitet, Utgivningsort Uppsala

Handledare: Erik Lövgren Ämnesgranskare: Annica Nilsson

Examinator: Petra Jönsson

Populärvetenskaplig sammanfattning

Installationstakten för solceller i Sverige och världen stiger för varje år som går. År 2022 beräknas solelen kunna stå för 10% av Sveriges elbehov den timme som solelen producerar högst effekt. För att få högst elproduktion från solceller bör de vara orienterade mot söder och i 45° lutning. Alla tak är däremot inte i denna riktning.

Solelsproduktion och elanvändning har i ett flerbostadshus inte samma dagliga profiler utan att det kommer ske en överproduktion av solceller vid vissa tider på dygnet. Elanvändningen har toppar på morgonen vid frukost och kvällen när de flesta ska laga middag medan solcellerproduktionen toppar vid klockan 12:00 på dagen då den högsta solinstrålningen infaller.

Ett sätt att matcha solelsproduktion och elanvändning är att installera energilagring för att lagra energin som då kan användas vid ett senare tillfälle. Ett annat sätt är införandet av en energigemenskap som efter 1 januari 2022 har blivit lagligt i Sverige. Det finns olika varianter av energigemenskaper, både fysiska och virtuella. En fysisk energigemenskap är sammankopplat med ett lokalt elnät medan en virtuell använder det befintliga elnätet och endast räknar ev elanvändning mot elproduktion. Det här arbetet är baserat på en fysisk energigemenskap som är sammankopplade med ett likströmsnät. En energigemenskap är att flera byggnader kopplar ihop sig med ett lokalt elnät för att bli en större producent och konsument. Det gör att energin kan komma till nytta lokalt och därmed minska belastningen på elnätet som vissa tider i Sverige är hårt belastat idag. En fördel med detta är att solceller kan installeras på fler tak och utnyttjandet av taken kan därför ske på ett mer fördelaktigt sätt än innan energigemenskapens införande. Detta genom att överproduktionen inte behöver överföras till elnätet utan att den kan utnyttjas av grannbyggnaden. Syftet med en energigemenskap är att öka på egenanvändningen, den energi som kan användas direkt av den byggnad den är producerad på, av lokal förnybar elproduktion.

Det här arbetet är en fallstudie av en energigemenskap, Tamarinden i Örebro som är under uppbyggnad. Arbetet är baserat på en del av området och dess energiberäkningar. Energianvändningen och solcellerproduktionen har simulerats i IDA ICE 4.8 SP2 vilket är ett simuleringsprogram för att beräkna energianvändningen för byggnader. Mängden solceller som har installerats har varit den maximala mängden som får plats på taket inom öst- västlig riktning. Syftet med arbetet har varit att undersöka hur egenanvändningen påverkas av införandet av en energigemenskap och om förutsättningarna ser olika ut beroende på uppvärmningssystem. Två av de undersökta byggnaderna är uppvärmda med fjärrvärme och fem är uppvärmda med hjälp av värmepump. Även en ekonomisk analys av nuvärde och återbetalningstider och hur dessa förändras av införandet av en energigemenskap. Den ekonomiska analysen är baserad på spotpriset per timme från Nordpool AS från år 2021, vilket gör att elpriset är dynamiskt över året.

I energigemenskaperna har solceller och batterier varit anslutna. Simuleringar med tre olika energigemenskaper, där en består av byggnader bara med fjärrvärme en med fem byggnader uppvärmda med värmepump och en tredje energigemenskap med sju byggnader både med fjärrvärme och värmepumpsuppvärmda byggnader.

Simuleringarna visar på att alla tre energigemenskaper har en högre egenanvändning än vad de enskilda byggnaderna har var för sig.

För energigemenskapen med två byggnader uppvärmda med fjärrvärme är egenanvändningen 72,5% vilket gör att det energimässigt finns incitament till att addera en batteriinstallation för att öka egenanvändningen. Den ekonomiska beräkningen visar på att det inte kommer vara lönsamt att installera ett batteri då mängden lagrad energi är liten. Ekonomiskt är det inte lönsamt att installera batterier om batterierna används till endast att lagra energi till att använda senare under dagen för någon av de undersökta energigemenskaperna. En möjlighet för en batteriinstallation är att agera stödtjänst åt Svenska kraftnät. Ett krav för att vara stödtjänst är att tillhandahålla minst 100 kWh.

Exekutiv sammanfattning

Syftet med den här rapporten är att undersöka hur egenanvändningen förändras vid införandet av en energigemenskap och om förutsättningarna ser olika ut beroende på uppvärmningsmetod för en byggnad.

Egenanvändningen steg för samtliga energigemenskaper jämfört med motsvarande egenanvändning för de enskilda byggnaderna. Byggnader uppvärmda med värmepump hade högre andel egenanvändning än de byggnader uppvärmda med fjärrvärme vilket gjorde att de gynnades mindre av en energigemenskap. Den lägsta egenanvändningen för en enskild byggnad var 66,7% och den högsta var 100% egenanvändning av solelen. För en energigemenskap med bara fjärrvärmeuppvärmda byggnader blev egenanvändningen 72,5% vilket visar att energin kommer till nytta inom energigemenskapen istället för att behöva överföras till elnätet. För de byggnader uppvärmda med värmepump var den lägsta egenanvändningen 82,5% och vid införandet av en energigemenskap på endast dessa byggnader blev egenanvändningen 92,6%. Mängden såld energi sänktes därmed för båda energigemenskaperna oavsett uppvärmningsmetod.

Att installera batterier till energigemenskaperna är ur en energiaspekt bra då det ökar egenanvändningen av den producerade solelen. Ur en ekonomisk aspekt är inte en batteriinstallation lönsam varken med ursprungspriset eller upp till 50% minskning av inköpspriset vilket testades i en känslighetsanalys.

Ur en ekonomisk synvinkel är det lönsamt för samtliga byggnader att vara med i en energigemenskap oavsett om det är en liten eller stor energigemenskap och oavsett uppvärmningsmetod. Detta då återbetalningstiderna minskar något för samtliga energigemenskaperna jämfört med motsvarande enskilda byggnader. För husen med fjärrvärme ökas nettonuvärdet med nästan 200 kkr vid införandet av en energigemenskap jämfört med byggnaderna enskilt. Medan det för en energigemenskap med endast värmepumpsuppvärmda byggnader endast ökas med 33 kkr vid införandet av en energigemenskap jämfört med de enskilda byggnaderna.

Förord

Detta arbete har skrivits som den avslutande delen av civilingenjörsprogrammet i energisystem på Uppsala universitet och Sveriges lantsbruksuniversitet. Jag vill börja med tacka Serneke och Tornet till att jag har fått tillåtelse att använda mig av energiberäkningar och modeller till era byggnader som ska byggas inom kvarteret Tamarinden. Tack alla medarbetare på KAMTech som har hjälpt till med arbetet och varit till stor hjälp med både stora och små frågor. Tack för att ni varmt tog emot mig under en rådande pandemi och välkomnade mig till den härliga stämningen på kontoret.

Slutligen ett stort tack till min ämnesgranskare Annica Nilsson som har hjälpt till under arbetet och korrekturläst och kommit med värdefull feedback för att jag ska kunna ro detta arbete i land, för att äntligen kunna ta ut min civilingenjörsexamen.

Maria Gustafsson
Örebro, Juni 2022

Innehåll

1	Inledning	1
1.1	Syfte	1
1.2	Frågeställningar	1
1.3	Avgränsningar	1
2	Teori	2
2.1	Solceller	2
2.2	Batterilagring	3
2.3	Sälja till elnätet	4
2.4	Energigemenskaper	5
2.5	Effekt- och kapacitetsbrist	7
2.6	Stödtjänster	7
2.7	Elanvändning	8
2.7.1	Laststyrning	9
2.8	Ekonomi	9
3	Studerat objekt	10
4	Aktuella byggnader	11
4.1	Sernekes byggnader	11
4.2	Tornets byggnader	11
4.3	Liknande fall	12
5	Metod	13
5.1	Energigemenskapen	13
5.2	Simuleringsprogram	15
5.2.1	Energisimuleringar	15
5.2.2	Solceller	16
5.3	Batterimodell	17
5.4	Energibalanser	18
5.5	Egenanvändning	19
5.6	Ekonomi	19
5.7	Känslighetsanalys	20
6	Resultat	21
6.1	Solelsproduktion	22
6.2	Energigemenskap	25
6.3	Energibalanser	26
6.4	Egenanvändning	28
6.5	Ekonomi	29
6.5.1	Känslighetsanalys	30
7	Diskussion	33
7.1	Felkällor	35
7.2	Framtida arbete	35

8 Slutsats	36
Referenser	37
Bilaga A	41
Bilaga B	41

Ordlista

Prosumert - En aktör på marknaden som både konsumerar och producerar elektricitet.

Azimutvinkel - Den vinkeln solcellerna är riktade mot, 0° definieras som riktade mot söder och 90° är mot väster.

Ekonomisk livslängd - Under vilken tid en investering genererar pengar eller innan den är i behov av en förnyelse.

Standard test conditions, STC - Specifika testförhållanden för vad solcellsmodulens effekt och verkningsgrad anges vid, solinstrålning $1000W/m^2$, celltemperatur $25^\circ C$ och 1,5 atmosfär.

State of Charge, SoC - Det specifika laddningstillståndet för batteriet mellan 0-100%. Där 100% är definierat som fullt uppladdat

Elprisområde - Sverige är indelat i fyra olika prisområden, prisområdena är det som avgränsar vilket timpris för elektriciteten som ska betalas.

kW_p - Den installerade toppeffekten vid STC förhållanden för en solcellsmodul.

Boverket - Myndighet som bland annat ställer krav på energianvändning i byggnader.

BBR29 - Boverkets samlade byggregler i version 29 som är aktuell för byggnader uppförda efter 1 Sep 2020.

1 Inledning

Antalet solcellsinstallationer i Sverige och världen ökar för varje år, år 2022 uppges solcellsproduktion kunna stå för som maximalt 10% av Sveriges elbehov vid den högsta producerade timmen. En bidragande orsak till det är att priset för solceller har sjunkit och är idag i många länder det billigaste sättet att producera elektricitet (Jäger-Waldau et al. 2020). Då solen inte lyser konstant har behovet av att lagra energi både längre och kortare tider blivit aktuellt. Att lagra energi kan exempelvis göras med hjälp av en batteriinstallation. Att använda batterierna till att endast ladda upp med solcellsenergin, för att sedan användas senare under dagen då solen har gått ner, har visat sig vara svårt att få ekonomiskt lönsamt. Batterierna behöver användas på fler sätt och ha flera olika inkomstkällor för att få ekonomisk lönsamhet (Wolf, Sandels och Shepero 2020).

Ett nytt sätt att öka utnyttjandegraden för förnybar elproduktion och energilagring är att använda sig av en energigemenskap. En energigemenskap innebär att flera byggnader sammankopplas antingen virtuellt eller fysiskt med ett lokalt elnät för att elproduktion och energilagring sker gemensamt. I EU:s direktiv för förnybar energi nämns att införandet av virtuella energigemenskaper är ett incitament till att satsa på mer förnybart i energiomvandlingen. Virtuellt energidelnings fungerar på samma sätt som fysisk energidelnings med undantaget att inget lokalt elnät byggs upp mellan byggnaderna utan lokalnätet som redan är byggt används (Europaparlamentet 2018).

I Sverige har flera pilotprojekt startats för att undersöka möjligheterna med att öka andelen förnybar elproduktion genom införandet av energigemenskaper. Det här projektet kommer genomföras med en fallstudie av ett av dessa pilotprojekt, Tamarinden i Örebro.

1.1 Syfte

Syftet med det här projektet är att med hjälp av en fallstudie undersöka möjligheterna till användandet av energigemenskaper för att öka egenanvändningen av förnybar elproduktion. Även att undersöka hur de ekonomiska resultaten förändras vid införandet av en energigemenskap jämfört med enskilda byggnader.

1.2 Frågeställningar

- Hur förändras egenanvändningen vid implementering av en energigemenskap?
- Hur skiljer sig förutsättningarna för att införa energigemenskap beroende på om byggnaden värms med fjärrvärme eller värmepump?
- Hur förändras de ekonomiska förutsättningarna med att använda en energigemenskap jämfört med att inte vara med i en energigemenskap?

1.3 Avgränsningar

- Inga kostnader har tillkommit för att bygga det lokala elnätet.
- Solceller har endast placerats på takytor.

2 Teori

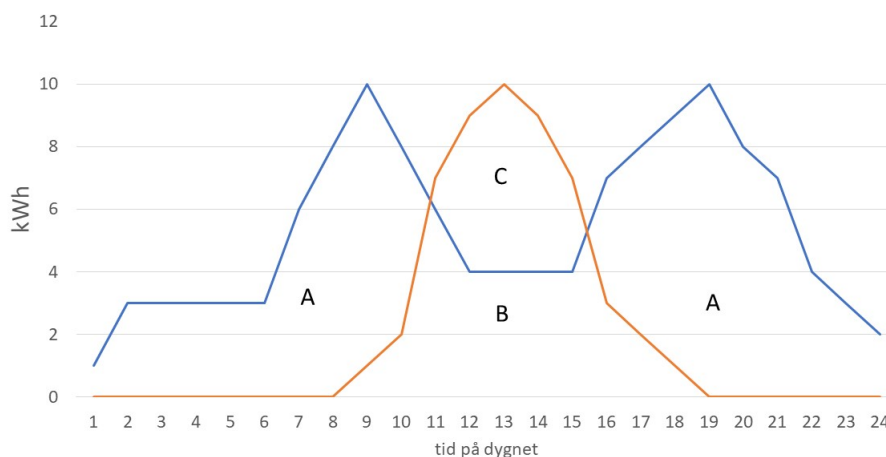
Följande avsnitt går igenom de ingående delarna i systemet. Hur en installation av solceller och batterilagring kan se ut självständigt och även agera i en energigemenskap. Även Svenska kraftnäts (SVK) stödtjänster och möjligheter att vara en del av dessa med ett batterilager.

2.1 Solceller

Vid installation av solceller är orientering, azimutvinkel och lutning på solpanelerna viktig att ta hänsyn till. Då olika azimutvinklar ger olika produktion från solcellerna både i energimängd och hur produktionskurvan ser ut. Det optimala för högst årlig elproduktion är solceller riktade mot söder. Produktionstoppen kan däremot förskjutas om solcellerna vinklas mot väster eller öster. Fördelen med att rikta mot olika väderstreck är att solproduktionstoppen då kan överensstämma med lastens toppeffekt. Studier gjorda av Barbón et al. (2022) visar på skillnaden i producerad energi inte varierar mycket mellan olika vinklar.

Vid 30° avvikelse från optimala azimutvinkel, 0° vilket motsvarar riktade mot söder, är förlusterna i energiomvandlingen 10%. Det har visat sig att det är viktigare att optimera efter lutning på panelerna än att optimera efter att vara riktade mot söder (ibid.). En tumregel inom installation är att använda samma lutning på installationen som platsens latitud. Dock visar flera studier på avvikelser med upp till 10° kan ske för den optimala vinkeln för en specifik geografisk plats (Chen et al. 2018).

Vid en solcellsinstallation är det viktigt att beräkna var den elektriska energin som producerats av solcellerna används. Kommer solelen till nytta för byggnaden eller kommer den att matas ut på elnätet? Då solcellernas produktionskurva och byggnadens lastkurva inte alltid överensstämmer se Figur 1.



Figur 1: Skiss över lastprofilen A+B, blå, och solcellsprofilen C+B i orange.

Egenanvändningen är den egenproducerade energin i detta fallet producerad solcell som används av byggnaden, egenanvändningen ges av ekvation

$$SC = \frac{B}{B + C} \quad (1)$$

Självförsörjandegrad är ett mått på andel av den totala energianvändningen som består av egenproducerad solenergi vilket ges av ekvation

$$SS = \frac{B}{A + B} \quad (2)$$

För att öka egenanvändningen och öka självförsörjandegraden av solcellernas genererade elektricitet är energilagring i form av batterier ett bra komplement.

2.2 Batterilagring

Ett batteri kan enligt Rocky mountains Institute (2015) bidra med 13 olika nyttor till elnätets olika intressenter och andra allmännyttiga tjänster. Exempel på nyttor är frekvensreglering, laststyrning, kapade effekttoppar, ökning av egenanvändning av producerad energi från solcellsproduktion och att investeringar på elnätet kan förskjutas på framtiden då kapaciteten höjs med en batteriinstallation. De olika intressenterna är elnätsägare och kunder. En anledning till att batterier överlag har en låg lönsamhet, om de inte används på flera olika sätt, är att det då endast är aktiva mellan 5% och 50% av batteriets livstid (ibid.).

En nackdel med batterier oavsett kemisk uppbyggnad är att toppeffekten sjunker med tiden vilket leder till att batteriet kan behöva byta användningsområde. Att återanvända bilbatterier i energilagring från solceller är något som har visat sig vara ett bra alternativ för återanvändning av bilbatterier (Fortum u.å.). En bostadsrättsförening i Göteborg som Rise research institute of Sweden (2021) skrivit om använder sig av batterier som tidigare användes i elbussar för att kunna lagra elektrisk energi från solcellerna på byggnadernas tak. Vid återanvändning av batterier är det svårt att veta vilken kapacitet som finns kvar att tillgå i batteriet och kvarvarande (ibid.). Marknaden för återbrukade batterier som energilager förväntas öka under kommande år (Melin 2019). I ett elfordon kan endast 20% av livslängden för ett batteri utnyttjas i elfordonet enligt Mälardalens universitet (2022). Därefter kan batteriet däremot användas i andra syften som exempelvis stationär energilagring. På så vis kan batteriets livslängd förlängas och öka miljönyttan av batteriet, det då olika användare ställer olika krav på batteriet. Batterier går även att återvinna och idag kan man återvinna upptill 95% av batterimassan (Northvolt AB u.å.).

Batterier är uppbyggda av olika material på anod och katod vilket ger batteriet olika egenskaper i form av spänning, ström och laddningstider bland annat. Historiskt sett har blybatterier varit den dominerade batterikemin bland batterier men idag är litiumjonbatterier som är den vanligaste batterikemin (Nyholm 2016).

Litiumjon-batterierna har sedan de kommersialiserades i början på 90-talet blivit en viktig teknologi för portabel elektronik som mobiltelefoner och datorer. Detta tack vare den höga energidensiteten. Runt år 2010 började tekniken användas i elfordon för att sedan även användas i stationär energilagring (Melin 2019). Ytterligare en vanlig typ av batterikemi är nickelmetallhydrid-batterier (NiMH), även dessa har varit tillgängliga på marknaden sedan början av 90-talet. De används främst i stationärt energilagringssyfte, eftersom densiteten är hög vilket resulterar i tunga batterier som inte är funktionellt i portabla batterier (Young och Yasuoka 2016). Blybatterier används inom flera områden som fordonsindustrin samt inom avbrottsfri kraftförsörjning (UPS) och energilagring. Blybatterier har flera fördelar då det är en billig teknik men energidensiteten är dock låg vilket ger tunga batterier. De har även kort livslängd och lång uppladdningstid (Serhan och Ahmed 2018).

Livslängden på olika batterier beror av hur de cyklas. En cykel är en full upp- och urladdning. Litiumjonbatterier klarar av fler cykler än exempelvis blybatterier (Battke et al. 2013). Enligt flertalet studier som Battke et al. (ibid.) har sammanställt är livslängden för litiumbatterier i medelvärde 11,5 år medan blybatterier har ett medelvärde på 8,5 år. Den stora skillnaden mellan dessa två batterityper är att litiumjonbatteriet klarar av fler antal cykler vilket är fördelaktigt i kombination med energilagring från förnybar elproduktion (ibid.).

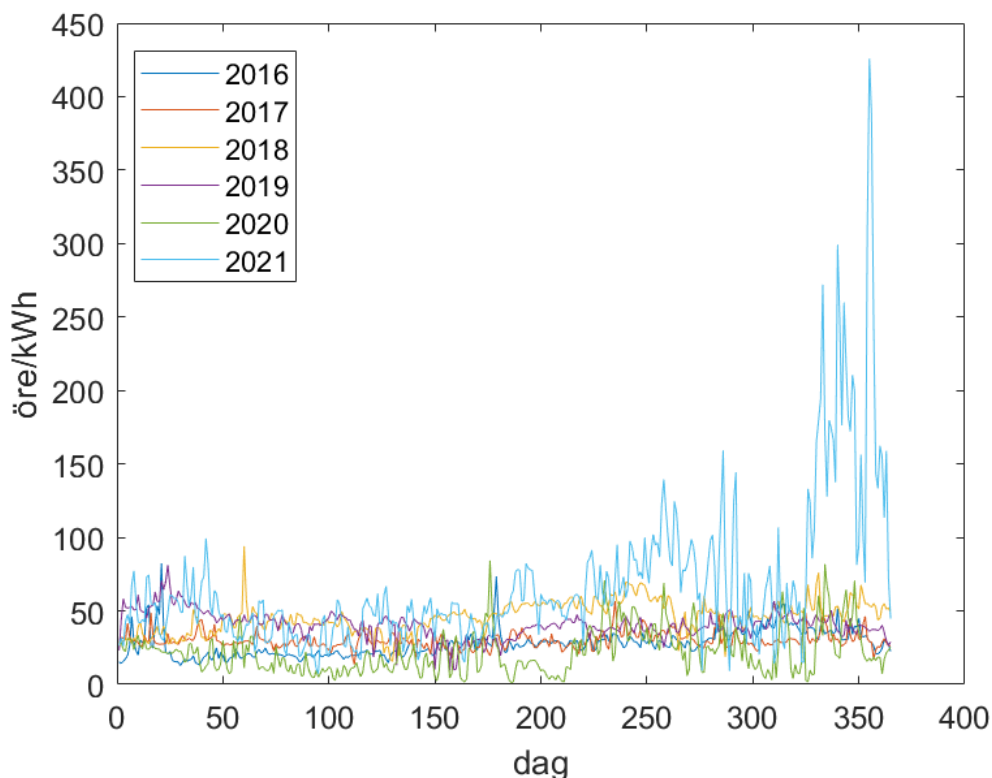
Dimensioneringen av batterier beror på syftet med batteriet. Är det att öka egenanvändningen eller till och med bli självständiga från elnätet? Ett riktmärke som rekommenderas av bland annat Solcellskollen (2021) är att installera 1 kWh batteri till 1 kWp installerad effekt solceller.

Fördelar med att använda sig av batterier som stödtjänster är snabbheten. Ett batteri kan kopplas in med en reaktionstid på 0,1 sekund. Skillnaden mot att använda vattenkraften som stödtjänst är framförallt storleken på energivolymen. Detta kan dock lösas genom att batterier kan placeras lokalt vid flaskhalsen till skillnad från vattenkraften som är bunden geografiskt (Wolf, Sandels och Shepero 2020).

Att använda sig av batterier kan medföra vissa etiska dilemman då batterierna består av sällsynta jordartsmetaller. Dessa metaller bryts endast på vissa platser på jorden och bidrar till stora utsläpp av gifta ämnen i dess närmiljö (Fujita et al. 2021). Idag så bryts kobolt framförallt i Demokratiska republiken Kongo där studier visar att arbetsförhållanden för gruvarbetarna är låga (Emilsson och Dahllöf 2019).

2.3 Sälja till elnätet

Den elektricitet som inte går till byggnadens direkta last eller att ladda upp batteriet kommer levereras till elnätet. Idag kan den prosumert som producerar mer elektricitet än den förbrukar sälja överskottet till elnätet. Olika elhandelsföretag gör dock olika om de ger mer än Nordpools spotpris. I Figur 2 kan spotpriset i elprisområde SE3, som innefattar Örebro och Mälardalen bland annat, ses för åren 2016-2021.



Figur 2: Spotpriser från Nordpools spotmarknad för elprisområde SE3, år 2016-2021 (Nordpool AS 2022).

Ett annat alternativ till att sälja till elnätet vid överproduktion från solcellerna är att bilda en energigemenskap. Genom att bilda en energigemenskap bildas en större förbrukare med flera olika typer av laster och lastprofiler.

2.4 Energigemenskaper

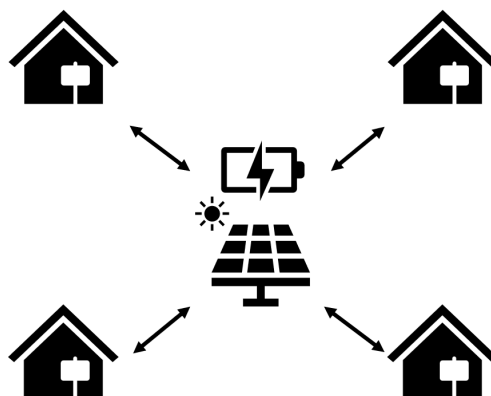
En energigemenskap innebär att flera byggnader är sammankopplade med ett lokalt lågspänningsnät, även kallat mikronät, som de gemensamt äger och driver. Syftet med mikronätet är att samtliga byggnader ska kunna ta vara på lokal elproduktion och energilagring men även dela energi mellan byggnaderna som kan ses i Figur 3. Detta kan bidra till att egenanvändningen för ett system av flera byggnader ökar jämfört med de enskilda byggnadernas egenanvändning. En fördel med energigemenskaper är att byggnaderna kan lastbalansera tillsammans och därmed minska sitt totala effektbehov. Det finns även förslag på virtuella energigemenskaper som fungerar på samma sätt som en fysisk med skillnaden att energidelningen sker över det redan befintliga elnätet. Då överförs överproduktionen från solcellerna till elnätet och en annan medlem i energigemenskapen kan då räkna bort den produktionen från sin konsumtion (Energimyndigheten 2021).

En fördel med fysiska energigemenskaper är att det kan avlasta elnätet och att likström kan användas vilket minskar på omvandlingsförluster. Detta då solceller producerar likström (Axell 2021).

En annan fördel som Örebrobostäder framhåller är att de själva då äger nätet och därmed blir mindre beroende av elnätsägaren som har monopol på elnätet och därmed minskas påverkan av elnätspriser ¹. En fördel med virtuella energigemenskaper är att inga ytterligare elnät behöver byggas och att fler kan ansluta sig till energigemenskapen oavsett geografisk placering (Europaparlamentet 2018).

För en enskild byggnad kan möjligheten till energigemenskaper leda till minskat behov av att sälja elektrisk energi till nätet för att i stället dela överskottet med grannfastigheten med möjlighet att få elektricitet det senare under dagen (Long et al. 2018).

EU:s Medborgargemenskaper, som är en virtuell energigemenskap ses som ett sätt att öka aktiva kunders möjligheter att vara med och bidra till ett förnybart energisystem. EU har som argument för fler medborgargemenskaper att de är viktiga för acceptansen av förnybar elproduktion. Forskning visar att människor blir mer positiva till förnybar elproduktion om de är delaktiga både ekonomiskt och demokratiskt (Europaparlamentet 2018). En stor fördel för samhällsnyttan med energigemenskaper är att inga ytterligare elnät behöver grävas ner som vilket är bra ur en material synpunkt.



Figur 3: Schematisk bild av en energigemenskap bestående av fyra byggnader som är sammankopplade i ett lågspänningsnät med ett batteri och solcellssystem. Samtliga byggnader är även kopplade till elnätet.

Tidigare har det inte varit lagligt i Sverige att dela energi mellan fastigheter med några få undantag från nätkoncessionen. Nätkoncessionen är en del av ellagen som reglerar hur elektricitet får flöda. I Sverige har det sedan 1 januari 2022 varit tillåtet med energigemenskaper om dessa uppfyller vissa krav som står i Svensk författningssamling (2021:976).

22 c § ett internt lågspänningsnät för delning av energi som inte är en luftledning får byggas och användas utan nätkoncession

- 1. Inom nätinnehavarens fastighet och,*
- 2. Mellan byggnader och anläggningar som var för sig även har en anslutning till en ledning eller ett ledningsnät som används med stöd av nätkoncessionen.*

¹Tannerstad Jonas, Örebrobostäder AB, Örebro 28 April, studiebesök

2.5 Effekt- och kapacitetsbrist

Idag pratas det en hel del om effekt- och kapacitetsbrist i Sverige. Detta skapas av flaskhalsar i elnätet då elektriciteten sällan konsumeras och produceras på samma geografiska plats. Det är främst i storstadsregionerna kapacitetsbristen är påtaglig under de timmar som efterfrågan på effekt är som störst. Detta infaller framförallt under de kallaste timmarna under vintern. Den huvudsakliga lösningen på kapacitetsbristen är att bygga fler och större stamnätsledningar. En snabbare lösning är att installera batterier lokalt för att minska på effektbehovet ifrån elnätet. Detta då batterierna exempelvis kan agera nätförstärkning och vara ett spänningsstöd och på så sätt agera stödtjänster till elnätet (Power Circle 2020).

2.6 Stödtjänster

Elnätet är beroende av att frekvensen i elnätet är stabil för att inga komponenter ska gå sönder eller ta skada. Frekvensen i elnätet beror av konsumtion och produktion. Vid högre produktion än konsumtion stiger frekvensen och vid lägre produktion än konsumtion sjunker frekvensen. Den elektricitet som producerats måste även förbrukas i samma stund i nätet för att bevara frekvensen stabil. I Sverige är frekvensen satt till $50 \pm 0,1$ Hz. Svenska kraftnät har ansvar för att frekvensen hålls inom intervallet och köper därför in stödtjänster för att hålla frekvensen stabil (Svenska kraftnät 2021b). Idag är det framförallt vattenkraften som är en stödtjänst i Sverige men Svenska kraftnät vill inkludera fler olika aktörer på stödtjänstmarknaden för att säkra upp mot eventuella störningar i vattenkraften. Detta då minskad nederbörd ansågs som en bidragande faktor till förhöjda kostnader för stödtjänster under 2018 och 2019. Svenska kraftnät köper in stödtjänsterna efter budmarknaden vilket betyder att den som säljer får sätta ett pris som Svenska kraftnät sedan kan acceptera eller neka beroende på behov av stödtjänst. Det medför de varierande priserna på stödtjänstmarknaden (Svenska kraftnät 2020).

Behovet av stödtjänster ökar i takt med att större andel väderberoende elproduktion adderas till energisystemet i Sverige i form av vindkraft och solenergi. Marknaden med stödtjänster utvecklas ständigt och går mot att mindre budstorlek ska tillåtas för att fler mindre energilagrar som batterier ska kunna medverka till marknaden (Svenska kraftnät 2021a).

EU har gjort förändring i viss lagstiftning för att inkludera definitioner och krav för självkonsumtion av förnybar energi. Detta för att fler ska kunna vara med på alla elmarknader och därmed bidra till systemnyttor för elnätet som exempelvis efterfrågefleksibilitet (Westerberg och Gustavsson 2021). Efterfrågefleksibilitet handlar om att kunder ska vara flexibla på marknaden för att den intermittenta kraftproduktionen, som exempelvis solceller och vindkraft, ska hinna med att producera energi. Elkunderna förändrar helt enkelt sin elanvändning efter olika signaler, både att minska sin elanvändning vid ett hårt belastat nät men även att öka användningen vid god tillgång på el. Efterfrågefleksibiliteten bidrar till ett effektivt elsystem (Energimarknadsinspektionen u.å.).

Svenska kraftnäts stödtjänster finns i flera olika kategorier beroende på vilken inkopplingshastighet och uthållighet den specifika stödtjänsten har. Det finns idag fyra olika typer av stödtjänster från Svenska kraftnät.

Stödtjänsterna är uppdelade efter vilken uthållighet de har på att leverera effekt och vilken inkopplingshastighet de har. Det finns båda manuella och automatiska stödtjänster där de automatiska har en snabbare inkopplingshastighet än de manuella (Svenska kraftnät 2021b).

Idag används storskaliga batterier som stödtjänster i flera andra länder exempelvis Tyskland och Storbritannien. I Tyskland består hela 30% av marknaden för frekvensreglering av batterier. I Sverige passar batterier främst som en manuell frekvensåterställare (mFRR) då Svenska kraftnät idag har krav på uthållighet i en timme och storleken på budet för frekvensregleringen som idag är satt till 100 kW är det idag svårt att ha batterier på mFRR marknaden som den ser ut idag (Power Circle 2020).

2.7 Elanvändning

Elanvändning är den el som en aktör på marknaden förbrukar, aktören kan vara allt från ett helt land till ett småhus. Varje elanvändare bidrar med en specifik lastprofil som består av en baslast och en topplast. Baslasten utgörs av sådant som alltid är igång som exempelvis fastighetsel. I bostadshus är exempelvis kylskåp en typisk baslast då det alltid är igång. Till baslasten tillkommer en topplast i form av exempelvis en spis eller en fläkt och det är då det uppstår effekttoppar.

Varje ny byggnad som byggs i Sverige måste följa Boverket (2020) byggregler. Dessa regler finns beskrivna i BBR29 som är den senaste versionen. Energimässigt finns det krav på primärenergitalet, vilken energi som byggnaden får använda. För beräkning av primärenergitalet (E_{pet}) används ekvationen

$$EP_{pet} = \frac{\sum_{i=1}^6 \left(\frac{E_{uppv,i}}{F_{geo}} + E_{kyl,i} + E_{tvv,i} + E_{f,i} \right) \cdot VF_i}{A_{temp}} \quad (3)$$

I denna ekvation summeras all energi byggnaden kräver i form av uppvärmning ($E_{uppv,i}$), kyla ($E_{kyl,i}$), tappvarmvatten ($E_{tvv,i}$) och byggnadens fastighetsenergi ($E_{f,i}$). Energin som krävs för uppvärmningen kommer att divideras med den geografiska justeringsfaktorn, F_{geo} , för aktuell plats för byggnaden. I Örebro är $F_{geo} = 1,0$. Olika energiformer viktas med olika faktorer beroende på ursprung, faktorerna är satta av Boverket (ibid.). Storleken på viktningsfaktorerna kan ses i Tabell 1.

Tabell 1: Viktningsfaktorer för olika energibärare (Boverket 2020).

Energibärare	Viktningsfaktor (VF_i)
El	1,8
Fjärrvärme	0,7
Fjärrkyla	0,6
Fasta, flytande och gasformiga biobränslen	0,6
Fossil olja	1,8
Fossil gas	1,8

2.7.1 Laststyrning

Då elproduktionen från solceller och lasten från ett hushåll ofta inte matchar varandra fungerar ett batteri som en lastförskjutare. Det vill säga att batteriet laddas ur de timmar lasten är som störst och sedan laddas upp de timmar lasten är låg detta för att plana ut effektkurvan från lasten. Detta gör att effektbehovet kan minska och därmed kan utgifterna för elnätsabonnemanget minsta om det är ett effektabbonemang (Nylén 2011). Vid en lastförskjutning ökas andelen elektricitet som byggnaden kan förbruka själv från exempelvis en solcellsanläggning, vilket leder till att egenanvändningen ökar.

2.8 Ekonomi

Att beräkna lönsamheten på en installation av ett system kräver att man har en uppskattad livslängd och vilka utgifter och inkomster som systemet kommer bidra med under dess livslängd (Papapetrou och Kosmadakis 2022).

Nuvärdesmetoden, NPV, är en ekonomisk metod för att beräkna hur en investering står sig med inflation och räntor vilket ges av

$$NPV = \sum_{t=1}^i \frac{C_i \cdot (1-d)^t}{(1+r)^t} - K \quad (4)$$

där t är livlängden C_i är den ekonomiska besparingen för ett specifikt år med solceller och eventuell batteriinstallation jämfört med ett system utan solelproduktion, d är den årliga försämringen i procent för solcellerna enligt tillverkaren, r är kalkylräntan och K är den ursprungliga investeringens kostnad (ibid.).

Utgifter som uppstår under solcellernas livstid är inköp och installationsutgifter. Sedan tillkommer ett byte av växelriktare efter 15 år. Inkomster som solcellerna bidrar till är att överskottsproduktionen kan säljas till elnätet. Sedan är det framförallt minskade utgifter som solceller och batterier kan bidra med som exempelvis minskad kostnad för elektricitet och elnät. En stor del som batterierna kan bidra med är lastförskjutning och därmed kan effektbehovet minska eftersom flera elnätsägare går över till effektbaserad tariff istället för total konsumtion som är vanligast idag.

Priserna på litiumjonbatterier har sedan 2010 sjunkit med 89% och bara under år 2020 sjönk priset med 13% jämfört med 2019. Inköpspriserna för råmetaller, framförallt litium och kobolt som är viktiga beståndsdelar i dagens litiumjonbatterier har däremot ökat, på grund av råvarubrist som en effekt av coronapandemin under slutet av år 2021 och det förväntas öka priset på batterier under 2022 (Bloomberg 2021)

3 Studerat objekt

Fallstudien i rapporten utförs på en del av kvarteret Tamarinden, i södra Örebro, som är under uppbyggnad. Tamarinden marknadsför med citatet *Tamarinden ska bli en hållbar och smart stadsdel som karaktäriseras av nytänkande, aktivitet och grönska*. Ambitionen är att Tamarinden ska visa vägen för framtida byggnationer i Sverige, byggnaderna ska vara klimatsmarta under drift och bidra till klimatomställningen. Kvarteret är en del av ett pilotprojekt för nyproduktion där målet är att halvera effektbehovet och även spara 30% av energibehovet för de byggnader som ingår i energigemenskapen (Axell 2021).

Tamarinden är ett kvarter som vid färdigställandet kommer bestå av 700 bostäder men även förskolor och verksamhetslokaler. Byggstart är planerat till 2022 och färdigställandet av kvarteret till år 2025-2030. Batterierna som kommer att användas inom Tamarinden för energilagring är använda batterier (litiumjonbatterier) från Epirocs gruvmaskiner (Örebro kommun 2022b). Det unika med Tamarinden är energidelningen, det är den som kommer bidra till klimatomställningen. Kvarteret kommer vid färdigställande vara sammankopplat med ett lokalt likströmsnät för energidelningen. Kvarteret är uppbyggt av fem olika fastighetsägare men det här projektet kommer endast att bygga på två olika fastighetsägares byggnader vilket motsvarar totalt sett sju byggnader. Valet på dessa byggnader är baserat på vilka fastighetsägare som kunde ställa upp och bidra till detta arbete och hade energiberäkningar tillgängliga.

När Tamarinden är färdigbyggt kommer det vara över 1 MWp installerad solcellseffekt enligt nuvarande planer för de olika fastighetsägarna ². Örebrobostäder, som är initiativtagare till området, har erfarenhet av att dela energi mellan sina egna byggnader och att använda sig av solceller och batterier. Det nya, och det största hindret, är att det är flera fastighetsägare med i projektet och att alla ska arbeta mot samma mål. Örebrobostäder har tidigare erfarenhet av att använda sig av batterier och utnyttjar idag möjligheterna att minska effekttoppar, att bidra med stödtjänster till lokala elnätet och Svenska kraftnät och att använda sig av vehicle to grid (V2G) alltså att utnyttja elbilarnas batteri till att agera batteri till byggnaden ³.

²Tannerstad Jonas, Örebrobostäder AB, Örebro 28 April, studiebesök

³ibid.

4 Aktuella byggnader

Under följande kapitel presenteras de aktuella byggnadernas beräknade energianvändning enligt BBR29 och primärenergianvändning, EP_{pet} , enligt ekvation 3. Simuleringarna är utförda av KAMTechnology AB i IDA ICE 4.8 SP2. För de aktuella byggnaderna viktas energianvändningen enligt Tabell 1 för att resultera i en slutgiltig primärenergianvändning som används vid uppbyggnaden av energigemenskapen. Den största skillnaden mellan byggnaderna är att Sernekes två byggnader värms med fjärrvärme och Tornets fem byggnader värms med värmepump.

4.1 Sernekes byggnader

Serneke kommer att bygga två bostadshus i området där båda är uppvärmda med fjärrvärme. Serneke hus 1 är ett bostadshus med 102 lägenheter fördelat på 6 våningar och en total A_{temp} på $6165 m^2$, där majoriteten, 97%, används som flerbostadshus. Under huset är det ett garage vilket endast är uppvärmt till $9^\circ C$. Garaget är inte med i A_{temp} enligt Boverket (2020) men dess energianvändning är med i beräkningen. Ventilationen i byggnaden är FTX med ett konstant flöde. Byggnadens beräknade primärenergital är på $55 kWh/m^2 A_{temp}$ vilket kan jämföras med BBR29 kravet som är på $75 kWh/m^2 A_{temp}$ för aktuell byggnad. Då majoriteten av lägenheterna är små tvåor är personlasten på 1,69 personer per lägenhet enligt boverkets rekommendationer för nyproduktion av flerbostadshus (Boverket 2017).

Serneke hus 2 är en mindre byggnad med A_{temp} på $1989 m^2$. Det beräknade primärenergitalet för Hus 2 är $53 kWh/m^2 A_{temp}$. Även hus 2 värms med fjärrvärme och har ett FTX system med konstant flöde installerat.

Se Bilaga B för ritningar av taken.

4.2 Tornets byggnader

Tornets fem byggnader kommer alla att byggas med en trästomme för att minska på klimatpåverkan från byggprocessen. Byggnaderna kommer bestå av lägenheter och en förskola. Tornets fem byggnader värms upp med bergvärmepump.

Hus 1 Tornet är ett flerbostadshus med en A_{temp} på $8452 m^2$ bestående av 109 lägenheter. Byggnadens primärenergital är $54 kWh/m^2$.

Hus 2 Tornet är ett flerbostadshus med en A_{temp} på $1195 m^2$ bestående av 19 lägenheter. Byggnadens primärenergital är $57 kWh/m^2$.

Hus 3 Tornet är ett flerbostadshus med en A_{temp} på $1133 m^2$ bestående av 12 lägenheter. Byggnadens primärenergital är $55 kWh/m^2$.

Hus 4 Tornet är ett flerbostadshus med en A_{temp} på $2108 m^2$ bestående av 22 lägenheter. Byggnadens primärenergital är $58 kWh/m^2$. En del av hus 4 är en förskola vilken antas vara stängd mellan 28 juni - 5 Augusti och samtliga helger och helgdagar.

Hus 5 Tornet är ett flerbostadshus med en A_{temp} på $2343 m^2$. Byggnadens primärenergital är $46 kWh/m^2$.

4.3 Liknande fall

I Hammarby sjöstad finns det en ekonomisk förening med 672 befintliga lägenheter som har skapat en energigemenskap med målet att fram till år 2030 bli en klimatneutral stadsdel. Energigemenskapen består av produktion av solceller, mikronät med lastbalansrande funktioner och batterier. Det leder till att de boende blir prosumenter till elnätet (Axell 2021).

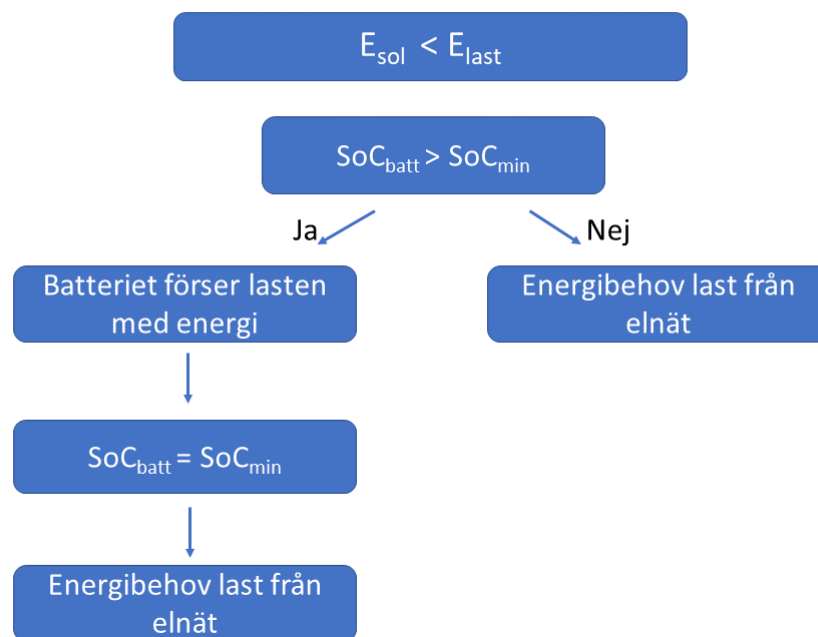
I Uppsala i området Science park har fastighetsägaren Vasakronan kopplat samman flera byggnader med ett lokalt likströmsnät. Incitamentet till en energigemenskap i Science park i Uppsala var att fyra hus hade solceller installerade och när dessa hus hade en överproduktion var det en effekttopp i andra byggnader. Effekttoppen berodde på att byggnader har kylmaskiner som arbetar efter väderförhållandet och därför använder mer elektrisk energi när solen lyser som mest och byggnaden kyls. Målet med införandet av en energigemenskap var att öka egenanvändningen, öka användningen av förnybar elproduktion, minska effekttoppar och vara mer flexibel på elmarknaden. Vid införandet av energigemenskapen år 2017 ansåg Vasakronan att priset på batterier var för högt och därför finns inget energilagring kopplat till energigemenskapen. Idag finns det planer på att komplettera med ett batterilagring då bland annat införandet av stödtjänster gör att Vasakronan nu anser att det är ekonomiskt lönsamt att installera batterier som komplement till solcellerna (Fastighetsnätverket 2022).

5 Metod

Det här arbetet är uppdelat i flera delar som består av insamling av data för energianvändning för de aktuella husen och solcellssimulering i IDA ICE 4.8 SP2. Dessa beräkningar kommer tillsammans utgöra energigemenskapens last och potentiella solcellsproduktion. Slutligen har en ekonomisk analys genomförts på återbetalningstider, nettonuvärde och en känslighetsanalys på dessa ekonomiska parametrar.

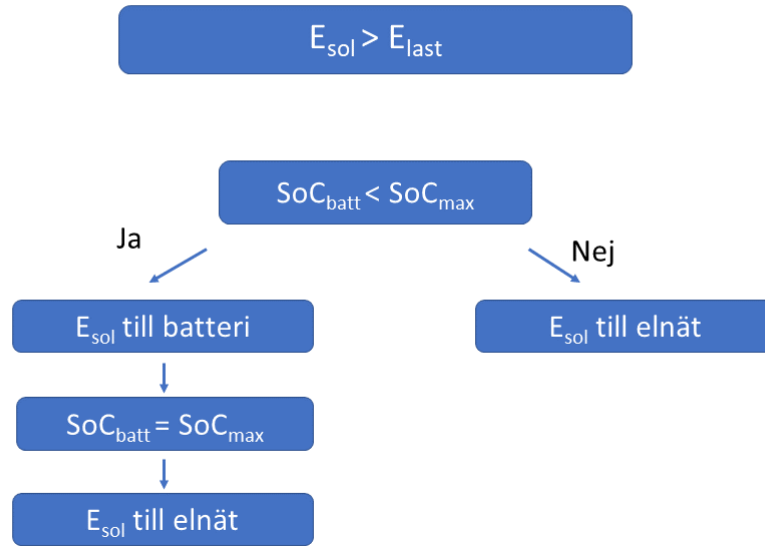
5.1 Energigemenskapen

Då byggnaderna inom Tamarinden är inom ett begränsat geografiskt område, 300 m brett och 900 m långt, och kommer vara sammakopplade med ett lågspänningsnät kommer de interna förlusterna i kablarna att vara så pass små att de är försumbara (Örebro kommun 2022b). Energigemenskapen kommer ha en prioriteringsordning för det elektriska flödet inom området enligt Figur 4 när solcellsproduktionen är större än lastbehovet.



Figur 4: Flödesschema över energigemenskapen vid överproduktion från solcellerna.

När lasten har ett större effektbehov än solcellerna kan förse lasten med kommer flödet se ut enligt Figur 5.



Figur 5: Vid större effektbehov av lasten jämfört med vad solcellerna kan producera kommer energi från batteriet tas innan energi från elnätet.

Lastbehovet kommer bestå av fastighetsel för Tornets fem byggnader i form av hissar, fläktar, pumpar m.m. samt den elektriska energi för värmepumpar För Sernekes två byggnader är lasten fastighetselen utan uppvärmning då den kommer från fjärrvärmenätet. För samtliga byggnader kommer hushållsenergin att tas med i lasten.

Energigemenskapen kommer att fungera på samma sätt som en enskild byggnad med skillnaden att lasten är större. Detta genom att alla byggnaders last summeras till en stor last och all solelsproduktion summeras till en stor solelsproduktion. För att beräkna energigemenskapens storlek på last och solelsproduktion används följande två ekvationer

$$E_{gemenskap,sol} = \sum_{n=0}^7 E_{sol,n} \quad (5)$$

$$E_{gemenskap,last} = \sum_{t=0}^7 E_{last,n} \quad (6)$$

Där $E_{gemenskap,sol}$ är den producerade solelen i kWh inom aktuell energigemenskap och $E_{sol,n}$ är den producerade solelen timme för timme under valt år för de enskilda byggnaderna. $E_{gemenskap,last}$ är den totala lasteffekten för energigemenskapen $E_{last,n}$ är lasten summerad timme för timme för varje enskild byggnad.

För att simulera energigemenskapen i Matlab krävs det tre ingående parametrar, lasten $E_{last}(t)$, solcellsproduktion, $E_{sol}(t)$ och batteristatusen vilket specifikt laddningstillstånd mellan 0-100% den så kallade *SoC* batteriet befinner sig i den specifika tidpunkten.

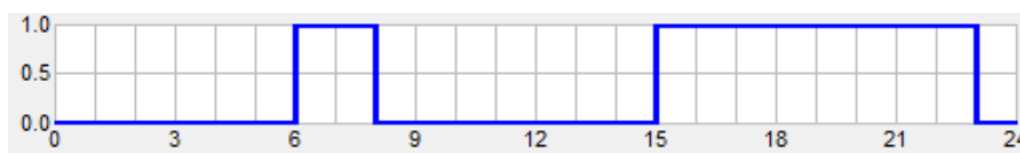
5.2 Simuleringsprogram

All energianvändning och solelsproduktion är simulerad i IDA ICE 4.8 SP2, vilket är en programvara utvecklad för att simulera en byggnads energianvändning och termiska komfort. Simuleringen är uppbyggd av detaljerade zoner för att få en modell som är anpassad efter olika förutsättningar för olika delar av en byggnad. För att genomföra en energisimulering krävs det en väderdatafil. Väderdatafilen som IDA ICE använder sig av innehåller solinstrålning, lufttemperatur, luftfuktighet, vindriktningar och vindstyrka på timbasis. Detta gör att det går att applicera väderdatan på energianvändning för byggnaden och för att beräkna produktion från solceller (EQUA Simulation AB 2020). Väderdatafilen är framtagen av SMHI och beskriver klimatet i Örebro i ett område på 11x11 km vilket inkluderar aktuell position för Tamarinden. Klimatdatafilen bygger på en referensperiod på 30 år mellan år 1981-2010 (SMHI 2021).

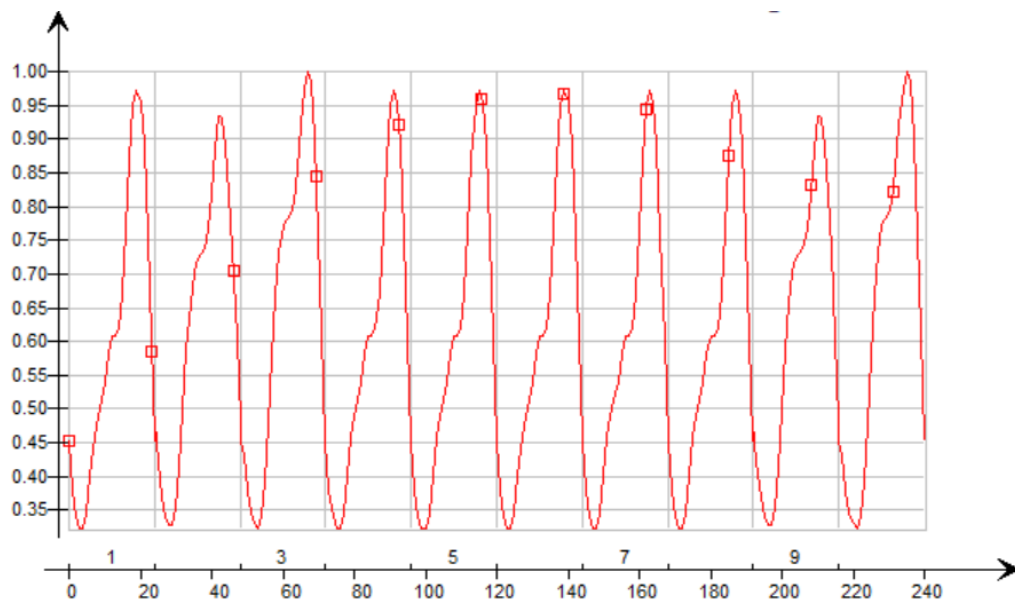
5.2.1 Energisimuleringar

Simuleringar för framtagande av energianvändning för de enskilda byggnaderna är genomförda med IDA ICE 4.8 SP2.

Den energiförbrukning som simuleras är fastighetselen, i form av hissar, fläktar för ventilation, pumpar och ett tillägg för övrigt, samt hushållselen och energin för uppvärmning. Grunden för dessa modeller är uppbyggda av KAMtechnology AB efter ritningar från aktuella byggföretag. Då byggnaderna i denna studie är uppvärmda med olika metoder, fjärrvärme och värmepump, kommer uppvärmningsenergin endast tas med för byggnaderna uppvärmda med värmepump då dessa drivs med el som potentiellt kan komma från solceller. Detta leder till att två olika lastprofiler för elanvändningen kommer tas fram. Hushållsenergin som simuleras fram av IDA ICE baserades på att personerna i byggnaderna är på plats dagligen mellan klockan 17:00-07:00. De parametrar som ingår i hushållsel är hemelektronik. Dessa parametrar styrs enligt tre olika tidscheman. Personlasten styrdes till att personerna var hemma i byggnaden 14h per dygn mellan klockan 17:00-07:00 året runt. Belysningen styrs efter tidsschemat i Figur 6. Utrustning följer ett eget tidschema enligt Figur 7.



Figur 6: Tidsschema för belysning i byggnaderna, 1 motsvarar allt igång och 0 är allt avstängt.

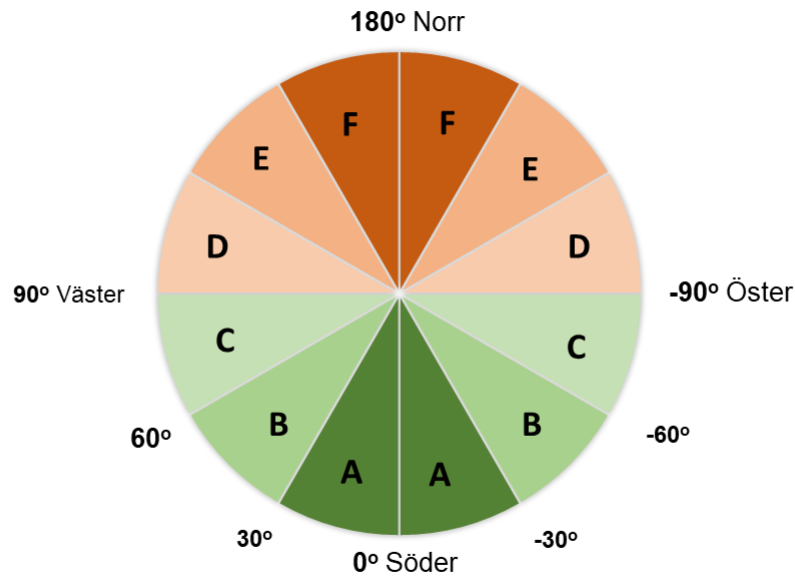


Figur 7: Tidsschema för elutrustning i hemmen, 1 motsvarar allt igång och 0 är allt avstängt.

Personlast, belysning och övriga hushållsapparater skapar en intern värmelast vilken antagits kunna tas vara på inom byggnaden till 70%. Antalet personer som bor i byggnaderna har antagits efter riktlinjerna i BEN2 (Boverket 2017).

5.2.2 Solceller

För att undersöka lämpliga tak för installation av solceller takareorna kategoriserats utgående ifrån deras azimutvinklar enligt Figur 8.



Figur 8: Uppdelning av azimutvinklar i olika kategorier mellan A-F, för att utesluta tak inom kategori D-F som ej lämpliga för en solcellsinstallation.

Tak i azimutvinklar från 90° till -90° , kategori A-C, kommer antas som möjliga för installation av solceller på Sernekes byggnader och på Tornets byggnader kommer även kategori D tas med då stor del av taken där ligger i azimutvinkel 105° .

Takareorna från Tabell 6 som hittas i Bilaga A användes i IDA ICE som maximala möjliga area vid solcellsmontage på tak.

Solcellerna har simulerats som en stor solcell med en verkningsgrad på 18%. IDA ICE gör förenklingen att det endast är den delen som skuggas som inte producerar el i stället för som i verkligheten att hela den solcellspanelen slutar producera ström. Varje enskild byggnad simulerades med maximalt utnyttjad takarea för de valda lämpliga taken för installation av solcellsmoduler.

5.3 Batterimodell

Batterimodellen är utförd i Matlab. Batterilagret i modellen laddas upp när det var en överproduktion från solcellerna jämfört med energigemenskapens energianvändning. Urladdning av batteriet sker när det finns mer energi lagrat i batteriet jämfört med vad den aktuella lasten krävde. Maximala in- och urladdningsverkningsgraden för batteriet sattes till 90%. Batteriet cyklades mellan 10-85% av dess SoC.

Ingen hänsyn har tagits till att batteriet i praktiken kommer laddas långsammare över 70-80% av SoC (Fortum uå.). När batteristatusen var mindre än det satta maximala SoC, 10%, batteriet klarar av laddades batteriet upp enligt följande ekvation om solcellsproduktionen var större än energibehovet för energilasten.

$$Batteri_{upp} = \frac{P_{batteri} - SoC}{\eta_{upp}} \quad (7)$$

Där $Batteri_{upp}$ är batteristatusen vid uppladdning, $P_{batteri}$ är effekten batteriet kan ladda upp med och η_{upp} är uppladdningsverkningsgraden.

När energibehovet för energigemenskapen var större än vad solcellerna producerar och det fanns energi i batteriet användes energi från batteriet enligt följande ekvation

$$Batteri_{ned} = SoC \cdot \eta_{urladdning} \quad (8)$$

där $Batteri_{ned}$ är batteristatusen vid urladdning och $\eta_{urladdning}$ är verkningsgraden för urladdningen.

5.4 Energifalanser

Under de tillfällen då solcellerna producerade mer än användningen var och batteriet kunde lagra såldes den producerade solelen till nätet.

$$E_{sald}(t) = E_{sol}(t) - E_{last}(t) - E_{batteri}(t)[kWh] \quad (9)$$

där E_{sald} är den överproducerade solelen, $E_{sol}(t)$ solelsproduktionen varje timme, $E_{last}(t)$ är lastens elanvändning varje timme, och $E_{batteri}(t)$ elenergin som finns tillgänglig i batteriet.

På samma sätt finns tillfällen då solelproduktionen är för låg och batterierna är urladdade, då kommer det att krävas köp av el från elnätet.

$$E_{inkopt}(t) = E_{last}(t) - E_{sol}(t) - E_{batteri}(t)[kWh] \quad (10)$$

där E_{inkopt} är den energi som behövs från nätet vid varje timme, $E_{last}(t)$ är lastens elanvändning varje timme, $E_{sol}(t)$ solelsproduktionen varje timme och $E_{batteri}(t)$ Energin som finns tillgänglig i batteriet.

5.5 Egenanvändning

För att beräkna egenanvändning (SC) och självförsörjandegrad (SS) för de olika byggnaderna och energigemenskaperna har följande ekvationer använts

$$SC = \frac{\int M_t dt}{\int (P_{L,t} + P_{B,t}) dt} [\%] \quad (11)$$

$$SS = \frac{\int M_t dt}{\int P_{PV,t} dt} [\%] \quad (12)$$

Där M_t står för den egenanvända solen, $P_{L,t}$ är lasten vid tidpunkten t och $P_{B,t}$ är den lagrade energin i batteriet och $P_{PV,t}$ är den producerade solen.

5.6 Ekonomi

Kostnaden för el består av tre delar; elpriset, elnät och elskatt. Elpriset är nordpools spotpris för elprisområde SE3 år 2021. Likaså antas elnätsavgiften motsvara den timmens spotpris (Nordpool AS 2022). Elskatten är år 2022 på 36 öre/kWh (Skatteverket 2022). Dessa tre delar bildar tillsammans den totala kostanden för elektriciteten i det här arbetet. Priset för den elektriciteten som kommer att köpas och säljas är nordpools timpriser för SE3 under år 2021 som kan ses i Figur 2. För att beräkna den årliga kostnaden för inköpt el används följande ekvation

$$k(t) = \sum E_{inkopt}(t) \cdot elpris(t) [kr] \quad (13)$$

där k_t är den totala kostnaden, E_{inkopt} är den energi som kommer krävas att köps från elnätet och $elpris(t)$ är det totala elpriset med skatter och elnätsavgift inkluderat.

På samma sätt beräknas inkomsterna för försäljning av överskottsenergin till elnätet $s(t)$ med följande ekvation

$$s(t) = \sum E_{sald}(t) \cdot elpriset(t) [kr] \quad (14)$$

I denna fallstudie används ekonomiska värden från Tabell 2 efter erfarenhet av KAMTechnology AB.

Tabell 2: Antagna investeringskostnader för solcellsanläggningar.

typ	kostnad
Solceller	15 000 [kr/kW]
Växelriktare	1 500 [kr/kW]
Batteri	7 200 [kr/kWh]

I kostnaden för solcellerna ingår hela solcellsinstallationen som solceller, montage och växelriktare. Växelriktare har en livslängd på 15 år vilket gör att det kommer krävas ett byte av växelriktare under solcellernas ekonomiska livslängd. Den ekonomiska livslängden för solceller beräknas idag vara 30 år och då ha minst 80% av ursprungliga elproduktionskapaciteten (Jäger-Waldau et al. 2020).

För att beräkna nettonuvärdet användes ekvation 4. Där den årliga nedgraderingen d , antogs till 0,5% för att vara över 80% av ursprungliga kapaciteten efter 30 år (Hemsol 2021a) Kalkylräntan antogs till 3% vilket är 1% enhet över riksbankens inflationsmål (Riksbanken 2022). För att beräkna återbetalningstiden undersöktes vilket år som NPV passerar 0 kr och investeringen därmed är återbetald.

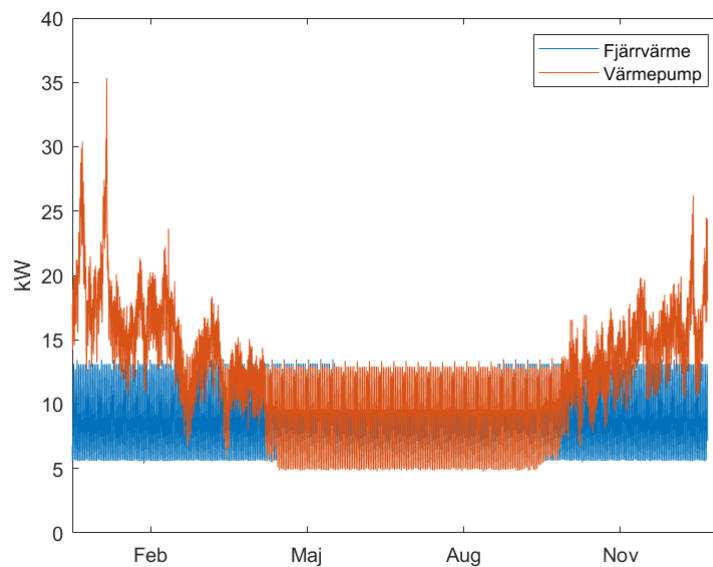
5.7 Känslighetsanalys

En känslighetsanalys genomfördes på de ekonomiska resultaten genom att förändra de ingående ekonomiska parametrarna. Tre olika känslighetsanalyser genomfördes, förändring av den totala kostnaden för elektriciteten, påverkan av installationskostnad på solceller och batteriinstallationen. Den totala kostnaden för elektriciteten har varierats med $\pm 5\%$ detta då elpriset har i slutet av 2021 som man kan se i Figur 2 varierat. För solcellsinstallationen har den totala inköpspriset varierats med -20%. För batteriinstallationen har investeringen minskats med -20% och -50% för att se dess påverkan på återbetalningstiderna.

6 Resultat

Nedan följer resultatet från simuleringar för de enskilda byggnaderna under år 2021 utan batteri. Efter det presenteras energigemenskapen med och utan batterier.

Lastmönstret för byggnaderna följer två olika profiler beroende på uppvärmningsmetod. Byggnader med fjärrvärme har ett jämnt mönster över året medan byggnader som värms med värmepump har tydliga toppar på vintern. De två olika lastprofilerna redovisas i Figur 9. De olika byggnaderna med samma uppvärmningsmetod har olika behov och detta är endast schematiska profilerna.



Figur 9: Lastmönster över året för byggnader uppvärmda med fjärrvärme och värmepump. Serneke hus 2 representerar här mönstret för fjärrvärmeuppvärmda byggnader och Tornet hus 2 representerar lastmönstret för byggnaderna uppvärmda med värmepump.

6.1 Solelsproduktion

Solcellsinstallationerna baseras på maximal takarea inom kategori A-C enligt Figur 8. Sammanställning av dessa takareor visas i Tabell 3. Sammanställning av lutningar och azimutvinklar för samtliga tak se Bilaga A. Då flera av taken på Tornets byggnader är inom kategori D med en azimutvinkel på 105° togs dessa med som lämpliga tak för solceller. För Sernekes två byggnader är kategori A-C antagna som lämpliga tak.

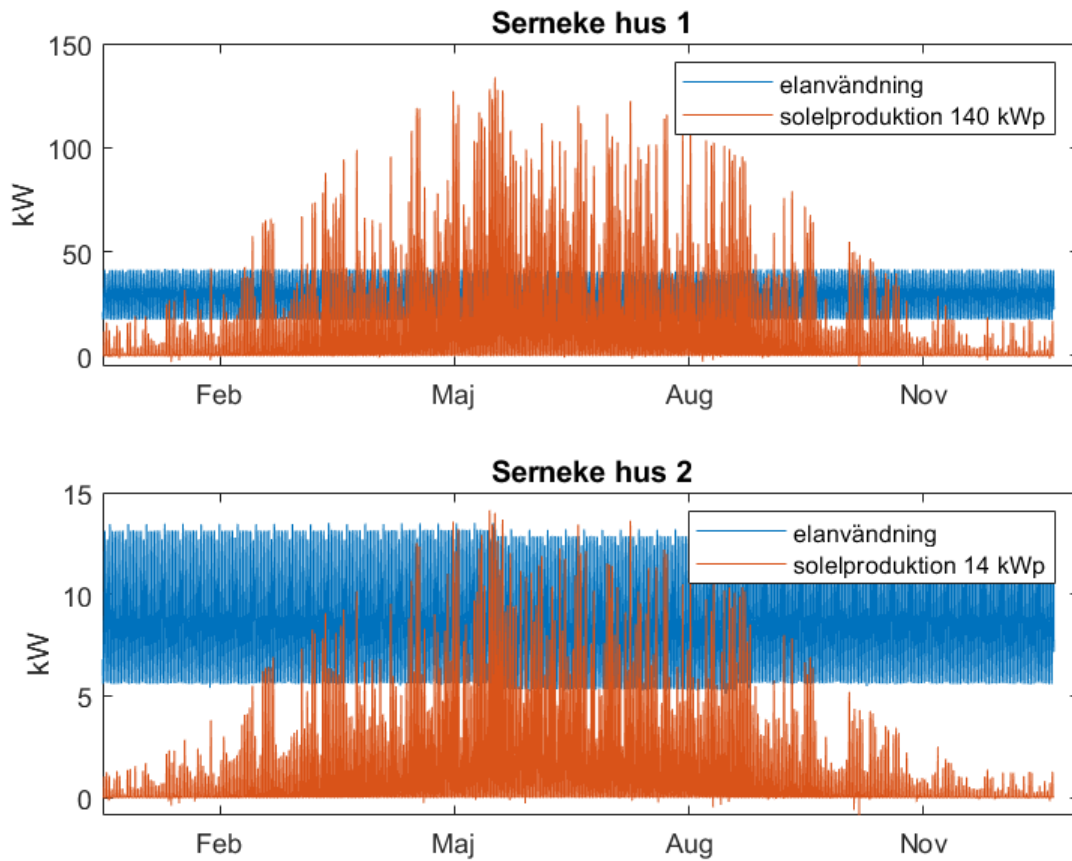
Tabell 3: Totala storleken på lämplig takarea vid takinstallation.

Byggnad	Takarea [m^2]
Serneke	
Hus 1	980
Hus 2	310
Tornet	
Hus 1	1020
Hus 2	170
Hus 3	270
Hus 4	750
Hus 5	570

Nedan följer resultat av simuleringar med maximalt utnyttjade takareor som antagits lämpade för de enskilda byggnaderna var för sig. Under rubrik 6.4 presenteras resultatet för egenanvändning och självförsörjandegrad för samtliga byggnader.

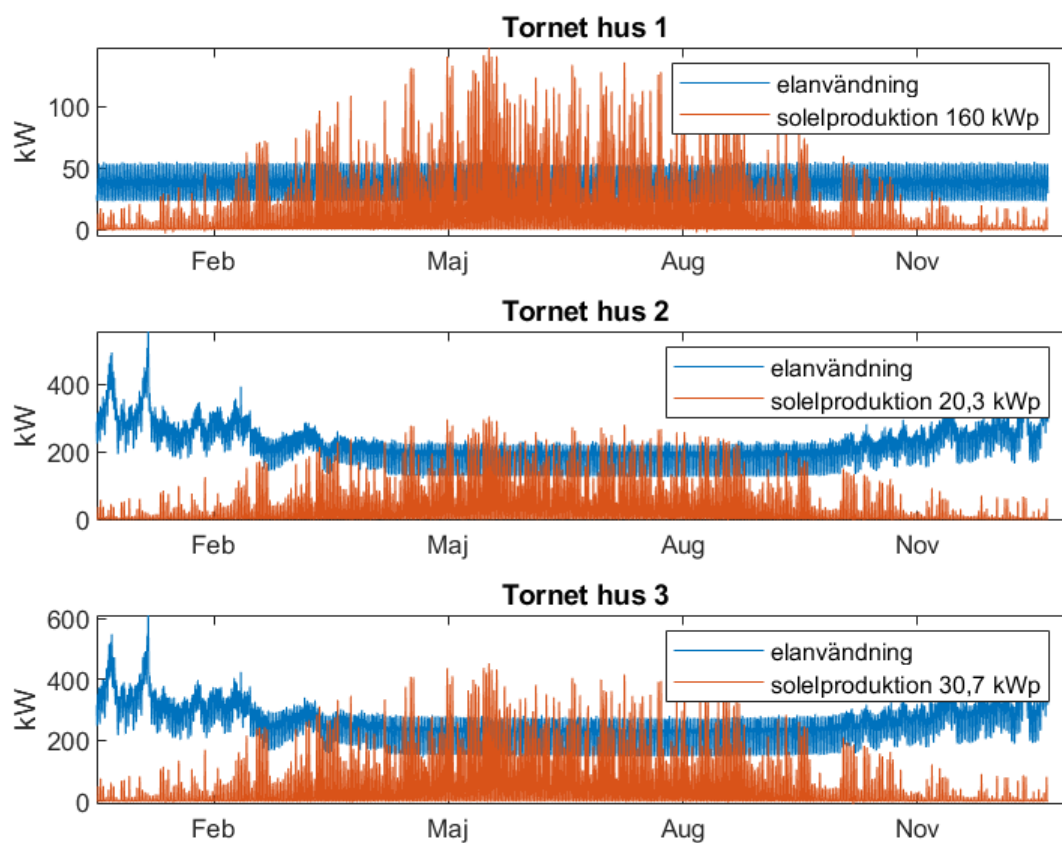
För att verifiera att solcellsberäkningarna är korrekta har resultaten verifierats med hjälp av solkarta framtagen av Örebro kommun (2022a). Solkartan fungerar genom att flertalet tak i Örebro tätort har bedömts utefter lutning och azimutvinkel för att bedöma vilken solcellsproduktion aktuellt tak kan producera. Då byggnaderna inom Tamarinden inte är byggda baseras verifieringen på närliggande bostadshus med liknande tak- och azimutvinkel, för att bedöma om de simulerade värdena på elproduktion från solcellerna är rimliga. Verifieringen tyder på att resultaten från simuleringen är inom rimliga värden för vad solceller installerade i Örebro bör producera på ett generellt år.

För Sernekes två byggnader förhåller sig lasten och solelproduktionen enligt Figur 10 till varandra.

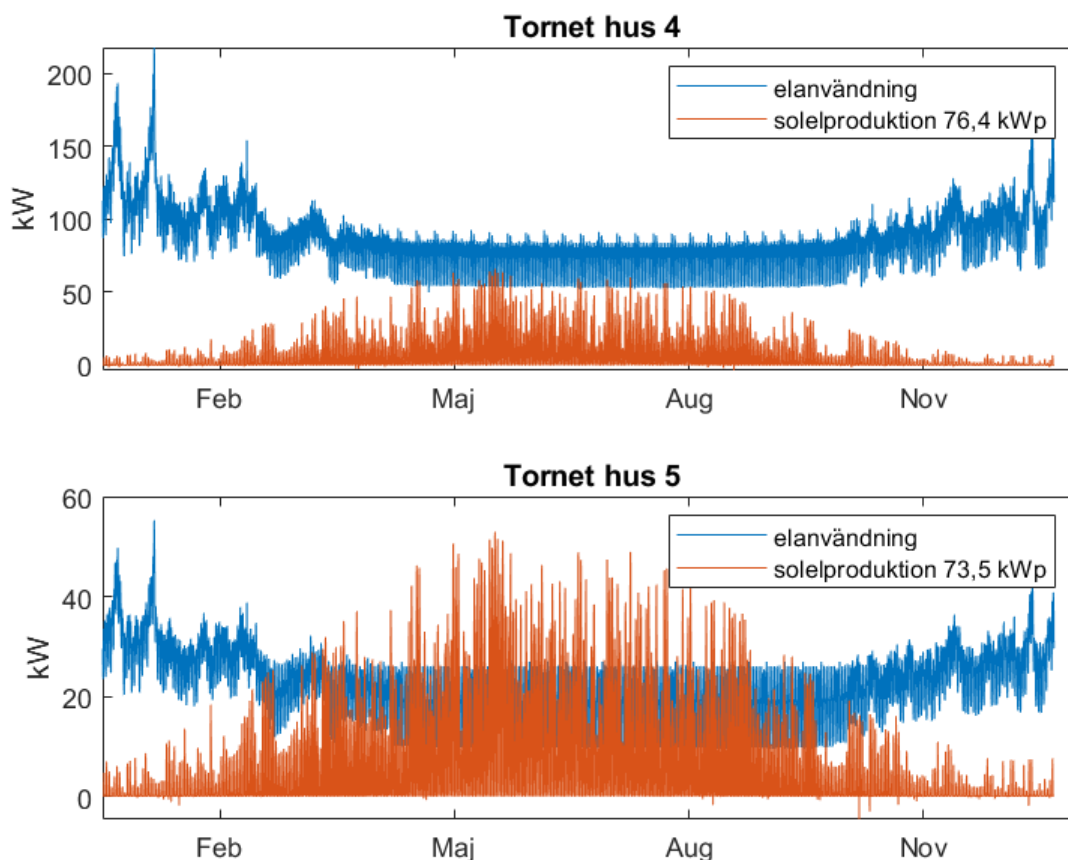


Figur 10: Två byggnader från Serneke uppvärmda med fjärrvärme och en solcellsanläggning placerade på tillgänglig takyta på de båda byggnaderna.

För byggnaderna ägda av Tornet kommer lastprofil och solelproduktion förhålla sig till varandra enligt Figur 11 och 12.



Figur 11: Hur maximalt med solceller på taket för tornet hus 1-3 och elanvändningen i motsvarande byggnad kommer förhålla sig till varandra med produktion och konsumtion.

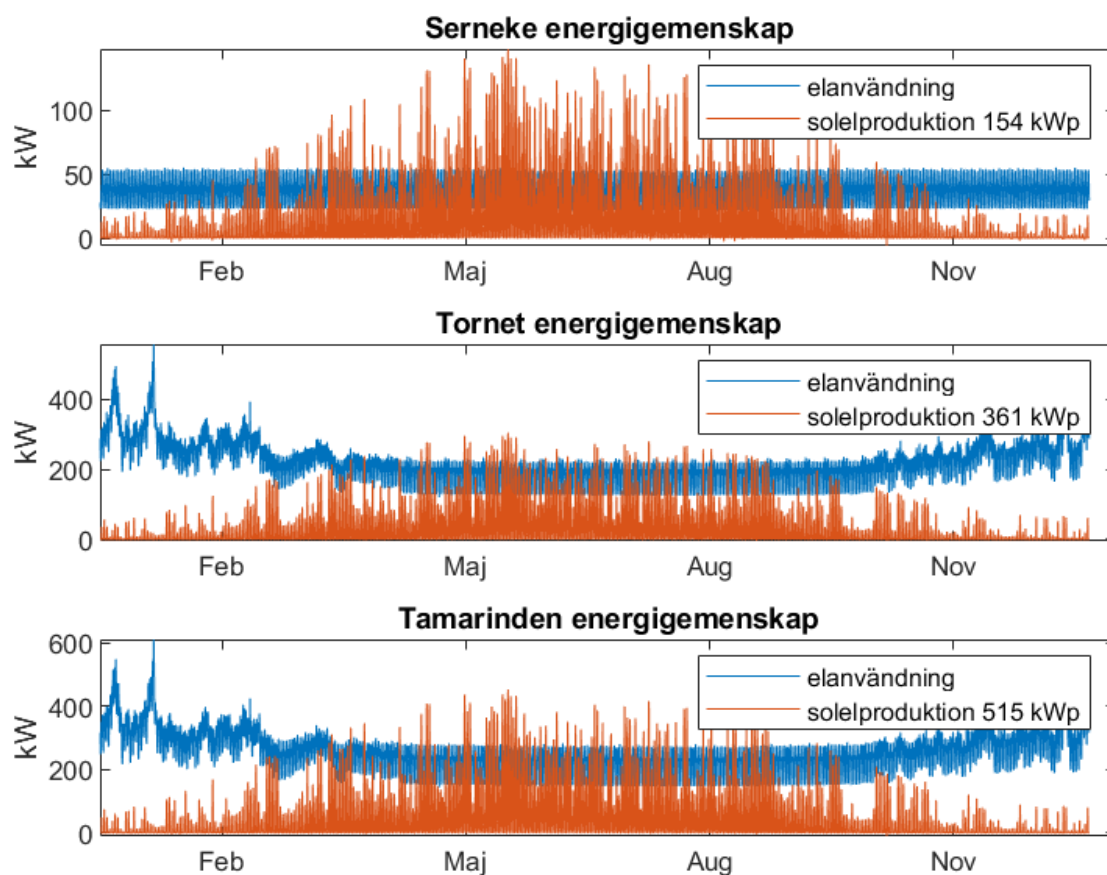


Figur 12: Maximalt med solceller på taket för tornet hus 4 och 5 och motsvarande elanvändning i motsvarande byggnad.

6.2 Energigemenskap

Tre fall med energigemenskaper utan batterier har simulerats, en för vardera fastighetsägare och en totalt för de sju byggnaderna. Energigemenskapen för Serneke består av två byggnader där alla är uppvärmda med fjärrvärme. Tornets energigemenskap består av fem byggnader uppvärmda med värmepump. Den stora energigemenskapen för de sju byggnaderna är därmed uppvärmd både med fjärrvärme och värmepump. På samma sätt har sedan energigemenskaperna simulerats med ett tillhörande batteri i olika storlekar för att öka egenanvändningen av solelen.

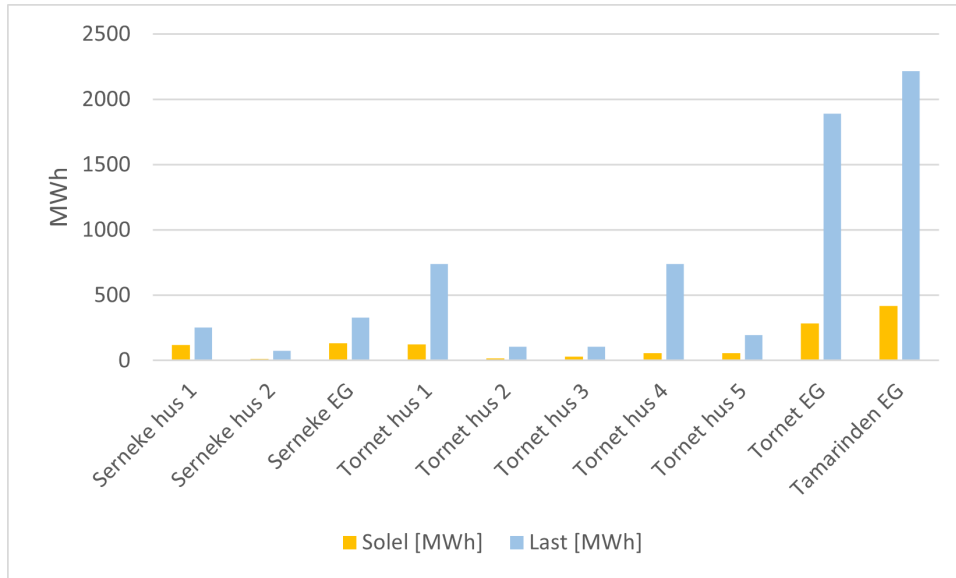
Vid skapande av tre olika energigemenskaper förhåller sig lasten och solelproduktionen sig till varandra enligt Figur 13 under året.



Figur 13: Jämförelse av lastmönster och solelproduktion för de olika skapade energigemenskaperna.

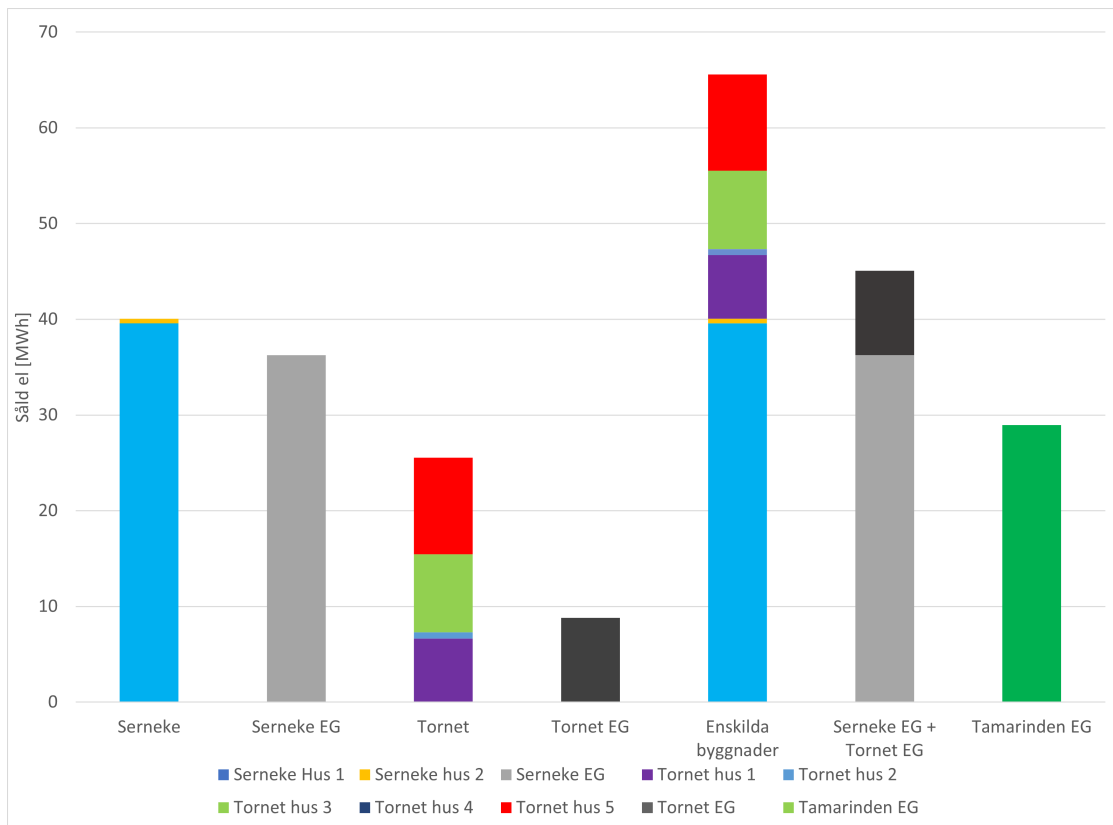
6.3 Energibalanser

Vid summering av den årliga solelproduktionen och lasten för de olika enskilda byggnaderna och lasterna blir den totala energibalansen enligt Figur 14.



Figur 14: Årlig summering av använd elektrisk energi för enskild byggnad eller energigemenskap och producerad solet på motsvarande tak.

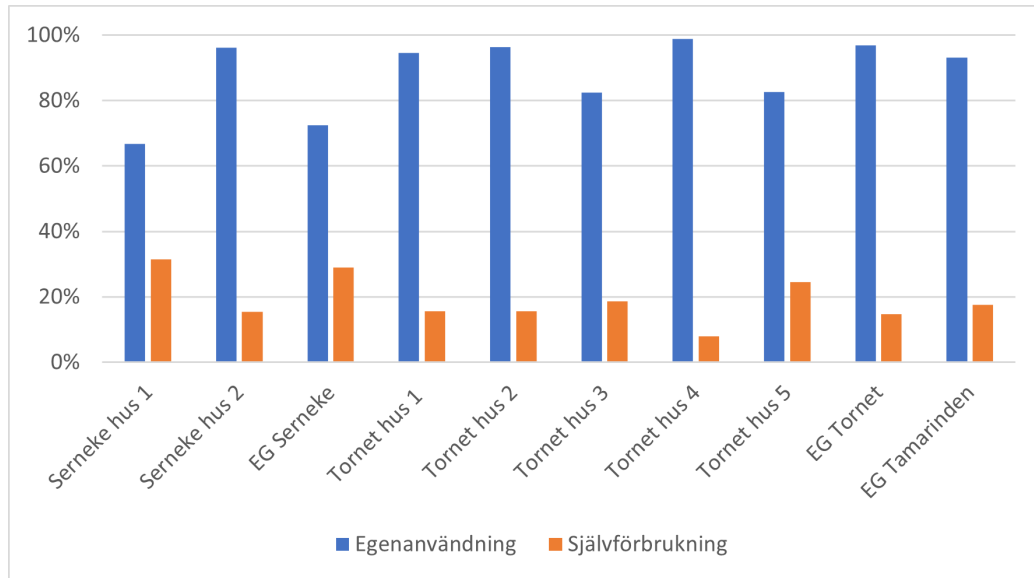
All energi som inte kommer byggnaden eller energigemenskapen till nytta säljs till elnätet enligt Figur 15.



Figur 15: Årligen såld solet från varje enskild byggnad och energigemenskap utan batterier.

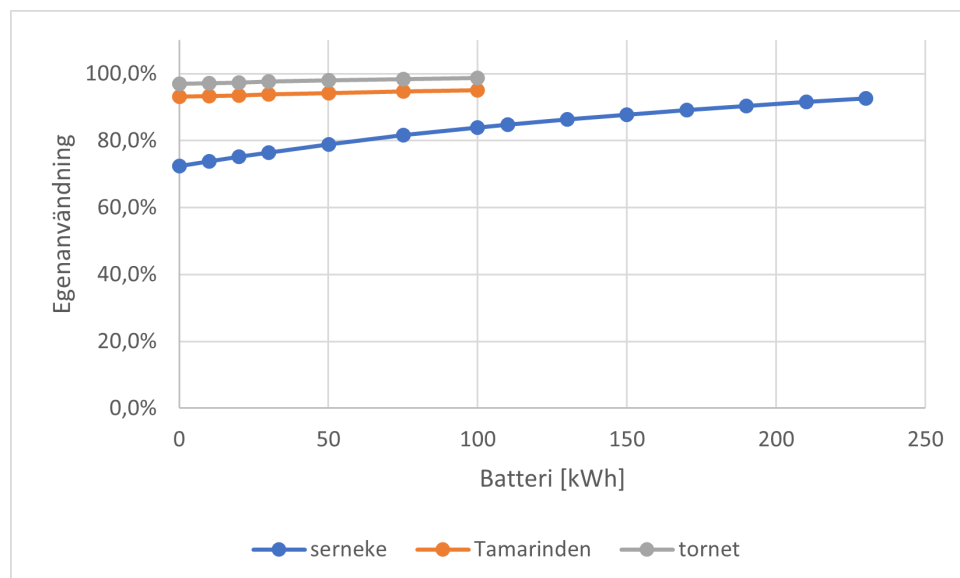
6.4 Egenanvändning

Egenanvändning och självförsörjandegrad är beräknat med ekvation 1 och 2 för de olika enskilda byggnaderna och i de tre olika energigemenskaperna. Resultatet för egenanvändning och självförsörjandegrad kan ses i Figur 16.



Figur 16: Egenanvändning för de olika byggnaderna och energigemenskaperna, EG.

Då egenanvändningen är hög har inga batteriinstallationer adderats till de enskilda byggnaderna utan endast till energigemenskaperna. Vid adderande av batterier till de tre olika energigemenskaperna kommer egenanvändningen se ut enligt Figur 17.



Figur 17: Egenanvändningen för de tre olika energigemenskaperna med olika batteriinstallationer.

För de tre energigemenskaperna har 2 olika batteristorlekar, 50 kWh och 100 kWh valts för att bedöma den ekonomiska lönsamheten med att installera ett batterilager.

6.5 Ekonomi

Resultatet för de ekonomiska beräkningarna redovisas nedan och därefter en känslighetsanalys baserad på de parametrar som antagits ha störst påverkan på det ekonomiska resultatet. Nuvärde är beräknat med ekvation 4, med en livslängd på 30 år för solcellsanläggningen och ett byte av växelriktare efter 15 år.

Nettonuvärdet och återbetalningstid för de enskilda byggnaderna redovisas i Tabell 4.

Tabell 4: Nettonuvärde och återbetalningstider för de sju olika ingående byggnaderna utan batteriinstallation och utan energigemenskap.

Byggnad	Solceller [kWp]	NPV [kkr]	Återbetalningstid [år]
Serneke hus 1	140,0	1 100	17
Serneke hus 2	14	130	16
Tornet hus 1	160,0	930	19
Tornet hus 2	20,3	150	19
Tornet hus 3	30,7	390	12
Tornet hus 4	76,4	420	20
Tornet hus 5	73,5	440	19

Vid installation av maximal installerad solcellseffekt på taket för samtliga byggnader inom angivna energigemenskaper. Både med och utan en batteriinstallation på 50 kWh eller 100 kWh kan ses i Tabell 5.

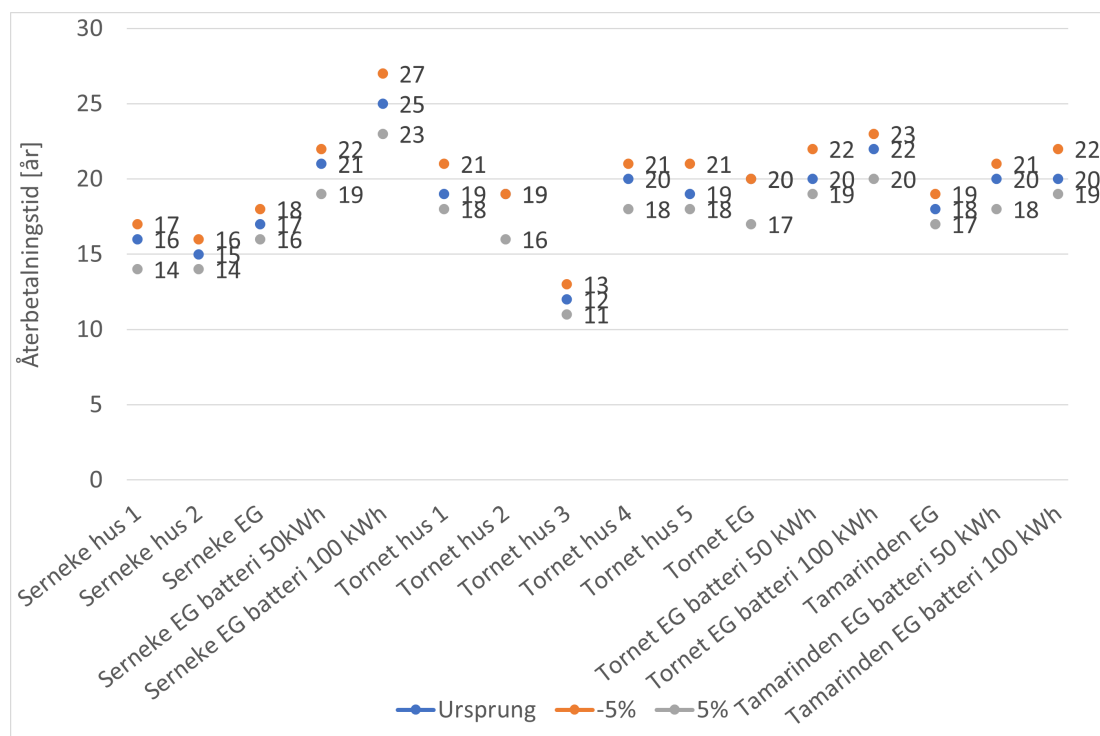
Tabell 5: Ekonomiska värden för de olika energigemenskaperna med och utan batteriinstallation.

Energigemenskap	Solceller [kWp]	Batteri [kWh]	NPV [kkr]	Återbetalningstid [år]
Serneke EG	154	0	1 410	17
Serneke EG	154	50	810	21
Serneke EG	154	100	400	25
Tornet EG	360	0	2 360	20
Tornet EG	360	50	1 980	20
Tornet EG	360	100	1 610	22
Tamarinden EG	515	0	3 570	18
Tamarinden EG	515	50	2 810	20
Tamarinden EG	515	100	2 790	20

6.5.1 Känslighetsanalys

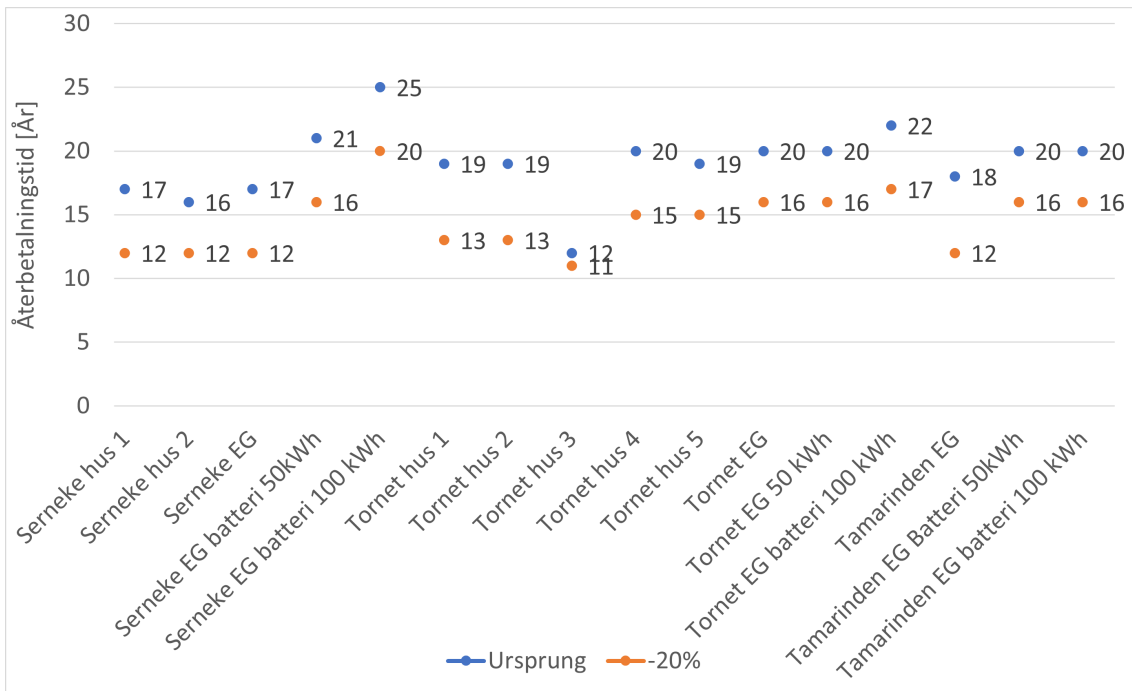
De ekonomiska beräkningarna är alla osäkra parametrar då det är under ett långt tidsperspektiv och stabila marknader, de har därför testats genom känslighetsanalyser. Tre olika parametrar i form av kostnaden för solcellsinstallationen, batteriinstallationen och elprisets påverkan på återbetalningstiden och nettonuvärde. Resultatet av förändringar på dessa tre parametrar redovisas nedan.

Vid förändrade elpriser med $\pm 5\%$ förändras återbetalningstiderna för systemet enligt Figur 18.



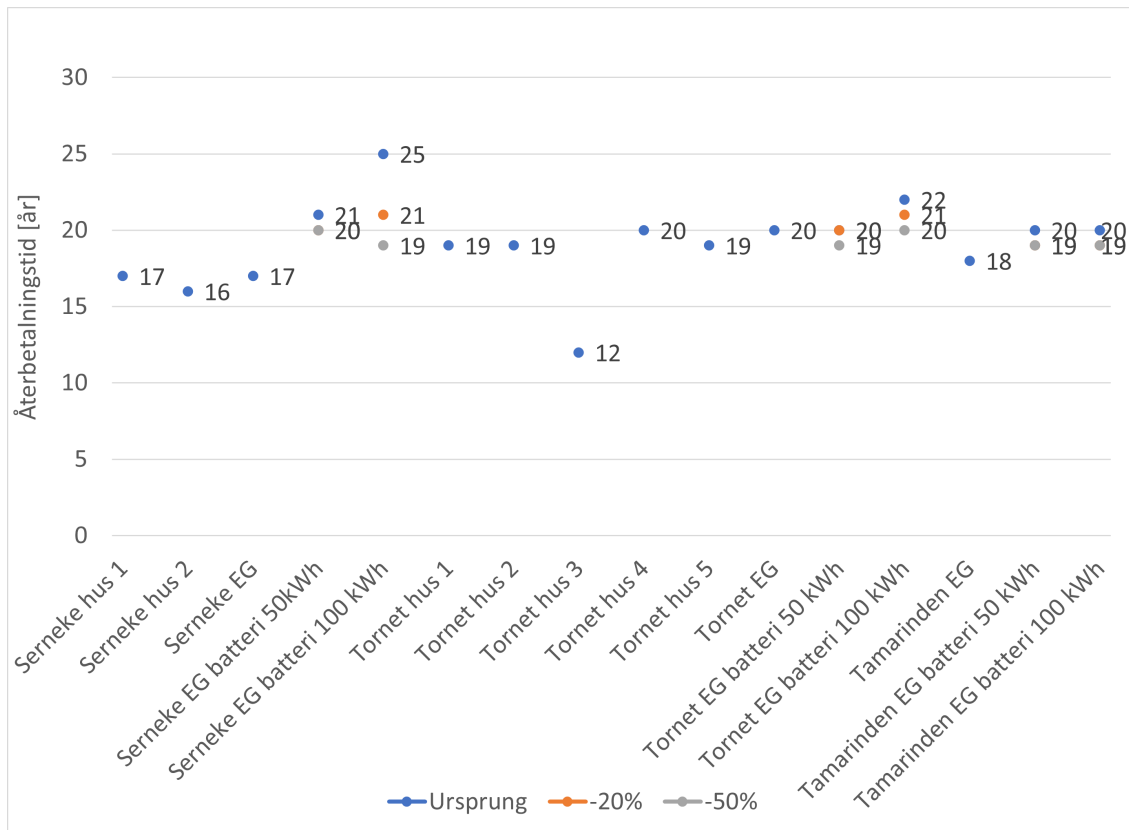
Figur 18: Vid en förändring på $\pm 5\%$ av det totala elpriset för de enskilda byggnader och energiegenskaperna. Observera att några punkter ligger över varandra.

Det ursprungliga beräknade kostnaden för solcellsinstallationen var 15 000 kr. Vid en minskad kostnad på solcellsinstallationen med -20% till 12 000 kr förhåller sig återbetalningstiderna för systemet enligt Figur 19.



Figur 19: Återbetalningstider efter känslighetsanalys med minskade kostnader för inköp av solcellssystem. För energigemenskaperna visas även systemlösningar med batterier på 50 och 100 kWh. Observera att några punkter ligger över varandra.

Vid sänkta batterikostnader med -20% och -50% kommer återbetalningstiderna förhålla sig till varandra enligt Figur 20.



Figur 20: Känslighetsanalys med minskade inköspriser på batterier med -20% och -50%, observera att flera av punkterna ligger över varandra med samma återbetalningstid. Resultatet visar att samtliga återbetalningstider förlängs vid införandet av batterier för energigemenskaperna jämfört med utan batterier.

7 Diskussion

I de två olika fallen med olika uppvärmningsmetoder för byggnaderna med fjärrvärme och värmepump skiljer sig lastmönstret åt under vintern. Då solcellerna producerar framför allt under sommarhalvåret mellan april - september spelar detta däremot mindre roll på hur egenanvändningen av solel ser ut. Det som spelar in på egenanvändningen är mer att det för byggnaderna med värmepump även ska värmas tappvarmvatten för hushållen. Vilket leder till högre elanvändning och därmed krävs en högre solelproduktion för att matcha behovet.

Byggnaderna uppvärmda med värmepump har en mindre överproduktion av solel om det jämförs med Sernekes två byggnaders energigemenskap som har en högre andel överproduktion som kan ses i Figur 13. Egenanvändningen för Tornets fem byggnader med värmepump är mellan 82,5-100% utan en batteriinstallation och maximalt utnyttjande av takyta. För Tornets byggnader erhålls en överproduktion av solel på fyra av fem byggnader vilket Figur 11 och 12 visar. När det skapas en energigemenskap för dessa fem byggnader erhålls en egenanvändning på 96,9%. Detta visar att energin från de byggnader med överproduktion kommer till nytta för andra byggnader inom den aktuella energigemenskapen. Det medför att energigemenskapen bildar ett mervärde för dessa byggnader jämfört med att sälja elen till elnätet.

För byggnaderna med fjärrvärme sker en överproduktion av solel på den ena av byggnaderna och på den andra är produktion och lastens storlek inom liknande nivåer. Egenanvändningen för dessa två byggnader enskilda är 66,7% och 96,2%. Vid skapande av en energigemenskap med dessa två byggnader landar egenanvändningen på 72,5% vilket visar på att fler laster kan anslutas till energigemenskapen då det finns mer solel att ta vara på lokalt. Men det är till nytta energimässigt att införa en energigemenskap även för dessa två byggnader då egenanvändningen stiger jämfört med den lägsta egenanvändningen bland dessa byggnader. Därmed ökar egenanvändningen för samtliga byggnader vid införandet av en energigemenskap.

Vid införande av en energigemenskap för samtliga sju byggnader, Tamarinden energigemenskap, landar egenanvändningen på 93,1%. Vilket kan jämföras med den tidigare lägsta egenanvändningen för en enskild byggnad inom området som var Serneke hus 1 med en egenanvändning på 66,7%. Detta visar att solelen som producerats på Serneke hus 1 kommer till nytta inom området och även kan avlasta elnätet.

I Figur 15 kan man se att den totala mängden energi som kommer säljas minskar för det totala området med införande av den stora energigemenskapen Tamarinden. För Tornets del är det en större minskning på såld energi än vad det är för Sernekes del och deras fjärrvärmeuppvärmda byggnader. Dock är det en minskning på såld energi för även de energigemenskaperna för respektive fastighetsägare, vilket visar på att energimässigt gynnas båda fastighetsägarna av medverkan i energigemenskapen och att dessa två fastighetsägare gynnas av att kunna vara med i en energigemenskap oavsett uppvärmningsmetod. Den sålda elen minskar med över 50% vilket gör att elnätet lokalt även kommer avlastas vilket gör att solcellssystemet bidrar med en större samhällsnytta genom att avlasta elnätet vid införandet av en energigemenskap.

Vid införandet av batterier anses det för Sernekes del anses inte egenanvändningen stiga tillräckligt för att ett större batteri än 100 kWh skulle gynna ekonomiskt. För Tornet och Tamarinden där kurvorna i Figur 17 är planare har 100 kWh motiverats med att det då är möjligt att vara en del av SVK stödtjänster och på så sätt addera en nytta till batteriet och fler inkomstkällor.

För Tamarinden och Tornets del är skillnaden i egenanvändning mellan 0 kWh batteri och 100 kWh batteri inte stor. Dock finns här möjligheten att vara med på stödtjänst marknaden och därför kommer 100 kWh batteri bedömmas i den ekonomiska analysen.

De ekonomiska förutsättningarna ser olika ut för de olika enskilda byggnaderna och för energigemenskaperna. För samtliga energigemenskaper är det inte ekonomiskt fördelaktigt att installera batterier vilket redovisas i Figur 19. Där syns att alla återbetalningstiderna vid adderande av både 50 kWh och 100 kWh batterier blir längre jämfört med utan batterier och då har ingen hänsyn tagits till livslängd på batterier. Mycket av detta beror av att inkomsterna från försäljning av överskottsel tidigare har bidragit med en inkomst medan den lagrade elen inte ger någon inkomst utan endast en besparing av el och energiförluster vid lagring vilken med batterier blir nästan noll.

För en energigemenskap med bara Sernekes två byggnader uppvärmda med fjärrvärme kommer återbetalningstiden bli kortare vid införande av en energigemenskap. Känslighetsanalysen visar även att återbetalningstiden blir kortare vid minskade investeringskostnader för solcellerna.

Om endast återbetalningstider ska analyseras är det mest fördelaktigt för Tornet att gå med i en energigemenskap med alla sju byggnader från båda fastighetsägarna vilket kan ses i Figur 19. Detta då en energigemenskapen med sju byggnader, Tamarinden, har en återbetalningstid på 18 år jämfört med att medianen för Tornets byggnader som är 19 år. För Sernekes del är det inte lika fördelaktigt med avseende på återbetalningstid att vara med i Tamarindens energigemenskap då återbetalningstiden för Serneke är mellan 16-17 år och för Tamarinden 18 år.

Den parameter som efter känslighetsanalyserna visat på att bidra mest till återbetalningstiden är kostnaden för solcellsinstallationen och kostnaden för elektricitet. Kostnaden för elektricitet har en stor påverkan redan vid en förändring på 5% som visas i Figur 18. Vid högre kostnader för elektricitet gynnas en installation av solceller ekonomiskt trots att även den kommer få köpa in dyrare el vid underskott av solet jämfört med behovet.

Att installera batterier och endast använda de till energilagring till en senare tidpunkt inom energigemenskapen har fortsatt långa återbetalningstider även med minskade priser på batterier med upp till -50% som kan ses i Figur 20. Vilket gör att utifrån en ekonomisk aspekt bidrar inte batterier till någon ytterligare ekonomisk lönsamhet i en energigemenskap. Utan det krävs att andra nyttor kan inkluderas som exempelvis agera stödtjänst till Svenska kraftnät. Vid aggerande av stödtjänst kommer även batterierna bidra till en samhällsnytta då belastningen på elnätet kan minska.

7.1 Felkällor

Solcellerna som är simulerade med IDA ICE är simulerade som en stor solcell vilket gör att skuggning av celler inte kommer ske på ett korrekt sätt. Detta kan leda till att en högre solelproduktion anges. Detta har försökts minimeras genom att endast använda sig av 18% verkningsgrad vilket för nya solceller på marknaden idag är lågt (Hemsol 2021b).

Den energi som förflyttas mellan olika fastighetsägare har i denna studie antagits vara gratis och skattebefriad vilket den i verkligheten inte är vilket gör att den ekonomiska analysen blir överskattad.

7.2 Framtida arbete

Då det inte blir ekonomiskt lönsamt att installera batterier i detta arbete bör vidare studier fokusera på hur batterier kan användas under en större del av året och på så sätt ha fler inkomstkällor. Att undersöka hur batterier kan användas till att minska effekttoppar för att vara en stödtjänst till Svenska kraftnät framförallt under vinterhalvåret. Detta för att öka nyttorna ett batteri kan utföra och på så sätt öka inkomsterna och den ekonomiska lönsamheten med en batteriinstallation kan öka.

8 Slutsats

Den totala egenanvändningen stiger till 93% för de undersökta byggnaderna med införandet av energigemenskaper vilket kan jämföras med egenanvändningar mellan 67 - 100% för de enskilda byggnaderna. Den halverade mängden såld energi från de sju byggnaderna i en gemensam energigemenskap visar tydligt att egenanvändningen stiger vid införandet av en energigemenskap. Detta gäller för både små och stora energigemenskaper med mer variation av uppvärmning och utnyttjande av lokaler.

Energimässigt är förutsättningarna i fallstudien mer gynnsamma för byggnaderna uppvärmda med fjärrvärme än de uppvärmda med värmepump. Detta förklaras av att de har en större överproduktion av solel och därmed hade behövt sälja mer el till nätet om de inte var anslutna till energigemenskapen. För byggnaderna uppvärmda med en värmepump gäller det omvända, att de behöver köpa in mindre el från nätet när de tillhör en energigemenskap.

Ekonomiskt blir nettonuvärdet för byggnaderna uppvärmda med fjärrvärme högre genom att ansluta sig till en liten energigemenskap bara de två byggnaderna. Detta jämfört med att installera maximalt med solceller på sina egna tak och sälja överskottet till elnätet. Detsamma gäller för de fem byggnaderna uppvärmda med värmepump, de gynnas ekonomiskt att använda energin lokalt jämfört med att sälja till elnätet. I det här fallet är det inte ekonomiskt lönsamt för någon av energigemenskaperna att installera batterier.

Referenser

- Axell, Monica (2021). *Energigemenskaper kan ge energibesparingar på 30 procent*. URL: <https://www.ri.se/sv/press/energigemenskaper-kan-ge-energibesparingar-pa-30-procent> (hämtad 2022-02-18).
- Barbón, A et al. (2022). "Analysis of the tilt and azimuth angles of photovoltaic systems in non-ideal positions for urban applications". I: *Applied Energy* 305, s. 117802.
- Battke, Benedikt et al. (2013). "A review and probabilistic model of lifecycle costs of stationary batteries in multiple applications". I: *Renewable and Sustainable Energy Reviews* 25, s. 240–250.
- Bloomberg, New Energy Finance (2021). *New Energy Outlook 2021-Executive Summary*.
- Boverket (2017). *BFS 2017:6, BEN 2*. URL: <https://rinfo.boverket.se/BEN/PDF/BFS2017-6-BEN-2.pdf> (hämtad 2022-03-30).
- (2020). *BFS 2020:4, BBR 29*. URL: <https://rinfo.boverket.se/BBR/PDF/BFS2020-4-BBR-29.pdf> (hämtad 2022-03-31).
- Chen, XM et al. (2018). "General method to obtain recommended tilt and azimuth angles for photovoltaic systems worldwide". I: *Solar Energy* 172, s. 46–57.
- Emilsson, E. och L. Dahllöf (2019). "Lithium-Ion vehicle battery production". I: *IVL Swedish Environmental Research Institute: Stockholm, Sweden*.
- Energimarknadsinspektionen (u.å.). *Efterfrågefleksibilitet en outnyttjad resurs i kraftnätet*. URL: <https://www.ei.se/download/18.d4c49f01764cbd606218b3b/1617109641860/Efterfragefleksibilitet-en-outnyttjad-resurs-broschyr.pdf> (hämtad 2022-02-02).
- Energimyndigheten (2021). *Lokala satsningar på energigemenskaper kan ge nya insikter för framtidens energiomställning*. URL: <https://www.energimyndigheten.se/nyhetsarkiv/2021/lokala-satsningar-pa-energigemenskaper-kan-ge-nya-insikter-for-framtidens-energiomstallning/> (hämtad 2022-02-02).
- EQUA Simulation AB (2020). *PV modelling with IDA ICE*. URL: http://www.equaonline.com/iceuser/pdf/PV_Getting_Started_Guide.pdf (hämtad 2022-03-04).
- Europaparlamentet (2018). *Förnybartdirektivet, Skäl 70*. URL: <https://eur-lex.europa.eu/legal-content/SV/TXT/PDF/?uri=CELEX:32018L2001&from=SV>.
- Fastighetsnätverket (2022). *Så kan du dela el i lokala nät*. URL: <https://www.fastighetsagarna.se/aktuellt/webbinarier/sa-kan-du-dela-el-i-lokala-nat/> (hämtad 2022-03-14).
- Fortum (u.å.). *Litiumjonbatterier*. URL: <https://www.fortum.se/foretag/atervinning-och->

- avfall/atervinningstjanster-och-produkter/litiumjonbatterier (hämtad 2022-02-07).
- Fortum (u.å.). *Snabbladdning och varierande temperaturer*. URL: <https://www.fortum.se/snabbladdning-och-varierande-temperaturer> (hämtad 2022-04-13).
- Fujita, Toyohisa et al. (2021). "Reduction, reuse and recycle of spent Li-ion batteries for automobiles: A review". I: *International Journal of Minerals, Metallurgy and Materials* 28.2, s. 179–192.
- Hemsol (2021a). *Livslängd på solceller*. URL: <https://hemsol.se/vanliga-fragor/livslangd-solceller/> (hämtad 2022-05-25).
- (2021b). *Verkningsgrad för solceller*. URL: <https://hemsol.se/vanliga-fragor/verkningsgrad-solceller/> (hämtad 2022-05-11).
- Jäger-Waldau, Arnulf et al. (2020). "Self-consumption of electricity produced with photovoltaic systems in apartment buildings - Update of the situation in various IEA PVPS countries". I: *2020 47th IEEE Photovoltaic Specialists Conference (PVSC)*, s. 0938–0950. DOI: 10.1109/PVSC45281.2020.9300442.
- Long, Chao et al. (2018). "Peer-to-peer energy sharing through a two-stage aggregated battery control in a community Microgrid". I: *Applied energy* 226, s. 261–276.
- Melin, Hans Eric (2019). "Forskningsöversikt om återvinning och återbruk av litiumjonbatterier". I: *Circular Energy Storage, Swedish Energy Agency: Eskilstuna, Sweden*.
- Mälardalens universitet (2022). *Ökad livslängd ger ökade miljövinster*. URL: https://www.mdu.se/artiklar/2021/mars/okad-livslangd-pa-batterier-ger-okade-miljovinster?utm_medium=content+display&utm_source=strossle&utm_campaign=antagning_2022&utm_content=elbilsbatterier&utm_term=1x1&utm_lead=think&scclid=eyJjb250ZW50X2lkIjoyNzk0Mzk2MSwid2lkZ2V0X2lkIjoid2lkZ2V0LTVjMTBkOGZhODYxMGIifQ (hämtad 2022-03-07).
- Nordpool AS (2022). *Historical Market Data*. URL: <https://www.nordpoolgroup.com/historical-market-data/> (hämtad 2022-02-18).
- Northvolt AB (u.å.). *Belive in resurrection*. URL: <https://northvolt.com/products/revolt> (hämtad 2022-02-07).
- Nyholm, Emil (2016). *The role of Swedish single-family dwellings in the electricity system*. Chalmers Tekniska Högskola (Sweden).
- Nylén, Per-Olof (2011). "Möjligheter och hinder för laststyrning: Fokus på privatkunder med eluppvärmning". I: *Stockholm: Elforsk* 11, s. 70.
- Papapetrou, Michael och George Kosmadakis (2022). "Resource, environmental, and economic aspects of SGHE". I: *Salinity Gradient Heat Engines*. Elsevier, s. 319–353.

- Power Circle (2020). *Batterier i elnätet, Kortrapport från Power circle*. URL: <https://powercircle.org/wp-content/uploads/2020/06/batterilager.pdf> (hämtad 2022-02-09).
- Riksbanken (2022). *Inflationsmål*. URL: <https://www.riksbank.se/sv/penningpolitik/inflationsmalet/inflationen-just-nu/> (hämtad 2022-06-01).
- Rise research institute of Sweden (2021). *Återvunna batterier öppnar för industriell tillväxt*. URL: <https://www.ri.se/sv/berattelser/atervunna-batterier-oppnar-for-industriell-tillvaxt> (hämtad 2022-02-07).
- Rocky mountains Institute (2015). *The economics of battery energy storage*. URL: <https://rmi.org/wp-content/uploads/2017/03/RMI-TheEconomicsOfBatteryEnergyStorage-FullReport-FINAL.pdf> (hämtad 2022-02-04).
- Serhan, Hany A och Emad M Ahmed (2018). "Effect of the different charging techniques on battery life-time". I: *2018 International Conference on Innovative Trends in Computer Engineering (ITCE)*. IEEE, s. 421–426.
- Skatteverket (2022). *Skatt på el*. URL: <https://skatteverket.se/foretag/skatterochavdrag/punktskatter/energiskatter/skattpael.4.15532c7b1442f256bae5e4c.html> (hämtad 2022-05-09).
- SMHI (2021). *Nya klimatdatafiler för beräkning av byggnaders energiprestanda*. URL: <https://www.smhi.se/professionella-tjanster/professionella-tjanster/fastighet/nya-klimatdatafiler-for-berakning-av-byggnaders-energiprestanda-1.85028> (hämtad 2022-03-27).
- Solcellskollen (2021). *Dags att lagra din solel? Här är det du behöver veta om batterier*. URL: <https://www.solcellskollen.se/blogg/dags-att-lagra-din-solel-har-ar-det-du-behoover-veta-om-batterier> (hämtad 2022-03-22).
- Svensk författningssamling (2021:976). "Förordning om ändring i förordningen (2007:215) om undantag från kravet på nätkoncession enligt ellagen (1997:857)". I.
- Svenska kraftnät (2020). "Analys av prisutveckling på FCR-marknaderna". I: 2020/47. URL: <https://www.svk.se/siteassets/4.aktorsportalen/systemdrift-elmaknad/information-om-stodtjanster/analys-av-prisutveckling-pa-fcr-marknaderna> (hämtad 2022-02-03).
- (2021a). *Stödtjänster en möjliggörare för förnybar elproduktion*. URL: <https://www.svk.se/press-och-nyheter/nyheter/allmanna-nyheter/2021/stodtjanster-en-mojliggorare-for-fornybar-elproduktion/> (hämtad 2022-02-02).
- (2021b). *Vägledning för att leverera stödtjänster*. URL: <https://www.svk.se/aktorsportalen/systemdrift-elmaknad/information-om-stodtjanster/> (hämtad 2022-01-27).

- Westerberg, Amelia Oller och Ulrika Gustavsson (2021). "Lokala lågspänningsnät i Sverige". I: URL:
<http://media.becquerelSweden.se/2021/10/Regelverksfra%CC%8Aga-n-kring-lokala-la%CC%8Ags%CC%8Anningsna%CC%88t.pdf> (hämtad 2022-02-02).
- Wolf, Anna, Claes Sandels och Mahmoud Shepero (2020). *Lokal energilagring eller traditionella nätförstärkningar?* URL:
<https://powercircle.org/wp-content/uploads/2020/06/Slutrapport.pdf> (hämtad 2022-02-04).
- Young, Kwo-hsiung och Shigekazu Yasuoka (2016). "Capacity degradation mechanisms in nickel/metal hydride batteries". I: *Batteries* 2.1, s. 3.
- Örebro kommun (2022a). *Solkarta Örebro*. URL: <http://karta2.orebro.se/webb/#0&7;0&8&162999.31178;6570737.06599&-1&123&> (hämtad 2022-04-27).
- (2022b). *Tamarinden*. URL: <https://extra.orebro.se/byggorebro/tamarinden.4.4ffbbf5616ac98ac8f49fb.html> (hämtad 2022-03-04).

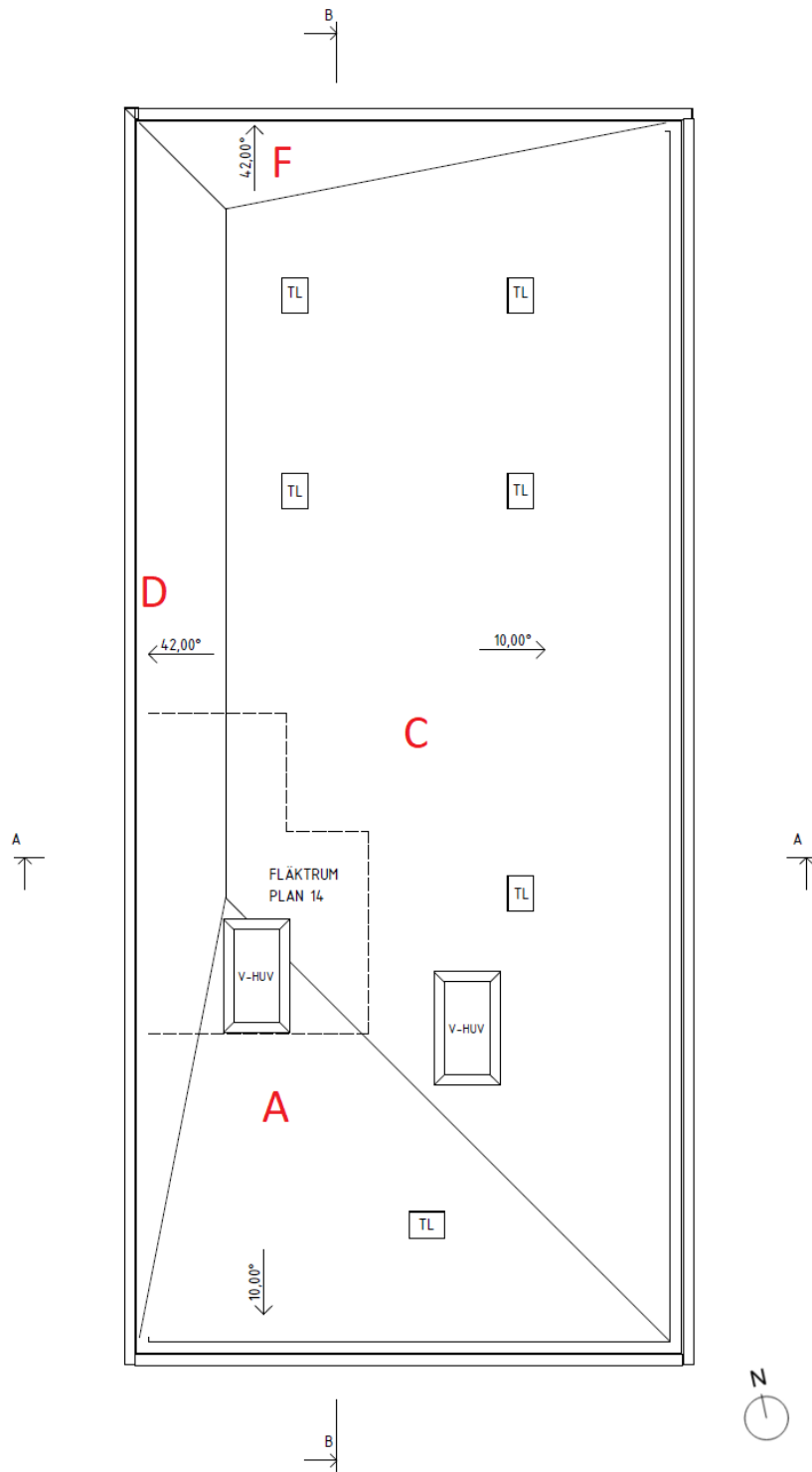
Bilaga A

Tabell 6: Summering av takareor och dess azimutvinkel inom kategori A-D på de sju aktuella byggnaderna.

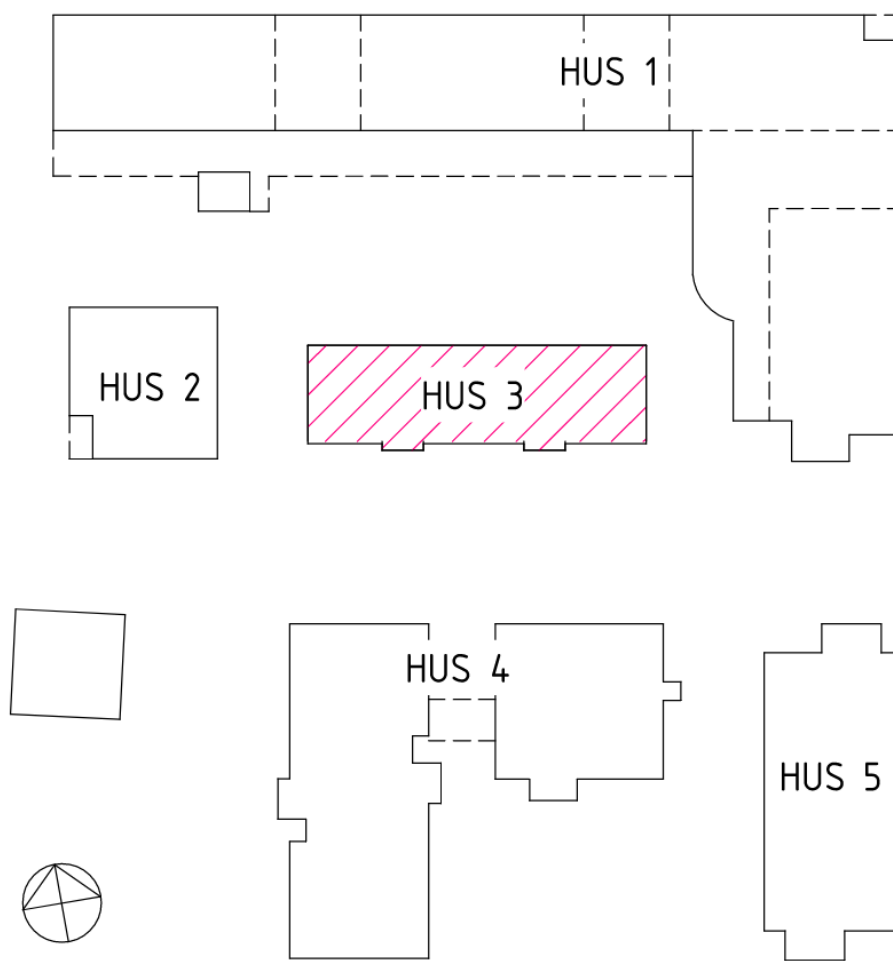
	area	Lutning	azimutvinkel
Serneke			
hus 1	400	10°	50°
hus 1	380	10°	-40°
hus 1	50	10°	0°
hus 1	50	13°	0°
hus 1	50	10°	-60°
hus 1	50	18°	-60°
hus 2	70	10°	10°
hus 2	240	10°	-80°
Tornet			
hus 1	680	28°	5°
hus 1	240	28°	105°
hus 1	100	28°	-75°
hus 2	90	22,5°	105°
hus 2	85	25°	5°
hus 2	50	45°	-75°
hus 3	280	28°	5°
hus 4	260	20°	105°
hus 4	240	20°	-75°
hus 4	100	22°	105°
hus 4	100	25°	5°
hus 4	50	45°	-75°
hus 5	360	28°	105°
hus 5	220	45°	-75°

Bilaga B

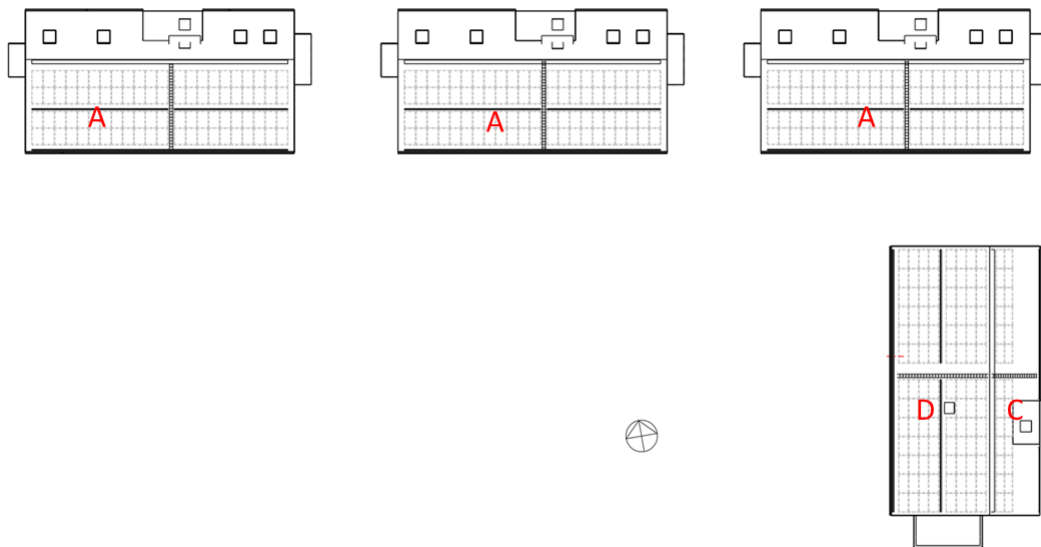
Takritningar över Sernekes två olika hus med kategoriseringar av takriktningar för lämpliga installationer av solceller enligt Figur 8.



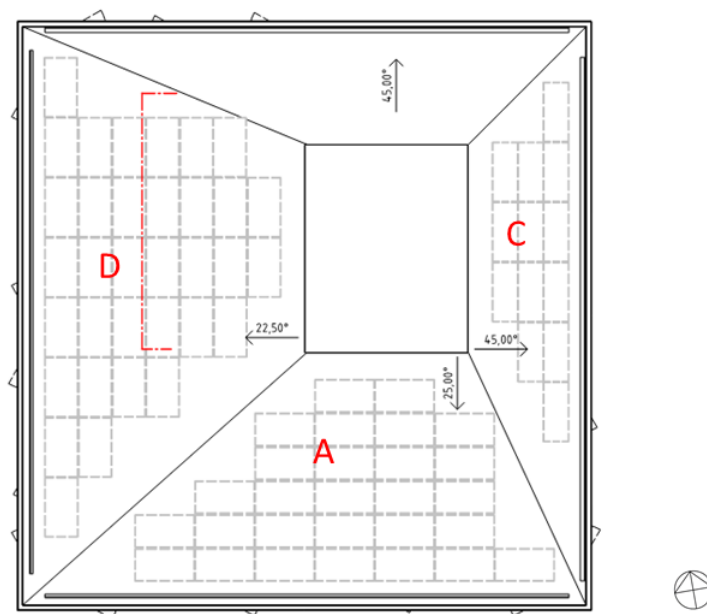
Figur 22: Ritning över tak för hus 2 med takvinklar och azimutvinklar.



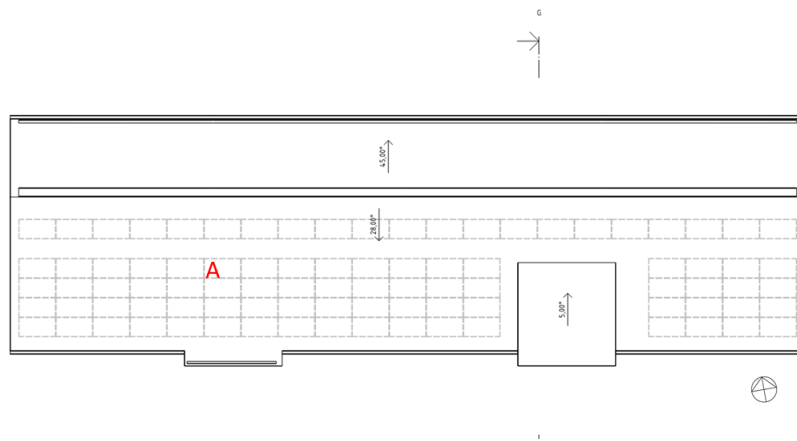
Figur 23: Översiktsritning av tornets fem byggnader inom Tamarinden.



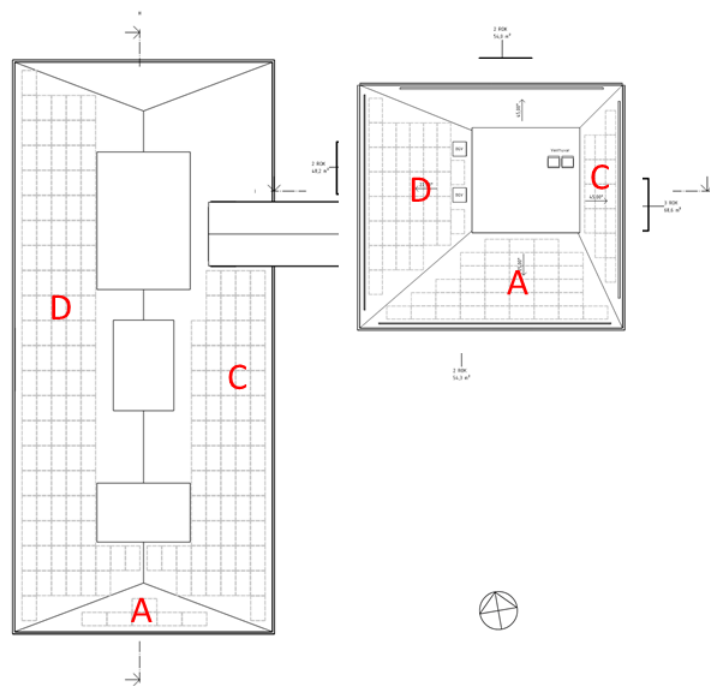
Figur 24: Takarea för tornet hus 1.



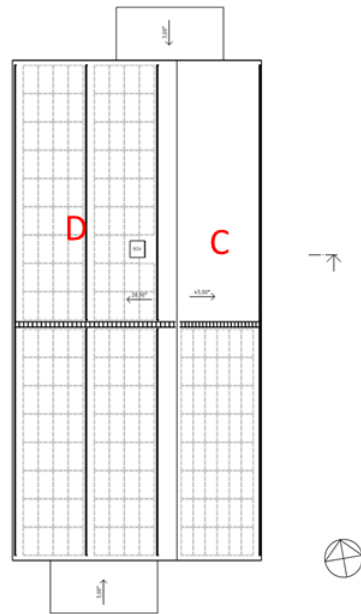
Figur 25: Takarea för tornet hus 2.



Figur 26: Takarea för tornet hus 3.



Figur 27: Takarea för tornet hus 4.



Figur 28: Takarea för tornet hus 5.

Majoriteten av takytan ligger i azimutvinkel 105° och kommer därför att tas med trots att det klassas som kategori D.