

|                                                                                                       |                        |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|------------------------|
| Energimyndighetens titel på projektet – svenska                                                       |                        |
| Optimering av solelnytta genom smart mikronät och brukare                                             |                        |
| Energimyndighetens titel på projektet – engelska                                                      |                        |
| Optimizing solar PV benefits through smart microgrids and user involvement                            |                        |
| Universitet/högskola/företag                                                                          | Avdelning/institution  |
| Eksta Bostads AB                                                                                      | [Klicka här och skriv] |
| Adress                                                                                                |                        |
| Box 10 400, 434 24 Kungälv                                                                            |                        |
| Namn på projektledare                                                                                 |                        |
| Christer Kilersjö (Eksta Bostads AB)                                                                  |                        |
| Namn på ev övriga projektdeltagare                                                                    |                        |
| Mats Karlström (Ferroamp Elteknik AB), Fredrik Billing (Eljun), Kristian Widén (Högskolan i Halmstad) |                        |
| Nyckelord: 5-7 st                                                                                     |                        |
| Solel, energigemenskap, mikronät, likström, blockchain                                                |                        |

## Förord

Projektet ”Optimering av solelnytta genom smart mikronät och brukare” har genomförts av det kommunala bostadsbolaget Eksta Bostads AB (framöver refererad till som Eksta) mellan 2020 och 2022. Projektet har delfinansierats av Energimyndigheten och dess diarienummer är 2019-019720. Projektet är en fortsättning på ett projekt som avslutades 2019 och som delfinansierades av Energimyndigheten, ”Utveckling av helhetslösning för solel i bebyggelsen” (Penttilä et al., 2019). Föregångsprojektet refereras härfter till som ”fas 1”. För detta fortsättningsprojekt används benämningen ”utökat mikronät” och ”fas 2”. Bakgrunden till projektet är Ekstas intresse i att undersöka möjligheter att utveckla energikoncept för sina byggnader.



## Innehållsförteckning

|                                                                             |    |
|-----------------------------------------------------------------------------|----|
| Sammanfattning .....                                                        | 4  |
| Summary .....                                                               | 5  |
| Inledning .....                                                             | 6  |
| Bakgrund .....                                                              | 6  |
| Mål .....                                                                   | 7  |
| Ursprungligt Mikronät, Fas 1 .....                                          | 9  |
| Ingående byggnader .....                                                    | 9  |
| Energibalans .....                                                          | 11 |
| Utökat mikronät, Fas 2 .....                                                | 12 |
| Ingående byggnader .....                                                    | 14 |
| Mikronätets komponenter .....                                               | 15 |
| Förväntad energibalans .....                                                | 18 |
| Utvärdering utökat mikronät, Fas 2 .....                                    | 21 |
| Installation och Drift .....                                                | 21 |
| Processen för installation vid Eksta .....                                  | 22 |
| Insamling av mätdata .....                                                  | 24 |
| Hantering av avbrott i mätdata och driftstörningar i mikronätet .....       | 25 |
| Faktisk energibalans .....                                                  | 27 |
| Politiska, juridiska och ekonomiska faktorer .....                          | 31 |
| Politik och juridik .....                                                   | 31 |
| Ekonomi .....                                                               | 33 |
| Affärsmodeller för brukarflexibilitet kopplat till Blockchain-koncept ..... | 33 |
| Bakgrund .....                                                              | 33 |
| Blockchain-funktion .....                                                   | 34 |
| Blockchain vid Ekstas mikronät .....                                        | 37 |
| Mikronät framtida scenario .....                                            | 44 |
| Prognos för laddstationer och elanvändning .....                            | 44 |
| Scenario 2025 .....                                                         | 45 |
| Resultat .....                                                              | 48 |
| Utökat mikronät, Fas 2 .....                                                | 48 |
| Affärsmodeller och Energigemenskaper .....                                  | 50 |
| Framtida möjligheter för mikronät vid Eksta .....                           | 50 |
| Slutsats .....                                                              | 51 |
| Referenser .....                                                            | 52 |
| Bilagor .....                                                               | 53 |
| Beskrivning av Hus 1–4 och undercentralen från fas 1 .....                  | 53 |
| Schematisk bild mikronät fas 2 .....                                        | 58 |
| Bilder .....                                                                | 59 |
| Utredning av Blockchain-modell för Eksta och området för mikronätet .....   | 61 |

## Sammanfattning

Denna rapport redovisar det fortsättningsprojekt som bygger på pilotprojektet ”*Utveckling av helhetslösning för solcell i bebyggelsen*”, som genomfördes vid Eksta Bostads AB med delfinansiering av Energimyndigheten under åren 2016–2019. Syftet med fortsättningsprojektet har varit att utvärdera alternativa och metoder för att öka lönsamhet i solcellsanläggningar i bebyggd miljö. Metod för detta har varit installation av mikronät, baserat på likströmsteknik liksom upprättande av en modell för involvering av brukare. Modellen bygger på Blockchain-konceptet och är utvecklad för området för mikronätet liksom Ekstas hantering av eldistribution och brukarhantering.

Eksta ser stort värde i genomförandet av detta utvecklingsprojekt. Projektet har skapat kunskap kring hantering av delning av el, både gällande strategisk planering av energidistribuering liksom tekniska lösningar.

Under installation och idrifttagande av mikronätet har utmaningar kopplat till hård- och mjukvaror påverkat installationen och driften av mikronätet i Fjärås. Felaktiga funktioner var vid detta projekts avslut ännu inte lösta. Av dessa anledningar har den tekniska utvärderingen av mikronätet begränsats. Resultaten visar dock att egenanvändningsgraden för producerad solcell inom mikronätet är 87 % för tre månader. Detta är något lägre än det teoretiskt beräknade värdet för samma månader, som visade 98 %. Anledningen till detta resultat härleds till de bristerna av systemets komponenter. Utvärderingen visar dock att det finns en potential för ökning av detta värde. Detta projekt har även bidragit till fler resultat, där kunskap kring processen för utvecklingsprojekt har byggts. Lärdomar har varit att det är av stor vikt att samordna samtliga projektpartner inför uppstart av ett utvecklingsprojekt, så att det finns en samsyn kring projektets mål och en etablerad samverkan.

Inom projektet har även potentialen för att utöka befintligt mikronät med fler solcellsanläggningar samt möjligheten att inkorporera fler byggnader och laddstationer för elfordon utvärderats. Resultat visar att det finns potential för att installera mer solcellseffekt med fortsatt hög egenanvändning och därmed bibehållen lönsamhet.

## Summary

This is the final report for the project, "*Optimization of solar energy through smart microgrids and users*", that has been carried out by the municipal housing company Eksta Bostads AB (hereafter referred to as Eksta) between 2020 and 2022. The project has been partially financed by the Energy Agency and is a continuation of a pilot project which was completed in 2019 (Penttilä et al., 2019).

The background to the project is Eksta's interest in investigating opportunities to develop energy concepts for its building stock. The purpose of this project has been to evaluate alternatives and methods to increase profitability in solar photovoltaic systems in the built environment. To do so, an expansion of an existing microgrid has been installed and a model for user involvement has been created. The model is based on the Blockchain concept and is developed for the area of the microgrid and Eksta's management of electricity distribution and user management.

Eksta sees great value in the implementation of this project. Knowledge has been built management of sharing of electricity, both regarding strategic planning of energy distribution and technical solutions.

During the installation and commissioning of the microgrid, challenges linked to hardware and software have affected the installation and operation of the microgrid in Fjärås. Incorrect functions were at the end of this project not yet resolved. For these reasons, the technical evaluation of the microgrid has been limited. However, the results show that the self-use rate for produced solar electricity within the microgrid is 87 % for a period of three months. This is slightly lower than the theoretically calculated value for the same months, which was 98 %. The reason for this result is the shortcomings of the system's components. However, the evaluation shows that there is a potential for increasing this value. This project has also contributed to more results, where knowledge about the process for development projects has been built. Lessons learned have been that it is of great importance to coordinate all project partners before the start of a development project so that there is a consensus around the project's goals and an established collaboration.

Within the project, the potential to expand the existing microgrid with more solar photovoltaic systems and the possibility of incorporating more buildings and charging stations for electric vehicles has been evaluated. Results show that there is potential to install more solar power with continued high self-use and thus maintained profitability.

## Inledning

På samma sätt som delning av solvärme har varit möjlig genom närvärmenät i fastighetsområden, vilket möjliggör placering av solfångare på gynnsamma tak och att själv tillgodose energibehov på andra byggnader, finns det incitament att göra samma med egenproducerad sol. Eksta vill genom utvecklingsprojekt av detta slag förbereda sig, och i en förlängning även byggbranschen, inför utmaningar som kan förväntas av branschen kopplat till pågående energiomställning till mer förnybar energiförsörjning. Placeringen för detta utvecklingsprojekt är i Ekstas bestånd i Fjärås i Kungsbacka kommun.

Konsultföretaget WSP Sverige AB (härefter refererad till som WSP) har på uppdrag av Eksta varit projektledare och ansvarat för hela projektets genomförande liksom genomfört utvärderingarna av mikronätets drift. WSP är författare till denna rapport. Ett examensarbete från Uppsala universitet genomfördes med kopplingar till detta projekt och kapitel "Politiska, juridiska och ekonomiska faktorer" liksom "*Mikronät framtida scenario*" är författade inom ramen för examensarbetet (Stoltz, C. & Skrealid, J. 2020).

Högskolan i Halmstad har ansvarat för och genomfört arbetet för delprojektet "Affärsmodeller för brukarflexibilitet" och är författare till kapitlet "*Affärsmodeller för brukarflexibilitet kopplat till Blockchain-koncept*". Bolaget Ferroamp elteknik AB (härefter refererad till som Ferroamp) har levererat hård- och mjukvara till Eksta liksom bistått med teknisk expertis kopplat till utvärderingsarbetet. Bolaget Eljun (tidigare Stockholm Supergrid) har som leverantör av IT-lösningar för energisystem deltagit i arbetet för verifiering av resultaten i arbetspaket 4.

## Bakgrund

Innehållet i denna rapport beskriver en fortsättning på det pilotprojekt som genomfördes 2016 vid Eksta Bostads AB i Kungsbacka, *Utveckling av helhetslösning för sol i bebyggelsen*. I pilotprojektet var syftet att mikronätets uppfarande skulle fördela den egenproducerade solen inom ett eget-kontrollerat område för att öka egenanvändningen av sol och därmed värdet av solcellsanläggningarna.

I följande avsnitt beskrivs de byggnader och dess tekniska installationer som tillsammans utgör mikronätet. En kortfattad beskrivning av den första fasens mikronät (fas 1) presenteras nedan och är baserad på rapporten från föregående projekt (Penttilä et al., 2019).

Eksta Bostads AB (Eksta) är Kungsbacka kommuns bostadsbolag. Eksta äger och förvaltar ca 3 000 hyresrätter, äldreboenden, förskolor och skolor liksom några



kommersiella lokaler. Det aktuella mikronätet som beskrivs och utvärderas är lokaliserad på Humlevägen i Fjärås och ingår i Ekstas byggnadsbestånd. Mikronätets första del, Fas 1, utgjorde sammankoppling av fyra flerbostadshus och en fristående byggnad för energi-undercentral, UC. Det ursprungliga mikronätet från fas 1 byggdes ut i fas 2, med tillkommande byggnader äldreboende, gruppboende, expedition och förskola. Ingående byggnader i fas 1 liksom fas 2 presenteras i följande avsnitt. Figur 1 visar en del av området i Fjärås.



**Figur 1.** Tre av husen som ingår i mikronätet.

## Mål

Mål med projektet har varit att validera de teoretiska beräkningar på potential för ökad egenanvändning av solen i ett mikronät bestående av byggnader som innehar olika typer av verksamheter.

Ytterligare mål med projektet har varit att undersöka potentialen och lönsamheten att installera solelanläggningar med större kapacitet än att endast täcka en byggnads elbehov men också att inkludera laddstationer till elfordon som del av systemet.

Vidare har projektets haft som mål att utreda hur slutanvändare av solen genom en form av energigemenskap kan involveras genom incitament i affärsmodeller för att öka egenanvändningen av solen inom mikronätet. I detta fall har Internet-of-Things, IoT, för smart styrning använts och målet har varit att teoretiskt utveckla en modell för en energigemenskap vid Eksta, baserat på Blockchain-konceptet. Blockchain-koncept kan anpassas till Ekstas mikronät. Blockchain är ett koncept,

som bygger på ett decentraliserat system för informationsutbyte. Inom ett Blockchain utbyter aktörer information med varandra, helt utan en central aktör. Blockchain utvecklades 1991, men användes först 2009 för kryptovalutan Bitcoin.

**Delmål 1**

Med utgångspunkt från det ursprungliga mikronätet innehållande fyra flerbostadshus har under detta projekt även byggnader för förskola, expedition, äldreboende, grupphem anslutits till mikronätet. Eksta äger och förvaltar samtliga byggnader. Delmål inom projektet har varit att utvärdera solelproduktion, elbehov, köpt el, såld el och el till laddning av elfordon samt mikronätet i sin helhet. Vidare delmål har även varit utredning och redovisning av brukarprofil och användning av elfordonsladdning liksom framtagandet av en modell via brukarengagemang för att optimera den ekonomiska nyttan av både mikronätet och solelanläggningar.

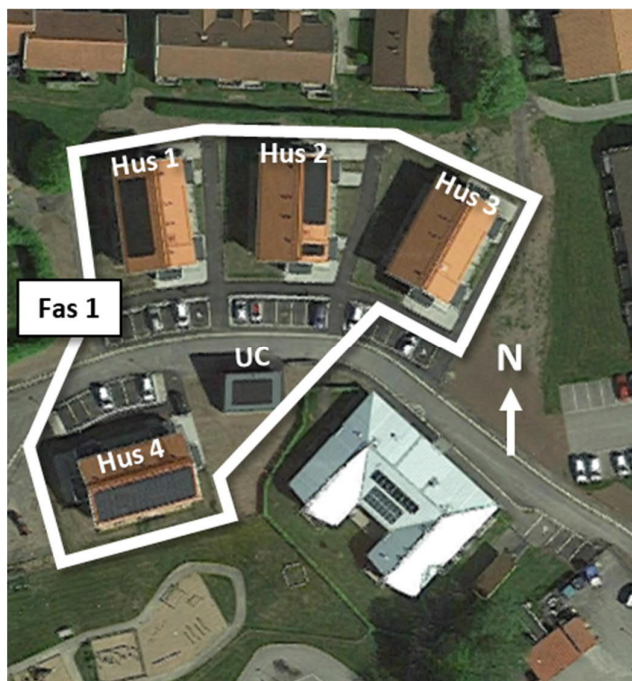
**Delmål 2**

Delmål 2 i projektet har varit att beskriva det utökade mikronätet och de parametrar som påverkar dess utformning. I delmål 2 har även innefattat att beskriva vilka politiska, juridiska och ekonomiska faktorer som kan bidra till att större solelanläggningar och mikronät byggs.



## Ursprungligt Mikronät, Fas 1

Det ursprungliga mikronätet (Fas 1) sammanbinder fem byggnadskroppar, vilket framgår av i Figur 2. Området uppfördes 2017 och består av fyra flerbostadshus byggda med passivhusteknik (Hus 1–4) och en gemensam undercentral (UC). Tre av bostadshusen inklusive UC har solcellsanläggningar.



Figur 2. Översikt av området som ingår i det befintliga mikronätet Fas 1.

I samtliga fem byggnader finns EnergyHub-system från Ferroamp vilket ansluter till ett likströmsnät som sammanbinder byggnaderna. Likströmsnätet har en spänning 380/760 Volt. I undercentralen finns en master EnergyHub-enhet som styr effektflöden inom likströmsnätet. Mikronätet och likströmsteknik är från teknikleverantören Ferroamp.

### Ingående byggnader

Grundläggande information om de fem byggnadskropparna som ingår i det ursprungliga mikronätet, fas 1, (Hus 1–4 och UC) finns beskrivet i Tabell 1.

**Tabell 1: Beskrivning av grundläggande byggnadsinformation.**

|                                        | Hus 1      | Hus 2 | Hus 3  | Hus 4 | UC     | enhet              |
|----------------------------------------|------------|-------|--------|-------|--------|--------------------|
| <b>A<sub>temp</sub></b>                | 330        | 330   | 330    | 330   | 30     | m <sup>2</sup>     |
| <b>Uppvärmning</b>                     | Fjärrvärme |       |        |       | -      |                    |
| <b>Ventilationssystem</b>              | FTX        |       |        |       | -      |                    |
| <b>Beräknad total energianvändning</b> | 40         | 40    | 40     | 40    |        | kWh/m <sup>2</sup> |
| <b>Uppmätt elanvändning 2018 [kWh]</b> | 11 800     | 9 200 | 10 800 | 9 300 | 13 400 | kWh/år             |

Den beräknade totala energianvändningen avser byggnadens energibehov för värme, varmvatten och fastighetsel. Den totala energianvändningen beräknades innan byggnadens uppförande. Elanvändning presenterad i ovan tabell är baserade på statistik insamlad under år 2018 med mätare i Ferroamps EnergyHub. Elanvändningen innefattar fastighetsel och hushållsel. Hyresgäster i Hus 1–4 debiteras för hushållsel baserat på deras faktiska elanvändning med genom individuell mätning och debitering (IMD).

För att erhålla ett fullständigt år med statistik för elanvändningen har de uppmätta data behövt kompletterats med interpolerade värden för att täcka mätbortfall. Den uppmätta elanvändningen hade en täckningsgrad motsvarande 99,4 % för Hus 1–4 och 94,2 % för undercentralen. Några få uppenbart orimliga avvikande mätvärden har justerats. I de fall mätdata saknats och vid uppenbart orimliga mätvärden, har nya teoretiska värden interpolerats fram från näraliggande datapunkter. Då längre databortfall (flera dagar) har funnits har perioden kompletterats med närmast liggande dagar med fullständiga data.

Det finns solcellsanläggningar installerade på Hus 1, Hus 2 och undercentralen, se Tabell 2. På Hus 4 finns en solvärmeanläggning, ej att förväxlas med solcellsanläggning.

**Tabell 2: Beskrivning av befintliga solcellsanläggningar som ingår i mikronätet.**

|                        | Hus 1     | Hus 2 | UC     | Enhet               |
|------------------------|-----------|-------|--------|---------------------|
| <b>Väderstreck</b>     | 260° V/SV | 93° Ö | 185° S |                     |
| <b>Taklutning</b>      | 30°       | 30°   | 33°    | grader              |
| <b>Solcellseffekt</b>  | 11,7      | 11,7  | 6      | kW <sub>p</sub>     |
| <b>Solelproduktion</b> | 8 800     | 9 300 | 5 900  | kWh/år              |
| <b>Prestanda</b>       | 752       | 795   | 983    | kWh/kW <sub>p</sub> |

## Energibalans

Det ursprungliga mikronätet studerades i detalj i fas 1. I det arbetet beräknades två teoretiska fall inför installation av solcellsanläggningarna och mikronätet. I ett av fallen analyserades soleanvändningen om byggnaderna betraktades som fristående vilket jämfördes med det andra fallet då byggnaderna sammankopplades i ett mikronät. Efter ett års drift analyserades också utfallet baserat på uppmätta verkliga data för elanvändning och solelproduktion.

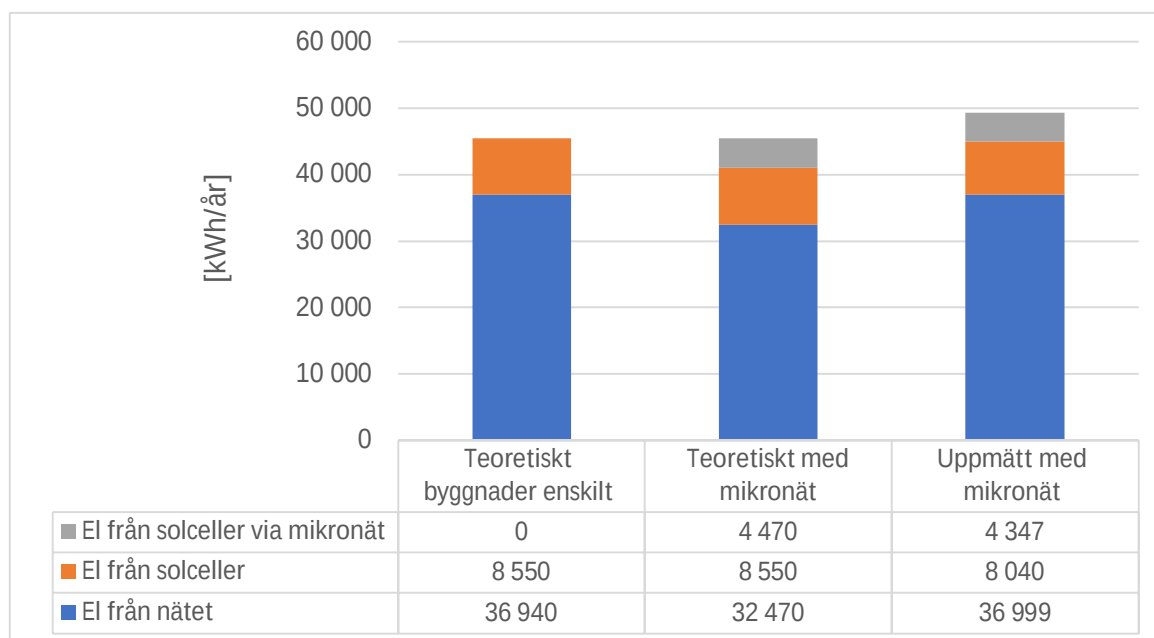
Huvudresultatet från det tidigare arbetet för de tre fallen presenteras i Tabell 3 och Figur 3.

**Tabell 3: Solelanvändning i det befintliga mikronätet.**

|                                           | Teoretisk beräkning  |                 | Uppmätt<br>2018 |        |
|-------------------------------------------|----------------------|-----------------|-----------------|--------|
|                                           | Byggnader<br>enskilt | Med<br>mikronät | Med<br>mikronät | Enhet  |
| <b>Egenanvänd solex [kW/år]</b>           | 8 550                | 13 020          | 12 387          | kWh/år |
| <b>Egenanvändningsgrad</b>                | 36                   | 56              | 57              | %      |
| <b>Solelöverskott</b>                     | 14 900               | 10 400          | 9 500           | kWh/år |
| <b>Andel till solexlöverskott</b>         | 64                   | 44              | 43              | %      |
| <b>El från solceller via<br/>mikronät</b> | -                    | 4 500           | 4 400           | kWh/år |
| <b>El från solceller via<br/>mikronät</b> | -                    | 10              | 9               | %      |

Resultatet visar att mer solex kan användas inom byggnaderna när de tillåts dela solex med varandra via mikronätet. Den teoretiskt beräknade egenanvändningsgraden<sup>1</sup> för byggnaderna enskilt uppgick till 36 %, medan den uppmätta egenanvändningsgraden med mikronät uppnådde 57 %. Mikronätet har alltså bidragit till att egenanvändningen av solex ökat inom området med 21 procentenheter eller 4 400 kWh/år.

<sup>1</sup> Den el som produceras i en solcellsanläggning under en given tidsperiod och som används bakom elnätbolagets debiteringsmätare utan att levereras ut på elnätet.



**Figur 3. Solelanvändning inom det befintliga mikronätet för de två teoretiskt beräknade fallen, samt baserat på uppmätt data från 2018.**

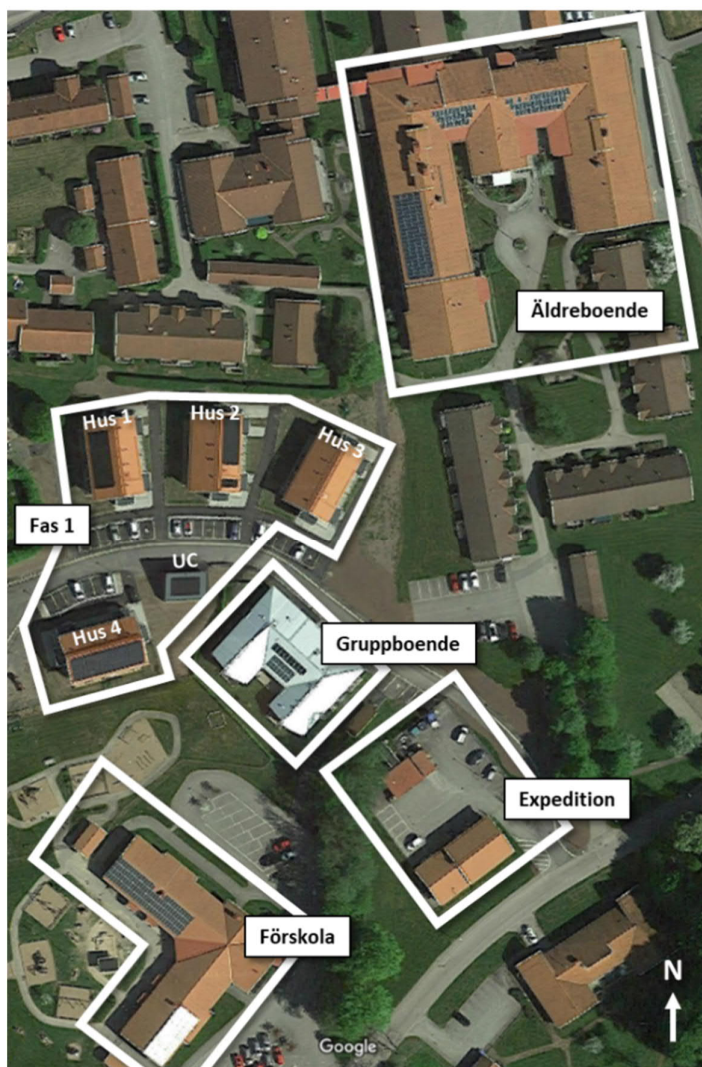
Det framgår från Tabell 3 och Figur 3 att den teoretiskt beräknade solelanvändningen inom mikronätet stämde väl överens med den uppmätta användningen under det första driftåret. Skillnaderna beror på att solelproduktion var något lägre än beräknat och elanvändningen något högre.

## Utökat mikronät, Fas 2

Resultat från den teoretiskt beräknade energibalansen för ett utökat mikronät presenteras i avsnitt "Förväntad energibalans". Den teoretiskt beräknade energibalansen används som utgångspunkt vid utvärdering av systemets faktiska drift. De teoretiska beräkningarna för det utökade mikronätet är gjorda av WSP under föregående projekt liksom genom ett examensarbete vid Uppsala universitet under 2020 och har handletts av WSP Sverige (Stoltz and Skrealid, 2020). Under fas 2 har problem med datainsamling gjort det svårt att verifiera och analysera systemets verkliga drift, vilket beskrivs närmre i avsnitt "Utvärdering utökat mikronät, Fas 2".

I detta avsnitt beskrivs byggnader som utgör mikronätets fas 2. En detaljerad beskrivning av byggnaderna finns i rapportens bilaga. Det är totalt fyra tillkommande byggnader med solcellsanläggningar som har anslutits till den första fasens mikronät. De tillkomna byggnaderna är äldreboende, gruppboende,

expedition och förskola. Fas 1 och tillkommande byggnader för fas 2 presenteras i översiktsbilden i Figur 4 där undercentralen är markerad som "UC".



**Figur 4. Översiktsbild av byggnader som ingår i det utökade mikronätet - Fas 2.**

Samtliga byggnader inom mikronätet har EnergyHub (Ferroamps styrenhet och fasutjämnare). Ett likströmsnät förbinder byggnaderna till undercentralens EnergyHub som är överordnad och styr effektflöden inom likströmsnätet.

I fas 1 ingår flerbostadshusen, Hus 1-4, samt undercentralen. Husen är byggda med passivhusteknik enligt kravspecifikationerna i FEBY12<sup>2</sup> och består av fyra

<sup>2</sup> Kravspecifikation för Nollenergihus, Passivhus och Minienergihus framtagen av Sveriges Centrum för Nollenergihus.

lägenheter vardera. Hus 1–3 och undercentralen har solcellsanläggningar medan Hus 4 har en solvärmeanläggning. I undercentralen finns mikronätets centrala styrenhet Energyhub, batterilager och fjärrvärmecentral.

I utbyggnaden av mikronätet till det som benämns fas 2 tillkommer fyra byggnader: äldreboendet, förskolan, gruppboendet och expeditionen. Samtliga byggnader har solcellsanläggningar där gruppboendet och expeditionen använder Ferroamps solsträngsoptimerare (SSO) och där äldreboendet och förskolan har växelriktare av annat fabrikat. Gruppboendet och förskolan är byggda 2016 respektive 2008 och förskolan räknas som ett passivhus. Expeditionen är en mindre byggnad i jämförelse och har en laddstation. Den största byggnaden av de anslutna byggnaderna i fas 2 är äldreboendet som är från tidigt 1900-tal. I byggnaden har även hemtjänsten sitt huvudkontor. Hemtjänsten har 12 elfordon samt en laddhybrid som betjänas av åtta laddstationer anslutna till byggnaden. I byggnadens storkök tillagas mat till äldreboendet och förskolan.

Samtliga byggnader i mikronätet, fas 2, är anslutna till det allmänna elnätet där hus 1–4 har en huvudsäkring på 25 A vardera och äldreboendet ett lågspänningseffektabonnemang. Övriga byggnader har säkringsabonnemang med en huvudsäkring på 35 A.

### Ingående byggnader

En sammanfattning över de befintliga och tillkomna tekniska installationerna inom det utökade mikronätet finns beskrivet i Tabell 4. Mikronätet har genom fas 2 utökats till totalt nio byggnader. Samtliga byggnader, utom en, har solcellsanläggningar installerade och tre har laddstationer.

**Tabell 4: Befintliga och tillkomna tekniska installationer i det utökade mikronätet, fas 2.**

| Byggnad             | Elanvändning<br>[kWh/år] | Solcellseffekt<br>[kW <sub>p</sub> ] | Solelproduktion<br>[kWh/år] | Laddstationer |
|---------------------|--------------------------|--------------------------------------|-----------------------------|---------------|
| <b>Hus 1</b>        | 11 800                   | 11,7                                 | 8 800                       |               |
| <b>Hus 2</b>        | 9 200                    | 11,7                                 | 9 300                       |               |
| <b>Hus 3</b>        | 10 800                   | 9                                    | 7 900                       | 2             |
| <b>Hus 4</b>        | 9 300                    | -                                    |                             |               |
| <b>Undercentral</b> | 13 400                   | 6                                    | 5 900                       |               |
| <b>Äldreboende</b>  | 432 000                  | 39                                   | 32 600                      | 12            |
| <b>Gruppboende</b>  | 24 000                   | 4                                    | 3 200                       |               |
| <b>Förskola</b>     | 68 000                   | 31                                   | 26 800                      |               |
| <b>Expedition</b>   | 15 300                   | 10,8                                 | 9 800                       | 2             |
| <b>SUMMA</b>        | <b>593 800</b>           | <b>123,2</b>                         | <b>104 300</b>              | <b>16</b>     |

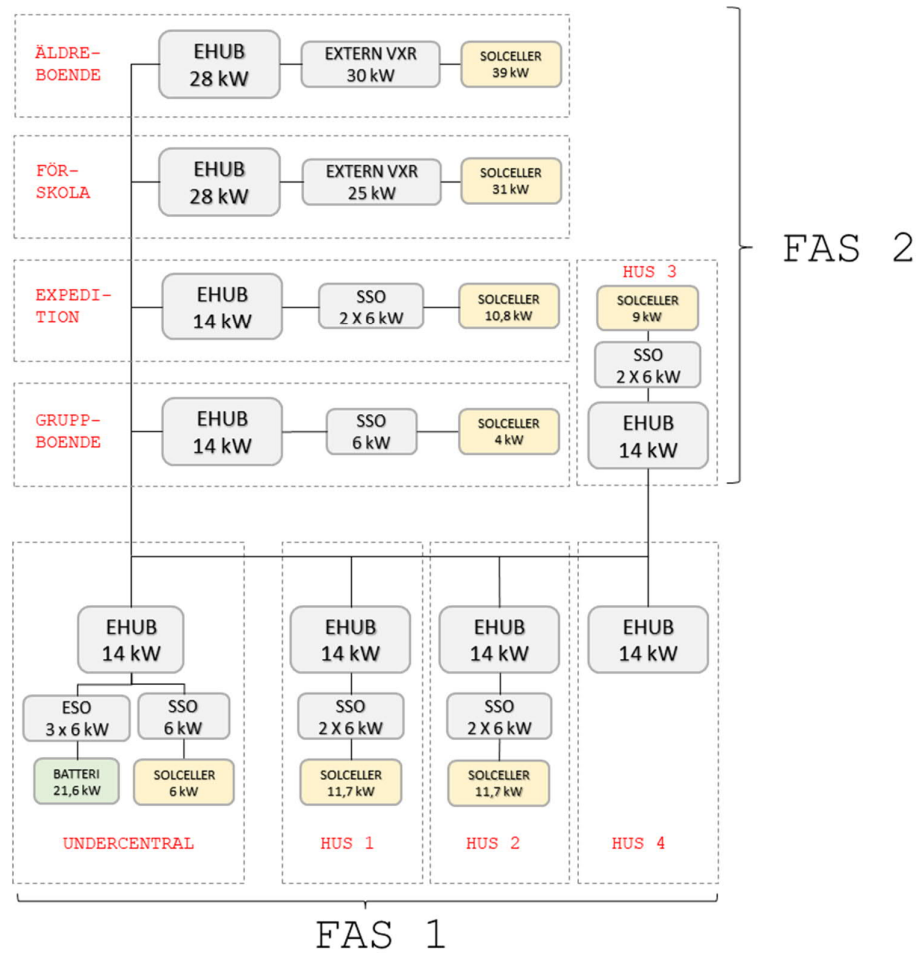
Byggnaderna som tillkommit i fas 2, äldreboende, gruppboende, förskola och expedition, har en betydligt högre elanvändning och solelproduktion än byggnaderna i den första fasens mikronät (Hus 1–4 och undercentral). Antalet laddstationer som redovisas i Tabell 4 utgör det antal som var installerat år 2021. Elanvändningen från alla laddstationer ingår inte i den presenterade elanvändningen då data kommer från år 2019. Elanvändningen i byggnaderna kan alltså komma att öka pga. ett ökat elbehov från elfordon.

### **Mikronätets komponenter**

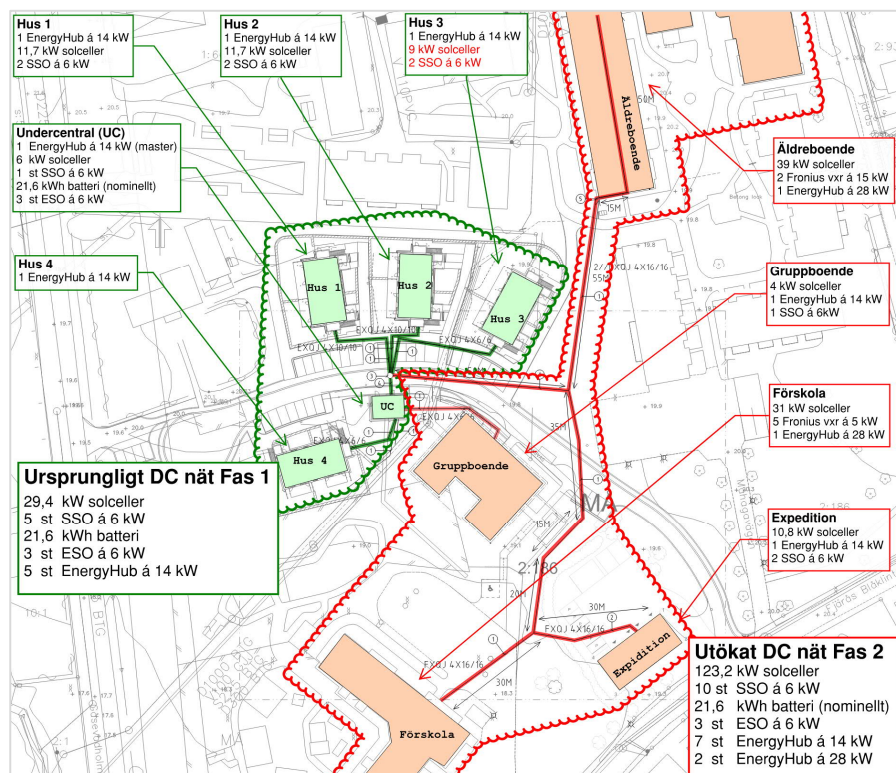
Mikronätets uppbyggnad utgörs av att samtliga byggnader har varsin central styrenhet (EnergyHub) som är sammankopplade och anslutna till ett likströmsmikronät. Alla byggnader utom en har solceller som antingen levererar solelen till den egna byggnaden, till övriga byggnader genom mikronätet eller ut på elnätet när det finns överskottsproduktion inom mikronätet. Två av byggnaderna (äldreboendet och förskolan) har växelriktare med externt fabrikat medan övriga byggnader har Ferroamps solsträngsoptimerare (SSO) i kombination med EnergyHub. Styrning av mikronätet och kommunikation mellan byggnadernas EnergyHub-enheter sker via mikronätets likströmskablar. I undercentralen finns den EnergyHub som har de överordnade styrbefogenheterna. För kommunikation till byggnader i Fas 2 har PLC-filter installerats för att få en ren styrsignal. I undercentralen finns ett batterilager på 22 kWh som styrs via en batterilageroptimerare (ESO).

I Figur 5 visas ett blockschema där huvudkomponenternas placering och sammankoppling i mikronätet framgår. I Figur 6 visas en situationsplan över likströmsnätets utbredning och huvudkomponenternas fysiska placering och sammankoppling i mikronätet. Figurerna följs av en kortfattad beskrivning av huvudkomponenternas funktion. Figur 5 och Figur 6 bygger på information från mikronätets nätschema, se bilaga.





**Figur 5. Blockdiagram över mikronätets uppbyggnad. OBS att EnergyHub för Hus 3 installerades under Fas 1.**



**Figur 6. Situationsplan med huvudkomponenters fysiska placering och sammankoppling. Solceller för Hus 3 tillkommer i Fas 2.**

## EnergyHub

EnergyHub är en 28 eller 14 kW bidirektionell växelriktare som reglerar flödet mellan solceller, energilager och elnät, samtidigt som byggnadens elförbrukning mäts. EnergyHub fasutjämnar automatiskt byggnaden och är en brygga mellan byggnadens växelströmsnät, solceller och mikronätet.

## Solträngsoptimerare (SSO)

Solträngsoptimerare, en per solcellssträng. Innehåller MPPT- funktionalitet och säkerhetsfunktioner. Enheten används för att ansluta solceller till EnergyHub-systemet. SSO:n stänger ned helt och hållet vid strömavbrott eller vid användande av brandmansbrytare. SSO övervakar och frångöps "sin sträng" om det skulle uppstå fel som orsakar farlig läckström mot jord, som t.ex. en sprucken eller trasig solcellsmodul. Installationer kan utföras med 1-64 strängar och kan även byggas ut.

## PLC och PLC-filter

PLC, *programmable logic controller*, är en programmerbar styrenhet som används för kommunikation inom mikronätet. Dessa finns installerad vid samtliga av mikronätets EnergyHub-enheter för att få en ren styrsignal.

**Batterilageroptimerare (ESO)**

Modulär styrenhet för batterilager. Enheten är en bidirektionell DC/DC omvandlare med maximal verkningsgrad 99 %. Systemet är skalbart vilket möjliggör framtida expansion.

**Batterilager**

Det ursprungliga batterilagret som ingick i Ferroamps system byttes ut efter problem med dess funktion. Istället installerades ett batterilager från Nilar som är anslutet till EnergyHub i undercentralen. Batteriet består av tre moduler på 7,2 kWh var, det vill säga batteriets nominella kapacitet är ca 21,6 kWh.

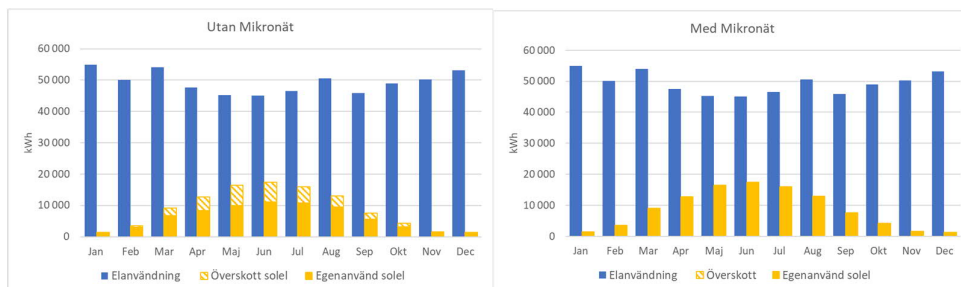
Batteristyrenheten (BMS) har en effekt på 18 kW. Laddning kan ske med maxeffekten 14 kW och urladdning med maxeffekten 21,6 kW. Batterilagret laddas vid solöverskott. Inledningsvis fanns kommunikationsbrister mellan det nya batteriet och mikronätet, vilket medförde att batteriet inte kunde användas korrekt. Aktuella inställningar gör att batterilagret ofta står tomt. Batteriet har varit i stabil drift sedan 8 april 2022.

**Förväntad energibalans**

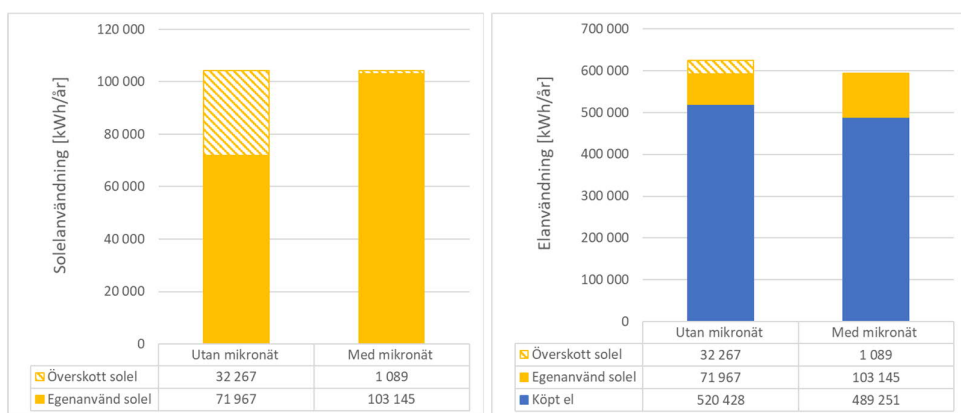
I detta avsnitt presenteras resultat från teoretiska energibalansberäkningarna, som varit underlag för utbyggnationen av fas 2. Genom att analysera hela områdets elanvändning och solelproduktion kan mikronätets potentiella nytta kvantifieras. I beräkningar nedan jämförs energibalansen för två olika fall;

- i) området har inget mikronät och varje byggnad agerar enskilt mot det allmänna elnätet, samt
- ii) byggnaderna är anslutna till ett mikronät (som har byggts i denna fas 2) och kan fördela solel inom mikronätet.

Egenanvändningsgraden används för utvärdering då den visar det ökade värdet av den genererade solelen. I Figur 7 och Figur 8 presenteras byggnadernas elanvändning samt mängd egenanvänd solel och solelöverskott för fallen i) och ii). Den funna teoretiskt beräknade potentialen för det utökade mikronätet, fas 2, är hämtad ur rapporten från föregående projekt (Penttilä et al., 2019).



**Figur 7. Månadsvis elanvändning, egenanvändning av solex och överskott av solex för fallet om byggnaderna inte skulle vara anslutna till mikronät (v) och fallet då byggnaderna är sammankopplade i ett mikronät (h) fas 2. Värden i figuren är beräknade med timvis data och summerade månadsvis.**



**Figur 8. Årlig elanvändning, egenanvändning av solex och överskott av solex för fallet om byggnaderna inte skulle vara anslutna till mikronät och fallet då byggnaderna är sammankopplade i ett mikronät, fas 2. Värden i figuren är beräknade med timvis data och summerade för ett år.**

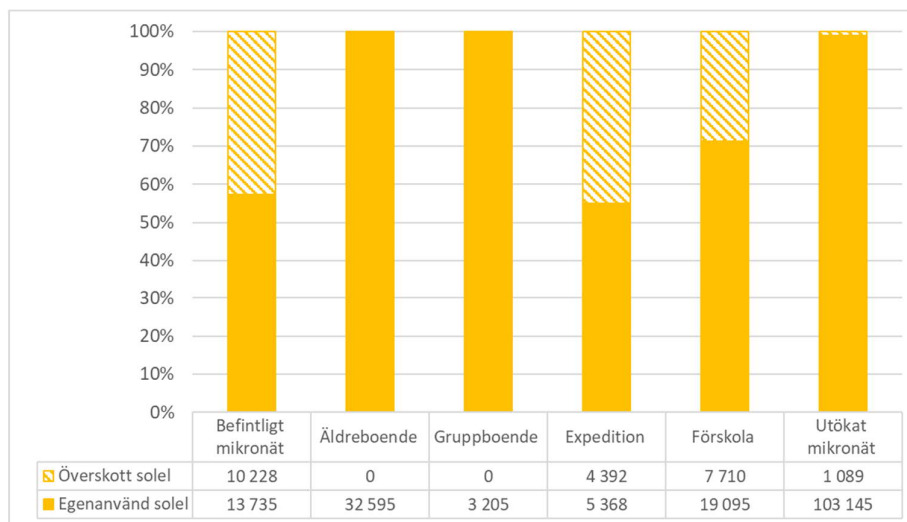
Resultat visar tydligt att mer solex kan användas om byggnaderna sammankopplas i ett mikronät, fas 2. Om byggnaderna *inte* skulle vara sammankopplade i mikronät skulle den sammanlagda egenanvändningsgraden för byggnaderna i området uppgå till 69 %.

För ett mikronät i fas 2 beräknas egenanvändningsgraden uppgå till 99 %, och överskottet av solex kan minskas från 31 % till 1 %. Värden som ligger till grund till ovan figurer redovisas i Tabell 5. Självförsörjningsgraden uttrycks i procent och anger hur stor del av producerad solex som täcker elbehovet.

**Tabell 5: Energibalans i området i fallen med eller utan mikronät.**

|                              | Utan mikronät | Med mikronät | Enhet  |
|------------------------------|---------------|--------------|--------|
| <b>Elanvändning</b>          | 593 800       | 593 800      | kWh/år |
| <b>Producerad solel</b>      | 104 300       | 104 300      | kWh/år |
| <b>Egenanvänd solel</b>      | 72 000        | 103 100      | kWh/år |
| <b>Egenanvändningsgrad</b>   | 69            | 99           | %      |
| <b>Solelöverskott</b>        | 32 300        | 1 200        | kWh/år |
| <b>Överproduktion</b>        | 31            | 1            | %      |
| <b>Köpt el</b>               | 521 800       | 490 700      | kWh/år |
| <b>Självförsörjningsgrad</b> | 12            | 17           | %      |

I Figur 9 visas användningen av solel för de olika byggnaderna som genom fas 2 ingår i det utökade mikronätet. För äldreboendet, gruppboendet och förskolan baseras data på faktiskt drift. För expeditionen och det utökade mikronätet är data för solelanvändning teoretiskt beräknat.


**Figur 9. Fördelning av solelanvändning för de olika scenarierna, teoretiska värden för mikronätets fas 2.**

Det teoretiskt beräknade resultatet för mikronätets fas 2 ger en indikation på att nästan all solel ska komma till användning i byggnaderna, vilket ökar nyttjandet av solelen internt och förbättrar lönsamheten för solcellsinvesteringen.

Resultatet från beräkningarna visar att överskottet av solel från första fasens mikronät, expeditionen och förskolan kan delas till och nyttjas av äldreboendet och gruppboendet. Äldreboendets inkoppling till mikronätet har en stor inverkan på områdets energibalans. Med storkök och flertalet laddstationer för elfordon har

äldreboendet en hög elanvändning jämfört med de andra byggnaderna och står för 73 % av områdets totala elanvändning. Äldreboendet använder dessutom en större andel av elen under dagtid, jämfört med andra byggnader, vilket är gynnsamt för att öka egenanvändningen av solel.

Den teoretiskt beräknade energibalansen innefattar inte betydande överföringsförluster i mikronätet. Den uppmätta mängden egenanvänd solel kan därför förväntas vara några procent lägre än den teoretiskt beräknade.

Resultaten från beräkningarna antyder att ett mikronät gör som störst nytta när det sammanbinder byggnader med olika elbehovsprofiler liksom takförutsättningar. En byggnad med låg elanvändning men bra takförutsättningar för solelproduktion kan dela el till en byggnad med ett högre elbehov som saknar goda takförutsättningar. I ett optimalt fall kan det höga elbehovet i äldreboendet tillses av solel som produceras av solceller på andra byggnader.

Byggnader som utgör mikronätet i Humlevägen i Fjärås, med varierande elbehovsprofiler, kan anses vara en representativ för liknande byggnadsbestånd i t.ex. städer, där just dessa förutsättningar med olikheter kan ge ökat värde av solel genom delning via mikronät.

## **Utvärdering utökat mikronät, Fas 2**

För utvärderingen av mikronät fas 2 används mätdata och driftuppgifter från ursprungliga byggnader, mikronätets fas 1, hus 1-4 och undercentral samt tillkommande byggnader i fas 2, äldreboende, gruppboende, expedition och förskola.

### **Installation och Drift**

I detta avsnitt beskrivs hur installationen och driften av mikronätet har förflutit, från projektets start fram till avslutad utvärderingsperiod för Fas 2.

Sammanställningen presenteras för att visa hur perioderna har förflutit med bland annat viktiga händelser i projektet, utbyggnad av mikronät, mätperioder, driftstörningar, olika inställningar för mikronätet etc.

En av de största utmaningarna i projektet har varit att erhålla en tillfredställande drift, vilket redovisas avsnitt "Insamling av mätdata". Endast ett par kortare perioder har haft tillräcklig drift för datainhämtning och därmed för att kunna utgöra grund för utvärdering.

En funktion för justering av driftinställningar har saknats i systemet, vilket försvårat driften. Efterfrågade inställningar har därför fått göras med handpåläggning via Ferroamps support. Detta förfarande har medfört en krånglig och svåröverskådlig process för ändring av inställningar i samband med

idrifttagandet liksom uppföljning av olika förändringar i inställningar. Initialt saknade driftövervakningen i Ferroamp-portalen funktion för automatlarm om t.ex. systemet ligger nere eller annan felfunktion inträffar, vilket medförde svårigheter att tillräckligt snabbt upptäcka och åtgärda fel i systemet. Systemet kompletterades med larmfunktion efterhand.

Den planerade utvärderingen av mikronätets drift liksom analys av olika driftfall inom projektet har sedan projektstart behövt ändras till att hålla systemet i drift. Efter cirka ett års kontinuerlig bevakning av mikronätet finns fortfarande relativt centrala funktioner inom systemets drift som är bristfälliga. I samband med att detta pilot- och utvecklingsprojekt avslutas i september 2022 har inte driften för systemet och dess styrning uppnått den eftersträlvade funktionen.

### **Processen för installation vid Eksta**

Bakgrunden till Ekstas initiativ att låta uppföra ett internt mikronät grundar sig i företagets goda erfarenheter från solvärmeprojekt. I dessa projekt har det inte funnits något hinder för att utnyttja de taken med bäst potential för att producera solvärme. I motsats till detta upplevde Eksta regelverket för solceller som kontraproduktivt när solel inte får delas mellan angränsande fastigheter, trots att de har samma ägare. Detta faktum var direkt motsäggande mot Ekstas vision om att de bästa taken ska utnyttjas för solenergiproduktion och bidra så mycket som möjligt och vara tillgängligt för alla, oberoende av vilken potential ens tak har för solenergiproduktion.

I samband med nybyggnationen av ett flerbostadsområde i Fjärås fick Eksta fick kännedom om Ferroamps produkter och initierade projektet som kommit att genomföras i två faser. Ekstas vision var från början att mikronätet skulle utvidgas till att innefatta fler byggnader än bara nybyggnationen, Fas 1.

Inför Fas 1 såg Eksta utmaningar med att driva projektet gentemot nätägaren, men nätägaren godkände Ekstas förfrågan utan att det togs vidare till Energimarknadsinspektionen. Ytterligare utmaningar som man såg framför sig var kopplat till hur systemet skulle byggas upp på ett elsäkerhetsmässigt sätt, då det saknades branschpraxis, standarder och goda exempel. Man såg det även som en utmaning att hitta en el-entreprenör som ville ta sig an projektet. I efterhand har man goda erfarenheter av tillmötesgående och lösningsorienterade entreprenörer och leverantörer.

Den främsta lärdomen från Fas 1 är enligt Eksta betydelsen av en fungerande projektorganisation och det faktum att Eksta drivit projektet med sina partnerbolag, i stället för att genomföra projektet med konventionella upphandlingar. Partneringupplägget för projektet har inneburit att Eksta varit med från början och har haft full insyn i samtliga frågor och att projektdeltagarna tagit på sig ett större



ansvar än vad som annars kunnat förväntas. Ytterligare lärdom är att det med ett så pass komplext innovationsprojekt som mikronätet inneburit varit väldigt personstyrkt i den mening att det mycket viktigt med ”rätt” personer i projektorganisationen, rätt kompetens och tydlig och öppen kommunikation, vilket man anser fungerade väl.

Inför Fas 2 gick Eksta in i fortsättningsprojektet stärkta ur Fas 1. Utbyggnaden av mikronätet skulle dock innebära en kraftig utökning av systemet och med det säkerligen problem att lösa på vägen men i och med att Fas 1 ändå landade väl tog de vid gott mod sig an Fas 2. I Fas 1 ingick endast nya byggnader vilket förenklade anpassningen mot mikronätet men Fas 2 innebar att fyra befintliga byggnader och verksamheter skulle integreras. Återigen var elsäkerhetsaspekten en av de största utmaningarna vid projekterings- och installationsfasen, vilket återspeglas i de utmaningar som framför allt upplevdes för äldreboendet.

Sammanfattningsvis uppdagades många ”barnsjukdomar” i komponenterna när mikronätet utvidgades i Fas 2, vilket var en följd av att produkter och mjukvara som varit under fortsatt utveckling. Flertalet EnergyHub:ar har fått bytas ut, PLC-filter har fått installeras för att säkerställa en fungerande kommunikation inom mikronätet och mobila bredband har fått installeras för att säkerställa tillfredsställande internetanslutningar.

Trots vissa motgångar är Eksta nöjda med de båda utvecklingsprojekten. De är införstådda med att ett innovationsprojekt av denna dignitet medför utmaningar. Projektprocessen hade gynnats av en högre närvaro on-site liksom en tillgänglig huvudansvarig från Ferroamp då stöd vid problemlösningar har saknats. För att lyckas poängterar Eksta vikten av goda relationer och att personer med rätt kompetens och inställning ingår i projektorganisationen. Eksta har haft gott stöd från lokal installatör, som kunnat inställa sig på kort varsel för att åtgärda problem.

Eksta säger att de kunde ha varit något mer förberedda, haft mer av formalia klart, såsom noggrannare projektering och tätare möten med platsbesök från början för att kunna hantera fler av de utmaningar de ställts inför från början och för att säkerställa förståelse och samsyn för projektet inom projektorganisationen.

Den ekonomiska nyttan med mikronätet och solcellsanläggningar har lett till att förbättra byggnadernas energiprestanda och därigenom berättiga byggprojekten till Boverkets investeringsstöd. Däremot har Ekstas mål med projektet varit mer utöver att få investeringsstöd. Detta projekt, liksom andra solenergiprojekt inom Eksta, har istället drivits av att göra verklighet av Ekstas vision om att så mycket solenergi som möjligt ska produceras på de bästa taken och vara tillgängligt för alla.

## Insamling av mätdata

Datainsamling i detta projekt, fas 2, har kantats av svårigheter och utmaningar. Den metod för datainsamling som utvecklades i projektets fas 1)<sup>3</sup> kunde inte användas på grund av saknad -och avbrott i mätdata, driftfel hos mikronätet och ingående komponenter samt av andra beskrivna orsaker i avsnitt "Utvärdering av utökat mikronät, Fas 2".

För att möjliggöra utvärdering har insamling av mätdata som ligger till grund för utvärdering och analys av Fas 2 hämtats från elnätbolaget för området, Ellevios debiteringsmätning av köpt el och såld el för byggnaderna. Därtill har mätvärden för solexproduktion per anläggning hämtats från Ferroamp mätningar för Hus 1–3, undercentralen, gruppboendet och expeditionen samt via växelriktarnas produktionsmätning för anläggningarna förskolan och äldreboendet. Beräkningsprogrammet Microsoft Excel har använts för bearbetning, beräkning och analys. Mätdata har analyserats med upplösning kWh per timme.

Den aktuella tidsperioden för datainhämtning är tre månader, från 1/5 till 31/7 2022. Anledningen till att historiska data från tidigare period inte har använts beror på att mikronätet haft omfattande driftstörningar med ofullständiga och felaktiga mätdata. Driftstörningar i systemet har berätt på olika orsaker och har genomgående varit den största utmaningen i datainsamlingen.

Utöver de tidigare driftstörningarna finns de även vissa störningar för den aktuella mätperioden som utgjort utvärderingsperiod. För t.ex. äldreboendet saknas mätvärden för solexproduktion för maj månad (1/5 till 20/5 2022). Då det verifierats att solexproduktion har skett för perioden har denna fått uppskattats via beräkning och simuleringar med utgångspunkt att den har liknande produktionsprofil som förskolans solcellsanläggning för samma tidsperiod. För att avgöra mängd solexproduktion har förhållandet mellan äldreboendets och förskolans solexproduktion tagits fram med timvis upplösning för en period då båda solcellsanläggningarna varit i normal drift. Denna faktor beräknades för perioden juni och juli då produktionsdata från de båda anläggningarna funnits tillgänglig.

Mätdata för solexproduktion hämtad från Ferroamps SSO:er har under utvärderingsperiod är även den varit ofullständig. Data saknas från 20/7 till 31/7. I detta fall var det ett driftfel i mikronätet som gjorde att all solexproduktion från Hus 1-3, undercentralen, gruppboendet och expeditionen var ur funktion.

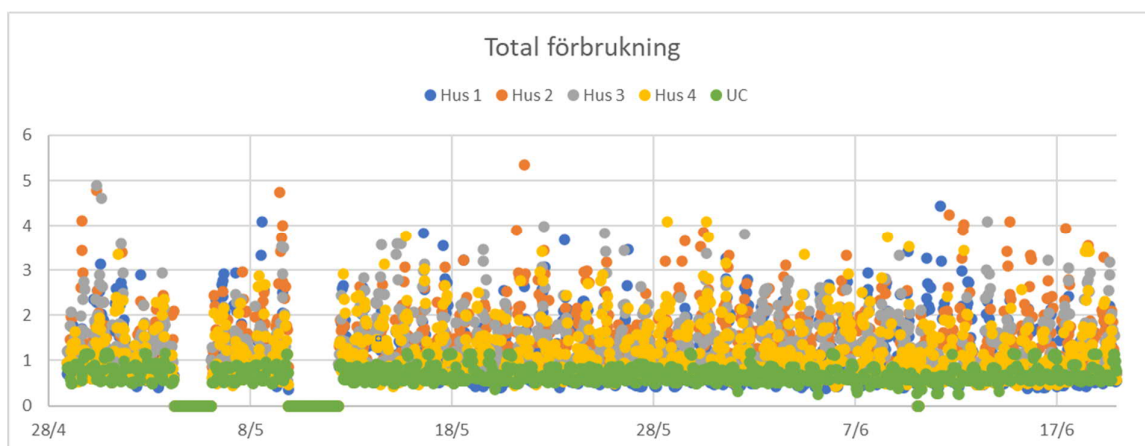
---

<sup>3</sup> Metod för datainsamling i Fas 1 genomfördes genom att använda Ferroamp-systemets mätare som lagrar mätdata i en portal för visualisering och export av valbar tidsperiod.

### Hantering av avbrott i mätdata och driftstörningar i mikronätet

Datainsamling var planerad att genomföras med samma metodik som projektets fas 1, med Ferroamps portal som primär datakälla. Det visade sig att datan därifrån hade flera brister, vilket redovisas nedan.

1. Vid tappad kontakt med EnergyHub p.g.a. avbrott i internetuppkoppling saknas mätvärden för avbrottsperioden, detta inträffade flera dygn per månad under våren. I figur 10 visas ett exempel på två avbrott.
2. Redovisad solelproduktion har olika enheter och upplösning beroende på vilken redovisnings vy som väljs i portalen. Summerad solelproduktion över en specificerad period skiljer sig mellan redovisningsvyerna.
3. Kommunikationsproblem mellan EnergyHub-enheter och SSO:er har givet avbrott i mätdata.
4. Redovisade energiflöden, energianvändning och produktionsdata för mikronätet som presenteras i portalen är inte tillfredställande pålitlig då tidpunkt för mätningar som ligger till grund för beräkning av energiflöden avviker sinsemellan allt för mycket.
- 5.



**Figur 10. Dataavbrott under perioden 28/4 till 20/6 2022 för Hus 1–4 samt undercentralen.**

Vid datainhämtning noterades tidigt att mätpunkter fallit bort under perioder om enstaka timmar, flertalet timmar, enstaka dygn och flertalet dygn, vilket inträffade vid flera tillfällen under våren 2022.

I Tabell 6 sammanfattas databortfallen som noterades under perioden 28/4 till 20/6 2022. Totalt gällde det bortfall på 613 timmar eller 24,5 dygn. Avbrotten inte gällde samma byggnader samtidigt. Flesta databortfall inträffade vid förskolan, mätdata saknades för totalt 359 timmar eller 15 dygn.

**Tabell 6: Dataavbrott för mätdata hämtad från Ferroamp-portalen. Orsakad av avbruten internetanslutning under perioden 28/4 till 20/6 2022. Avbrotten visualiseras även i figurerna nedan.**

|           |                |                |              | Fas 1     |    |     | Fas 2 |    |    |
|-----------|----------------|----------------|--------------|-----------|----|-----|-------|----|----|
|           | Från           | Till           | Antal timmar | Hus 1 - 4 | UC | Exp | ÄB    | FS | GB |
| Avbrott 1 | 28/04<br>22:00 | 30/04<br>23:00 | 49           |           |    |     |       |    | x  |
| Avbrott 2 | 05/04<br>07:00 | 06/05<br>03:00 | 44           | x         | x  |     |       |    |    |
| Avbrott 3 | 09/05<br>23:00 | 12/05<br>10:00 | 59           | x         | x  |     |       |    |    |
| Avbrott 4 | 12/05<br>01:00 | 16/05<br>06:00 | 101          |           |    |     |       |    | x  |
| Avbrott 5 | 22/05<br>07:00 | 13/06<br>06:00 | 359          |           |    |     |       | x  |    |
| Avbrott 6 | 10/06<br>04:00 | 10/06<br>05:00 | 1            | x         | x  | x   | x     |    | x  |

Utöver ovan beskrivna problem med datainhämtning från EnergyHub var detta också fallet för datainhämtning för solelproduktion från SSO:er.

Solelproduktionen som gick att hämta från portalen var angiven varierande tidssteg med stundvis hög upplösning, stundvis låg upplösning, vilket gjorde arbetet med att summera mätdata på timvis basis tidskrävande. Orsaken till varierande och osammanhängande tidsenheter för mätdata härleddes till kommunikationsproblem mellan SSO:er och EnergyHub. Ferroamp löste kommunikationsproblemen genom att installera PLC-filer för aktuella SSO:er under våren.

Vid kontroll av in- och utflöden av el till och från ingående byggnader i mikronätet gentemot det allmänna elnätet noterades att Ferroamps redovisning inte stämde med de in- och utflöden av el som elleverantören Ellevio debiterat Eksta.

Under maj månad redovisar Ferroamp att Eksta köpt ca 17 000 kWh el, medan motsvarande värde hos Ellevio var ca 34 000 kWh, dvs. dubbelt så mycket. För såld el redovisar Ferroamps portal istället en dubbelt så hög siffra jämfört med Ellevio, se dessa värden i Tabell 7. Största variationen noteras för äldreboendet markerat med kursiv text i tabellen. En larmfunktion för fel och driftstörningar hade underlättat hantering av fel och avbrott.

Ferroamp har under projektets gång arbetat med de brister i portalens energiredovisning, men lösningen har varit att mätvärden för in- och utflöden av

el till och från ingående byggnader i mikronätet istället har fått hämtas från Ellevios debiteringsmätare.

**Tabell 7: Uppmätta värden i kWh från Ellevio respektive Ferroamps portal för köpt el och såld per byggnad. Värdet på nedersta raden är summan från samtliga byggnader.**

Maj 2022

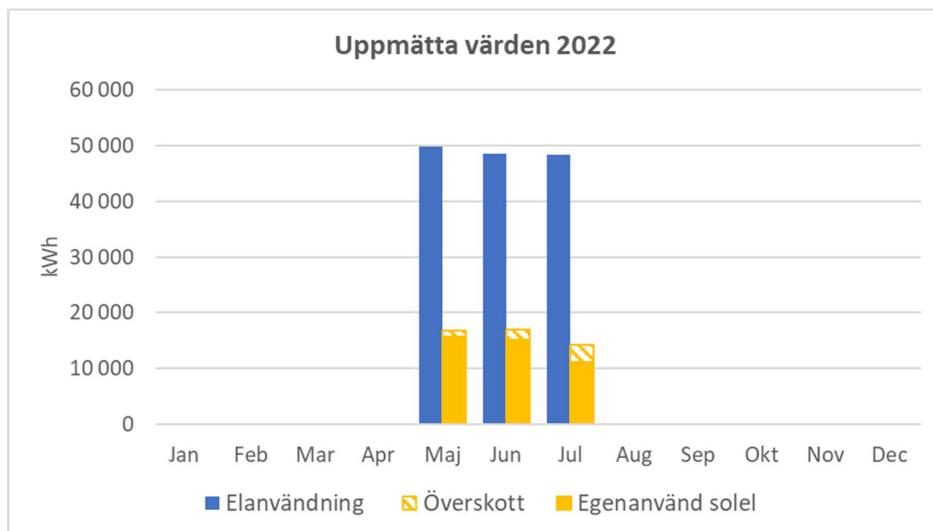
|             | Ellevio |         | Ferroamp |         |
|-------------|---------|---------|----------|---------|
|             | såld el | köpt el | såld el  | köpt el |
| Hus 1       | 23      | 517     | 126      | 504     |
| Hus 2       | 24      | 646     | 130      | 660     |
| Hus 3       | 26      | 663     | 117      | 646     |
| Hus 4       | 28      | 444     | 132      | 478     |
| UC          | 487     | 339     | 621      | 311     |
| Förskola    | 290     | 2 435   | 778      | 2 953   |
| Äldreboende | 82      | 26 795  | 61       | 9 016   |
| Gruppboende | 181     | 1 040   | 355      | 1 158   |
| Expedition  | 14      | 1 236   | 231      | 1 391   |
| Totalt      | 1 155   | 34 115  | 2 551    | 17 117  |

## Faktisk energibalans

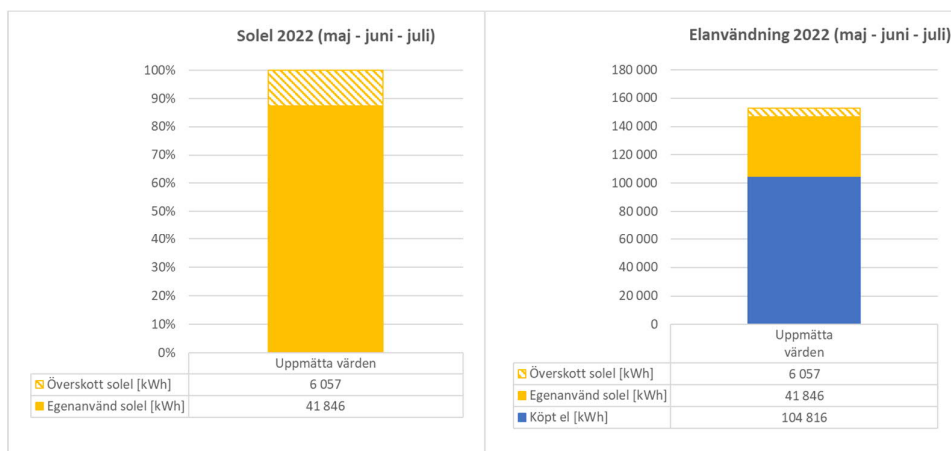
I detta avsnitt presenteras resultat från beräkningar efter uppmätta energibalanser för det utökade mikronätet, fas 2. Genom att jämföra resultatet med de teoretiskt beräknade kan mikronätets funktion analyseras och utvärderas. Uppmätt data finns för sommarmånaderna maj, juni och juli.

Det viktigaste nyckeltalet att granska är egenanvändningsgraden då det visar det ökade värdet av solelen. För den utvärderade perioden har detta värde varit 87 % för hela mikronätet.

I Figur 11 och Figur 12 presenteras byggnadernas elanvändning samt mängd egenanvänd solel och solelöverskott. Solelproduktionsdata är hämtad från Ferroamps portal och mätare hos Eksta. Värden för inköpt och såld el är hämtad från Ellevios debiteringsmätare.



**Figur 11. Månadsvis elanvändning, egenanvändning av solexel och överskott av solexel. Värden i figuren är kommer från mätdata för solexproduktion och in- och utflöden av el till det allmänna elnätet.**



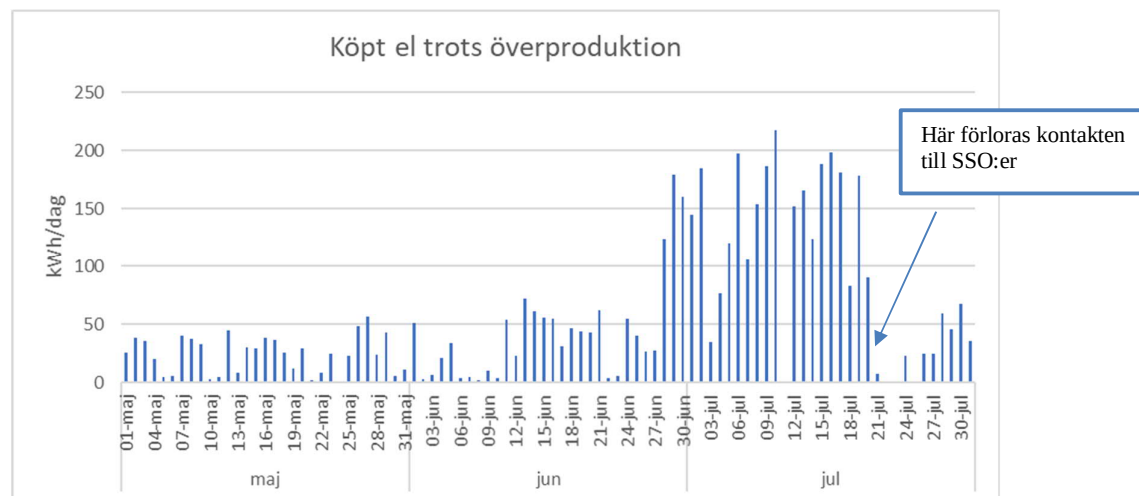
**Figur 12. Solexproduktion, egenanvändning av solexel och överskott av solexel och elanvändning under perioden för maj, juni och juli 2022. Värden i figuren kommer från mätdata för solexproduktion och in- och utflöden av el till det allmänna elnätet.**

Data som utgör figurerna ovan redovisas i Tabell 8.

Tabell 8: Energibalans i mikronätet från mätdata.

|                              | Uppmätta värden | Enhet    |
|------------------------------|-----------------|----------|
| <b>Elanvändning</b>          | 146 662         | kWh/3mån |
| <b>Producerad solel</b>      | 47 903          | kWh/3mån |
| <b>Egenanvänd solel</b>      | 41 846          | kWh/3mån |
| <b>Egenanvändningsgrad</b>   | 87              | %        |
| <b>Solelöverskott</b>        | 6 057           | kWh/3mån |
| <b>Överproduktion</b>        | 13              | %        |
| <b>Köpt el</b>               | 104 816         | kWh/3mån |
| <b>Självförsörjningsgrad</b> | 29              | %        |

Resultatet visar att en stor del av solelproduktionen används inom mikronätet. I jämförelse med den teoretiskt beräknade egenanvändningen är den uppmätta egenanvändning något lägre. Data visar att solel säljs samtidigt som el köps från nätet vid flera tillfällen. Detta är en felfunktion, om solel inte hade sålts hade egenanvändningen ökat. I Figur 13 visas köpt el under timmar då solel samtidigt sålts till elnätet.



Figur 13. Köpt el trots överskott av solel. Figuren visar kWh per dag under maj, juni och juli

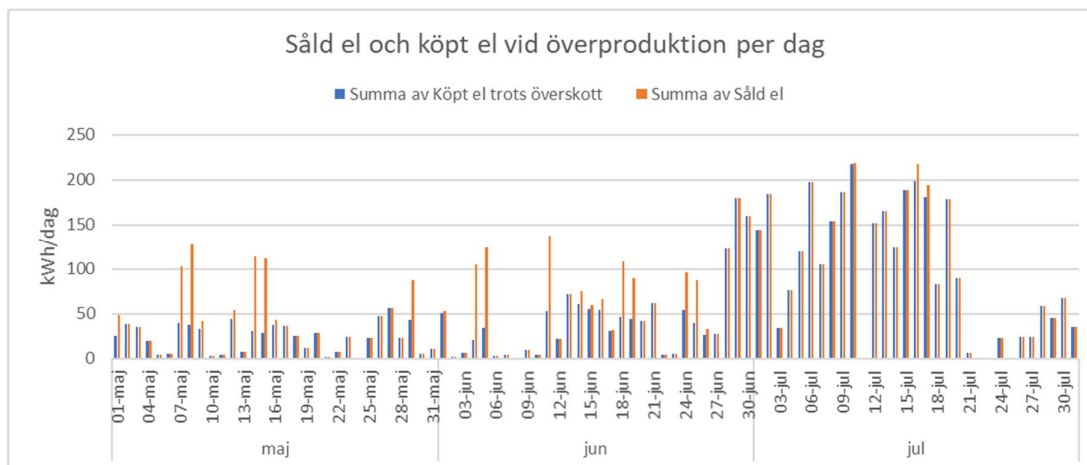
I de teoretiska beräkningarna för fas 2 var antagandet att i princip all solel användas momentant inom mikronätet. Detta är inte fallet för den utvärderade, verkliga driften.

Vid jämförande mellan mätdata och teoretisk beräkning för såld el och el som köps vid överskott framgår att försäljning och köp av el sker under samma timme nästan varje dag under maj, juni och juli. Detta visar att det finns potential inom



mikronätet till höjd egenanvändningsgrad genom att förhindra att felaktigt såld solel till elnätet när det finns elbehov inom mikronätet. För att kvantifiera potentialen till en höjd egenanvändningsgrad behöver elanvändning och solelproduktion analyseras med högre tidsupplösning.

I Figur 14 visas såld solel vid de tillfällen som det samtidigt finns ett elbehov inom mikronätet. Beräkningen är gjord med timupplöst mätdata summerad per dygn.

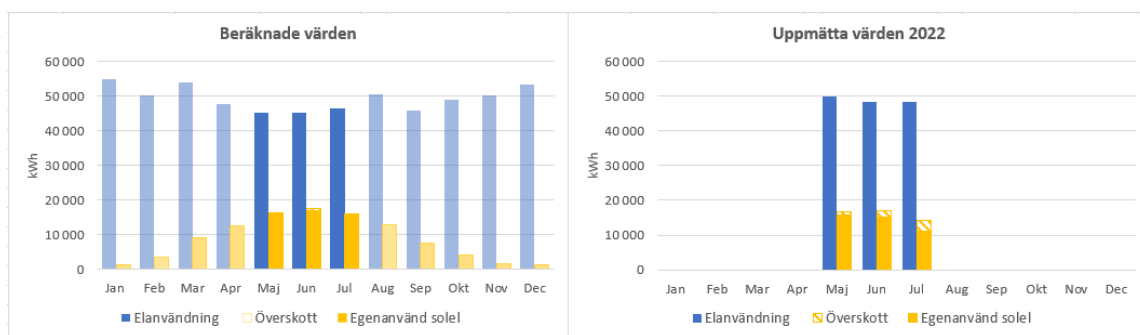


**Figur 14. Såld el av solelproduktion då det samtidigt finns ett elbehov inom mikronätet. Summerad timdata per dygn.**

I tabell 9 sammanfattas i värden för beräknade och uppmätt data, i procentenhet. För att siffrorna ska vara jämförbara har endast de månader som det finns mätdata ifrån inkluderats för de beräknade värdena, det vill säga maj, juni och juli 2022. Detta framgår även i figur 15.

**Tabell 9: Energibalans för maj, juni och juli 2022 i mikronätet från mätdata och beräkningar.**

|                                 | Beräknat | Uppmätt |
|---------------------------------|----------|---------|
| <b>Egenanvändningsgrad, %</b>   | 98       | 87      |
| <b>Överproduktion, %</b>        | 2        | 13      |
| <b>Självförsörjningsgrad, %</b> | 36       | 29      |



**Figur 15. Beräknade och uppmätta värden för tre månader.**

## Politiska, juridiska och ekonomiska faktorer

### Politik och juridik

För byggnationen av mikronätets fas 1 fördes samtal med Ellevio gällande sammankoppling av bostadshus inom ett avgränsat område. Andra kapitlet av Ellagen hanterar tillstånd att bygga och använda starkströmsledningar. Detta tillstånd kallas nätkoncession och den ansvariga myndigheten för prövning av frågor om sådana tillstånd är Energimarknadsinspektionen, EI. I Ellagen framgår att "En elektrisk starkströmsledning inte får byggas eller användas utan tillstånd (nätkoncession)." (SFS 1997:857). Alla starkströmsledningar kräver dock inte nätkoncession. IKN-förordningen (SFS 2007:215) är en lista av nät som inte berörs av koncessionsplikten och dessa kallas icke-koncessionspliktiga nät (IKN). Syftet med förordningen är göra det enklare att bygga ledningar och nät som inte nämnvärt påverkar miljön eller elnätet (SFS 1997:857). En förutsättning för att ett nät som listas i IKN-förordningen ska vara undantagen koncessionsplikt är att det är internt, vilket uppfylls genom tre krav<sup>4</sup>:

- Nät eller kabel används av ägaren för överföring till sin egen verksamhet.
- Nätet är tydligt avgränsat.
- Nätet är inte utspritt över ett för stort område.

För att bygga det första mikronätet hänvisade Eksta till det undantag anges i 22 a §: "Ett internt nät som förbinder två eller flera elektriska anläggningar för produktion, vilka utgör en funktionell enhet, får byggas och användas utan nätkoncession." (SFS 2007:215).

<sup>4</sup> Energimarknadsinspektionen, 2019

Sveriges Regering tillsatte under 2018 en utredning gällande regelverket kring nätkoncessioner under namnet ”Nätkoncessionsutredningen”, denna presenterades i juni 2019 och har haft som uppgift att ge förslag till förändringar som moderniserar och förenklar nuvarande regelverk (SOU 2019:30). I denna utredning framgår att syftet med undantagsregler som tillåter icke IKN är att förenkla byggnation av ledningar och nät som har en obetydlig påverkan på miljö, elmarknaden och elnätet (SOU 2019:30 sida 78) och att syftet med koncessionsplikten är att säkerställa att utbyggnaden av elnätet inte är samhällsekonomiskt olönsamt (SOU 2019:30 sida 81). I betänkandet beskrivs att undantag som möjliggör överföring av förnybar elproduktion mellan anläggningar och byggnader, inklusive flerbostadshus ska övervägas och att ett sådant undantag bör samordnas med genomförandet av energigemenskaper<sup>5</sup> (SOU 2019:30 sida 82) liksom att ett centralt motiv till ett undantag är att möjliggöra överföring av lokal förnybar elproduktion eller nyttjande av energilager.

Kapitel 4 i utredningen behandlar nätkoncession och en slutsats som dras är att nuvarande regler kring undantag från koncessionsplikten behöver förenklas för att de anpassas till dagens och framtidens behov. Ett område som enligt utredningen har behov av förändring var gällande delning av energi mellan byggnader. Utredningen pekade på att dåvarande undantag i IKN-förordningen kunde anses vara för snäva och inte vara anpassade till mikroproduktion och smarta nätlösningar. Därför föreslogs ett nytt undantag i kapitel 4.3.1:

”Ett undantag av följande lydelse bör införas: Ett internt lågspänningsnät för delning av energi får byggas eller användas utan tillstånd 1. inom en egen fastighet, och 2. mellan byggnader och anläggningar som var och en även har en anslutning till en ledning eller ett ledningsnät som används med stöd av nätkoncession.

Det bör inte finnas någon begränsning i rätten att överföra el för annans räkning.” (SOU 2019:30)

Resultat från Ekstas projekt i fas 1 spelades in till utredningen. Som resultat av utredningen genomfördes 2022-01-01 förordningsförändring i (2007:215), som möjliggöra delning av el mellan både byggnader och fastigheter. Vid varje ansökan för undantag från kravet om nätkoncession kommer Energimarknadsinspektionen (EI) att pröva och tolkar reglerna.

---

<sup>5</sup> Införandet av energigemenskaper kommer från EUs ”Ren energi-paket” där en lagstiftning om dessa ska introducera en ny organisationsform på energimarknaden

## **Ekonomi**

Den ekonomiska nyttan med mikronätet har delvis haft en direkt koppling som härrör från att solenergiproduktionen bidragit till att förbättra byggnadernas energiprestanda och därigenom berättiga byggprojekten till Boverkets investeringsstöd. Lönsamheten kopplas inte till hur kostnaderna för investeringen och egen arbetstid kan kompenseras av en ökning av egenanvändningsgraden av den producerade solelen. Snarare utvärderas lönsamheten från projektet som lärdomar inom bolaget, där kunskapsutveckling och anpassning inför framtida förändringar av energisystem är centrala. Eksta ser vinningen från projektet som en del av en utveckling av teknik- och konceptlösningar.

## **Affärsmodeller för brukarflexibilitet kopplat till Blockchain-koncept**

Möjligheter kring affärsmodeller som bygger på brukarflexibilitet och ökat mervärde från solcellsanläggningar har utretts av Högskolan i Halmstad, som också är projektpartner.

Under denna del av arbetet har företaget Eljun varit delaktig och verifierat redovisade resultat och diskussioner. Verifieringsarbetet var särskilt kopplat till den workshop som hölls med aktörer i fastighetsbranschen inom ramen för projektet, där byggherrar och fastighetsutvecklare medverkade för att identifiera behov och möjligheter kopplat till deras roller.

I detta stycke presenteras en affärsmodell för incitament för brukare att öka sin flexibilitet och sitt engagemang kring användning av producerad solen genom Blockchain-konceptet. Med brukare avses verksamhetsutövare och hyresgäster.

Inledningsvis ges en bakgrund till energigemenskaper. Vidare redovisas en möjlig struktur för Eksta att införa Blockchain-konceptet för att ytterligare engagera sina hyresgäster i mikronätets funktion och drift.

## **Bakgrund**

När flertalet aktörer utbyter energitjänster kallas relationen för en *energigemenskap*. En energigemenskap kan till exempel vara en grupp fastigheter med solcellsanläggningar och batterilager som delar överskottsel och lagringskapacitet mellan varandra.

Energigemenskaper har identifierats av EU som ett av flera verktyg i syfte att fasa ut fossila bränslen och fasa in förnybara energikällor i energisektorn. Redan 2016 lämnade EU-kommissionen in lagförslaget *Ren energi för alla i Europa*, även

kallat *Ren energipaketet*<sup>6</sup>. Förslaget verkar för att uppfylla EU:s antagande i Parisavtalet och ska fungera vägledande för varje medlemsland i deras energilagstiftning. I Sverige har Energimarknadsinspektionen (EI) fått i uppdrag av regeringen att utreda möjligheter för Sverige att delta i arbetet.

Det traditionella centralstyrda elsystemet bygger på en envägs kommunikation med synsättet att konsumenter är passiva. Decentraliserade elsystem i form av energigemenskaper möjliggör en mer dynamisk relation mellan producenter och konsumenter. De involverade aktörerna kan antingen producera el, konsumera el eller både och.

Aktörer som är både konsumenter och producenter av el kallas *prosumenter*. Det har visat sig att när enskilda aktörer blir aktiva i energifrågor kopplat till förbrukning och produktion av el, ökar deras kunskap inom området och därmed handlingsvilja, till exempel genom att använda el på ett mer flexibelt sätt. Brukarflexibilitet inom energigemenskaper framhålls som en viktig del i att uppnå EUs mål inom *Ren energi för alla i Europa*. (Mattsson, 2021)

### **Blockchain-funktion**

Energigemenskaper kan utformas på olika sätt. En metod är systemet för *Blockchain*, som bygger på ett decentraliserat system för informationsutbyte. Aktörer inom Blockchain-systemet byter information med varandra befriat från en centralstyrd aktör.

Blockchain utvecklades 1991, men blev först vida använt 2009 då Satoshi Nakamoto genom Blockchain-tekniken skapade kryptovalutan Bitcoin. Idén med kryptovalutor baseras på handel utan mellanhänder, utan en bank, vilket möjliggörs med hjälp av Blockchain-tekniken (Casino et al., 2019).

Blockchain håller på att omforma energibranschen. Tekniken är en effektiv metod för att fördela produktionskapacitet till en viss användningsplats. Blockchain är ett viktigt verktyg för att påskynda en minskning av kolberoendet eftersom den gör överföringar spårbara, säkra och snabba.

Att möjliggöra energiutbyte är en av de mest relevanta möjligheterna för Blockchain för att etablera nya sociotekniska processer och underlätta säkert utbyte av resurser. Tillgång till resurs- och energi-oberoende är två av de mest angelägna frågorna för människor för det framtida samhällets och ekosystemets välbefinnande (Andoni et al., 2019).

Många forskare och entreprenörer anser att Blockchain-tekniken kommer att påverka energisektorn avsevärt genom att möjliggöra skapandet av nya

---

<sup>6</sup> <https://www.ei.se/bransch/eu-direktiv-och-forordningar>

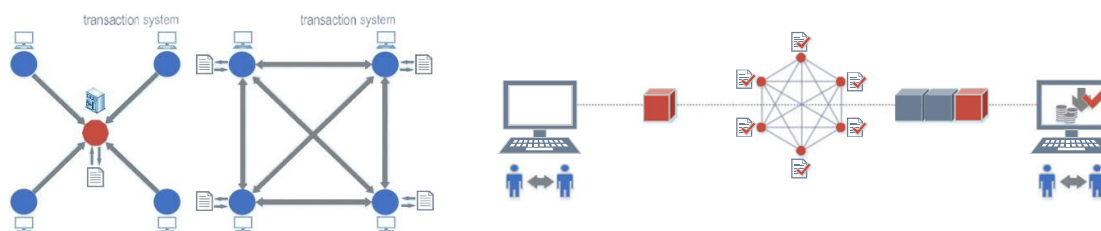
marknadsplatser för förnybar energi, vilket kommer att bidra till att garantera den framtida energiproduktionen.

Inom Blockchain anges varje möte eller informationsutbyte som ett block.

Eftersom varje möte innehåller information från föregående möte bildas kedjor av block. Mer konkret består varje block av primärt tre delar:

1. Data/information
2. Hash
3. Hash från föregående block.

Informationsdelen består normalt av information om köpare och säljare, samt mängd och varutyp. Beroende på system som blockkedjan agerar mot varierar informationsdelen. Nästa del, hashen, kan liknas med ett fingeravtryck, vilket är en unik kod och den särskiljer varje block. För att ett block ska kunna bilda en kedja innehåller den även föregående blocks hash. Denna del gör det mycket svårt att obemärkt göra förändringar i ett block mitt i en kedja, vilket befäster Blockchains egenskap av att vara ett pålitligt system. Decentralisering är den viktigaste egenskapen hos Blockchain-tekniken som gör att den skiljer sig från det nuvarande centraliserade traditionella databassystemet eller servern som används vanligast vid transaktioner med traditionell struktur. Decentraliserad betyder att det inte behövs någon mellanhand eller central myndighet, till exempel en bank som överför pengar eller en advokat som bekräftar villkoren i ett kontrakt (Golosova and Romanovs, 2018). Varje deltagare eller utvald deltagare på en blockkedja Blockchain har tillgång till att verifiera sina transaktionspartners register och har tillgång till hela databasen och dess fullständiga historia direkt, utan hjälp av mellanhänder. Figur 16 visar skillnad mellan centraliserat och distribuerat system.



**Figur 16 Centraliserad och distribuerad transaktionsplattformar (vänster) och visuell skiss av en Blockchain-transaktion (höger) (Andoni et al., 2019)**

En annan egenskap hos Blockchain-tekniken är autonomin. Autonom betyder att efter det att Blockchain-applikationen har startats behöver kontraktet och dess

initiativtagare inte ha någon ytterligare kontakt. Automatisering innefattar införandet av algoritmer och regler som automatiskt kan utlösa självutförande, självförstärkning, självverifiering och självbegränsning av de smarta avtalens prestanda. Den digitala karaktären hos en Blockchains huvudbok innebär att information eller monetära transaktioner är knutna till beräkningslogik och i huvudsak programmerade regler som automatiskt utlöser transaktioner mellan noder utan behov av mänsklig interaktion, s.k. smarta kontrakt.

En annan viktig egenskap hos system av Blockchain- är dess koncept med peer-to-peer-system (P2P), som ger incitament att utbyta information eller ekonomiska transaktion mellan deltagande aktörer i systemet utan att det finns någon mellanhand av tredje parter eller centrala myndigheter. I ett P2P-nätverk är användarna ansvariga för att bevara det decentraliserade systemet (Raina and Sinha, 2019). Detta innebär att varje nod på servern måste fungera som både klient och server för andra noder på servern. Varje enhet har en kopia av dokumentet. Därför fungerar varje nod som en domänkontrollant och måste installera kopior från andra slutpunkter eller ladda upp data till olika slutpunkter (Pryanikov and Chugunov, 2017). Detta arbetssätt skiljer den från alla konventionella klient-server-konfigurationer. Den centrala servern kommer alltid att vara den från vilken kunden laddar ner dokument i klient-serverformat.

Processen för Blockchain-transaktioner går till enligt följande. Den önskade transaktionen sänds ut till ett P2P-nätverk bestående av de involverade aktörerna. Nätverket validerar transaktionen genom kända algoritmer. När transaktionen är verifierad kombineras den med tidigare transaktioner och ett nytt block bildas. Blocket läggs till den redan existerande kedjan på ett permanent.

Valideringsmekanismerna fungerar olika beroende på vilken typ av transaktion det handlar om. När det kommer till energitransaktioner och kryptovalutor handlar det ofta om PoW, proof-of-work. Denna mekanism medför en viss tröghet till transaktionen vilket gör det svårare att modifiera blocken och gör därmed systemet säkrare. En förändring av ett block i mitten av en kedja kommer därmed ta väldigt lång tid att genomföra eftersom samtliga efterföljande transaktioner i samtliga involverade aktörers kedjor behöver kontrolleras.

Immutabilitet innebär att överföringar inte kan ändras eller avaktiveras när de väl har registrerats i blockkedjan. Alla överföringar på blockkedjan dokumenteras formellt och datastämplas, vilket skapar ett permanent register. Som ett resultat av detta kan blockkedjan spåra data över tid, vilket möjliggör en säker och tillförlitlig uppföljning av data. Immutabilitet - förmågan hos en Blockchains register att förbli en permanent, oförglömlig och oföränderlig transaktionshistoria - är en distinkt egenskap som Blockchain-förespråkare framhåller som en kritisk fördel (Golosova & Romanovs, 2018). Oföränderlighet har kraften att förändra revision



till en snabb, effektiv och kostnadseffektiv metod och öka förtroendet och pålitligheten i de data som företag använder och delar dagligen. Metadata från det föregående blockets hash ingår alltid i den kryptografiska hashen när ett nytt block kopplas till ett befintligt (Raina & Sinha, 2019). Denna koppling gör kedjan "oövervinnelig" i den betydelsen att det inte går att ändra i eller ta bort filer när det har byggts och placerats i blockkedjan.

Tidsstämpeln är en liten datamängd som lagras i varje block som ett unikt serienummer, med det primära syftet att fastställa den exakta tidpunkten då blocket bröts och bekräftades av Blockchain-systemet. Detta beror på dess decentraliserade karaktär, som syftar till att hålla nätverkets noder så samordnade som möjligt (Li and Huang, 2020).

En annan betydande fördel med Blockchain-baserade system är deras säkerhet. Med end-to-end-krypterade data erbjuder Blockchain en oföränderlig registrering av transaktioner, vilket förhindrar bedrägerier och obehörig interaktion. Blockchain-information lagras tillsammans med ett datorsystem, vilket gör det nästan omöjligt att infiltrera det (Raina & Sinha, 2019). Dessutom kan Blockchain hantera integritetsfrågor bättre än konventionella datornätverk genom att kryptera data och kräva auktoriseringar för att begränsa åtkomsten.

Blockchain kan hantera transaktioner mycket snabbare än traditionella metoder eftersom den tar behovet för mellanhänder och ersätter manuella processer i transaktioner. Blockchain kan behandla en transaktion på några sekunder eller mindre i vissa fall. Hur snabbt ett Blockchain-baserat system kan behandla transaktioner beror dock på flera faktorer, bland annat storleken på varje datablock och nätverksaktiviteten (Wang and Su, 2020).

Blockchain kan också hjälpa företag att spara pengar eftersom systemet ökar hastigheten med vilken transaktioner behandlas. Den minskar också antalet uppgifter som måste göras för hand, till exempel aggregering och ändring av data samt initiativ för rapportering och revision. Blockkedjan gör det möjligt för företag att skapa innovativa affärsmodeller som bygger på decentralisering, distribution samt oföränderlighet och transparenskaraktärer (Casino et al., 2019).

### **Blockchain vid Ekstas mikronät**

Syftet med den här studien kopplat till mikronätet vid Eksta är att undersöka de möjligheter som Blockchain-tekniken specifikt kan ge inom distributionen av solel i syfte att övervaka konsumenternas beteende och ge dem incitament till ökad egenanvändning av solel.

### **Implementering av Blockchain vid Eksta**

För att kunna utforma Blockchain-tekniken för Eksta måste rådande förutsättningarna kartläggas. En grundlig kartläggning av hur systemen fungerar leder till identifiering av de utmaningar som systemet står inför. Systemet för att tillhandahålla solceller för el till hyresgästerna i detta projekt involverar flera intressenter utöver Eksta, t.ex:

- Hyresgästerna, som är konsumenter och slutanvändare av el.
- Ferroamp elteknik AB, som tillhandahåller hårdvaror, och mätutrustning för analys och övervakning av förbrukning till Eksta, vilka huvudsakligen används för flödesövervakning och som underlag för fakturering.
- Elvaco AB, som är leverantör av produkter och tjänster för fjärravläsning av mätare och tillhandahåller avläsningarna till Eksta.
- Ellevio, som är elnätsägare och elleverantörshandelsbolag.

Intressenterna skiljer sig åt i varje enskilt projekt, men principen att identifiera dem och deras roll i systemet är densamma. Beställningsflödet av el i det nuvarande systemet, utan Blockchain, omfattar flera steg. Förfrågan om el initieras av hyresgästerna. När begäran har mottagits kontrollerar Ferroamp-portalerna elbehoven. Härifrån finns det två olika vägar till beställningen av elleverans:

- Om mikronätet har tillgänglig solceller momentan eller el i batterier skickar det den till den hyresgäst som begärde den.
- Om mikronätet inte har tillräckligt med el initieras begäran om att köpa el från Ellevio av Eksta. Eksta genomför köpet och Ellevio skickar sedan elen till hyresgästen.

När elen har levererats till hyresgästen återstår Ekstas faktureringsprocess. För att kunna fakturera hyresgästen måste Eksta göra två separata avläsningar från Elvacos mätare som visar hur mycket solceller som förbrukas och Ellevio-mätare som visar hur mycket el som förbrukats från elhandelsbolaget. När avläsningen är klar faktureras hyresgästen. Även denna del är projektspecifik, men principerna för hur analysen genomförs och vad som behöver identifieras är densamma för snarlika projekt.

### **Utmaningar i det nuvarande systemet**

För att kunna utforma en möjlig användning för Blockchain för energisystem måste utmaningarna identifieras. Några av dessa presenteras i nedan.

- Oförmåga att matcha utbud och efterfrågan

Världens befolkning ökar kraftigt, vilket kräver ett betydande behov av att producera mer solceller globalt. Att matcha solcellerproduktion med den ökande efterfrågan är en viktig och avgörande fråga världen över. Ett problem med solenergi är dess intermittenta drift; om solinstrålningen uteblir på grund av skugga eller nattid på dygnet, produceras ingen energi. Solenergin kan bara

tillgodose en efterfrågan då solinstrålning finns tillgänglig. Solenergi är oanvändbar vid dygnets mörka tider eller när det inte är molnigt. Detta har en större effekt på vissa platser runt om i världen, med tanke på att vissa dessa upplever mörka perioder under mer än hälften av året. Solenergi kan inte heller användas för att täcka elbehovet under natten utan användning av någon form av energilagring.

- Effektivitetsutmaningar

Mikronätet är inte optimerat utifrån efterfrågan och produktion av el eftersom brukarbeteendet inte övervakas eller analyseras. För att möjliggöra det, behöver varje hyresgäst ha ett individuellt abonnemang hos Ellevio, vilket de inte har i dagsläget. Eksta föredrar att fördela el till sina hyresgäster. Överskottselen i mikronätet säljs i dagsläget till Ellevio till ett lägre pris jämfört med det pris som Eksta får köpa el av Ellevio. Detta fall av olika ersättning utgör incitamentet att öka egenanvändningsgraden av den producerade solelen, vilket är motivet för mikronätsprojektet.

- Finansiella utmaningar:

Varje hyresgäst måste ha ett individuellt abonnemang hos elleverantörsbolaget Ellevio, vilket medför extra kostnader för Eksta. Dessutom är kostnaden för att köpa el från Ellevio högre än vad Eksta debiterar Ellevio vid försäljning av el.

- Debitering

Efter den sista dagen i varje faktureringscykel kan det i genomsnitt ta upp till en månad innan elkonsumenter får sina elräkningar för den aktuella perioden. Detta gör det svårt för enskilda konsumenter att kontrollera att deras räkningar faktiskt är korrekta, särskilt med tanke på att elpriserna varierar över dygnet. När en räkning är betald kan handläggningstiden också variera, vilket ofta förlänger hela processen. Att byta energileverantör i ett försök att få tillgång till billigare tjänster tar också tid i anspråk. Bristen på information om de olika leverantörerna av förnybar energi utgör ett problem eftersom slutanvändare av el inte kan kartlägga tillgängliga alternativ.

- Ursprungsredovisning vid debitering

Energibolag har krav att specificera hur mycket el som används, men det finns inga krav på att redovisa elens ursprung. Detta gör att slutanvändare inte vet om den el de får kommer från förnybara eller icke-förnybara källor, eller i vissa fall från båda. Även om denna information offentliggörs är det fortfarande svårt för konsumenterna att kontrollera att den el de använder verkligen och helt och hållet är förnybar. Solelproducenter som säljer el till elnätet måste å andra sidan ta reda på vart elen säljs, för att få ersättning för överskottet. Denna okunskap har skapat

ett system utan aktiva eller reglerade förbindelser mellan de olika berörda aktörerna.

- Kundrelationer

Det nuvarande mikronätet utan Blockchain erbjuder en enkelriktad affärsrelation; från Eksta till hyresgäster och kunder. En dubbelriktad relation är dock en idealisk kundrelation som Eksta skulle föredra.

Ovan beskrivna utmaningar är direkt kopplade till de förutsättningar som gäller det studerade projektet. Att identifiera utmaningarna för rådande förutsättningar är nyckeln till att identifiera om Blockchain är applicerbart. Det är viktigt att notera att utmaningarna relaterar till de förutsättningar som gäller i en specifik situation och att dess syfte passar rådande motiv för implementering.

### **Möjligheter med Blockchain**

Blockchain-systemet kan föreslå lösningar till de identifierade utmaningar. Den lösning som presenteras här är specifikt anpassad till Ekstas mål med det aktuella projektet.

- Plattformar

En decentraliserad P2P-plattform för energihandel som eliminerar mellanhänder är ett viktigt bidrag från Blockchain-systemet i mikronät.

- Processer

Blockchain kan ge kostnadseffektivitet, tidseffektivitet, öppenhet, automatisering och säkerhet i flera processer, t.ex. kommunikation, fakturering, nätförvaltning, försäljning och marknadsföring, mätning och dataöverföring.

Blockchain möjliggör dessutom decentraliserad produktion för att ge slutanvändare av el som också är och producenter av el, så kallade prosumenter, inflytande över elhandeln.

För att uppnå det idealiska scenariot som beskrivs här med hjälp av Blockchain föreslås en lösning för smarta nät som bygger på Blockchain, där Blockchain kan tillhandahålla transaktions- och kontrollskikt för smarta nät. En sådan lösning har tre dimensioner:

- 1) Datainfrastruktur (kallas Trading Chain i detta projekt):
  - a) Kan användas av konkurrerande aktörer.
  - b) Säkerställer integritet, äkthet, sekretess och kundintegritet.
  - c) Kan inte äventyras av någon enskild aktör.
- 2) Finansiella transaktioner (kallas fakturakedja i detta projekt)
  - a) Stödjer innovation i fråga om tjänster.
  - b) Minimerar och eliminerar transaktionskostnader.

- 3) Kontrollarkitektur som bygger på Internet of things (utförs av mätare från Ferroamp och Elvaco).
  - a) Är kompatibel med komponenternas API:er.
  - b) Stödjer ett mikronät av smarta styrenheter.
  - c) Är distribuerad för att minimera latensid och energi samt öka integriteten.

Den föreslagna plattformen skulle göra det möjligt för Eksta och deras hyresgäster att producera och konsumera el från ett mikronät med Blockchain som *prosument*. För detta projekt föreslås en så kallad hybridblockchain. Den funktion som föreslås för Eksta är ett så kallat "PoA" där nätverket auktoriserar Eksta (systemadministratören) att spela rollen som verifierare och att godkänna transaktioner. En nod inrättas för varje hyresgäst i nätverket och den energi som genereras av varje nod läggs på energimarkören. Den hyresgäst (nod) som saknar el kan köpa och använda el på marknaden.

Tre lager av Blockchains fungerar som en decentraliserad och pålitlig plattform för energihandel och ett säkert nätverk för datakommunikation;

- 1) lager för energihandel och system för smarta nät implementeras där systemet för smarta nät hanterar komponenterna i det smarta nätet,
- 2) laget för energihandel implementerar en decentraliserad P2P-algoritm för energihandel och
- 3) blockkedjelagret.

Blockchain för Ekstas mikronät föreslås vara en lösning med dubbla kedjor med en mini DeFi-funktion för staking. För denna lösning har två typer av tokens utvecklats, vilka beskrivs nedan.

- Sol-Token

Sol-Token kommer att utvecklas av Eksta på en offentlig blockkedja och kommer att noteras på en kryptobörs (t.ex. Binance, Coinbase osv.). Priset på Sol-token bestäms alltid enligt priset på en "enhet solel" genom ett smart kontrakt. Sol-token har som syfte att ge incitament till dess innehavare att använda Ekstas producerade solel.

- Trade-Token (TT)

Trade-token kommer också att utvecklas av Eksta för att användas som valuta för energihandel. Trade-token är ett stabilt mynt som är knutet till statligt garanterad kryptovaluta, sk Fiatpengar.

För båda tokenerna fungerar Eksta som pool. Den dubbla kedjemekanismen omfattar handelskedja och fakturakedja.

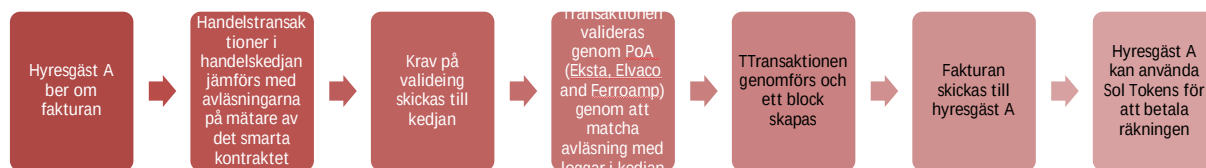
Handelskedjan är den plats där hela handeln med solel och köpt el sker. Den inledande begäran från den nod som är i behov av el sänds till blockkedjenätverket. Den första noden med tillgänglig överskottsel "accepterar begäran" och levererar elen. Eftersom den begärande noden inte kan betala direkt till leverantören kommer den begärande noden (när den accepterar erbjudandet) automatiskt att köpa den nödvändiga mängden Trade-token för att genomföra transaktionen från Eksta. På detta sätt agerar Eksta som ensam ägare av elen. Transaktionen valideras av Eksta genom PoA. När transaktionen är validerad och genomförd formas blocket och läggs till i kedjan. När denna process är avslutad kommer både den begärande och den tillhandahållande noden att få i Sol-Token. Processen för handelskedjan beskrivs i följande och visas i figur 17.

Handelskedjan ger incitament till konsumtion av solel, gör det möjligt för Eksta att övervaka konsumtionsbeteendet och förbättrar insynen i användarnas beteende i hela ekosystemet samt motiverar konsumenterna att anpassa sitt konsumtionsbeteende för att få incitament. Dessutom är Sol-Token en token som kan bytas på offentliga börser mot alla andra krypto- eller Fiatpengar. Sol-Token kan också användas antingen frivilligt eller automatiskt vid betalning av fakturor av de hyresgäster som innehar dem. Sol-Token kan också sättas på spel.



**Figur 17. Handelskedjan**

Fakturakedjan är den kedja som huvudsakligen används för fakturering. Till skillnad från det nuvarande mikronätssystemet där faktureringen alltid initieras av Eksta, initieras faktureringsbegäran här av hyresgästerna genom ett smart kontrakt. Faktureringsbegäran initieras och sänds till nätverket. Den begärande nodens uppgifter om handelstransaktioner i handelskedjan jämförs med avläsningarna på mätare av det smarta kontraktet. Om avläsningarna och handelsregistren stämmer överens, skickas begäran om godkännande till nätverket där transaktionen valideras genom PoA (av Eksta). När transaktionen är verifierad och blocket är format utfärdas räkningen och den begärande noden kan i detta skede använda Sol-Token vid betalning av fakturan. Processen för fakturakedjan visas i figur 18.



**Figur 18. Faktureringskedjan**

Faktureringskedjan ökar transparensen i faktureringen, ger underlag att öka hyresgästernas förtroende för Eksta, automatiserar faktureringsprocessen och gör faktureringsprocessen både oåterkallelig och granskningsbar.

### Fördelar och utmaningar

De fördelar som den föreslagna Blockchain-lösningen för Ekstas mikronät erbjuder kan delas in i två kategorier av direkta och indirekta fördelar. Direkta fördelar är de fördelar som exakt adresserar befintliga luckor i det nuvarande mikronätssystemet. Dessa direkta fördelar ger incitament till energihushållning genom att hyresgäster motiveras till att använda el när den produceras lokalt, förenklad fakturering och kundrelationen mellan Eksta och hyresgäster blir bättre effektivitet i processerna ökar, decentralisering, granskningsbarhet och skapande av ett självförsörjande system. De indirekta fördelar som den föreslagna lösningen erbjuder är dessutom incitament för att uppmuntra konsumenternas beteende i riktning mot en ökad användning av lokalt producerad el. Utvecklingen av ett sådant system har dock utmaningar och hinder. I det här fallet är hindren följande: brist på lämpliga regelverk om energigemenskaper och försäljning, konsumenters kunskap och acceptans av ett nytt system, den föreslagna lösningens driftskompatibilitet med befintliga och äldre system och skalning av lösningen upp till ett större antal slutanvändare.

### Generaliserbarhet och överförbarhet

Med generaliserbarhet avses i vilken grad resultaten av en studie kan generaliseras från studiens urval till hela befolkningen, medan överförbarhet avser i vilken grad resultaten av en kvalitativ studie kan överföras till andra sammanhang eller miljöer med andra respondenter. I den här studien genomförde vi en kvalitativ fallstudieforskning.

För att uppnå generaliserbarhet och överförbarhet genomförde vi efter avslutad studie en workshop där vi bjöd in både personer från Eksta, fallföretaget, samt 25 andra företag i samma verksamhet och kontext, samt Stockholm Supergrid. Totalt medverkade 42 personer. I denna workshop genomfördes flera aktiviteter. Efter en genomgång om Blockchain-tekniken presenterades kartläggningen av det nuvarande systemet följt av diskussioner i fem grupper med fokus på likheter och skillnader mellan deras nuvarande system och det kartlagda fallet i denna studie.

Deltagarna identifierade därefter tillsammans föredragshållaren utmaningarna i det befintliga systemet. Därpå presenterades den föreslagna Blockchain-baserade lösningen för företagen och de reflekterade över och föreslog potentiella utmaningar och fördelar med ett sådant system i sina bestånd.

Resultatet av workshopen var ett godkännande av kartläggningen av det nuvarande systemet med dess utmaningar liksom vilka fördelar som den blockkedjebaserade lösningen skulle kunna tillföra. Noterbart är dock att principerna för att identifiera intressenter och relationerna mellan intressenterna är förhållandevis generaliserbart, som beskrivits ovan. Däremot är utmaningarna mer situationsberoende och därigenom svårare att generalisera och som en följd även den föreslagna Blockchain-lösningen.

### **Mikronät framtida scenario**

Utöver arbetet med att utvärdera mikronätets fas 2, har en analys även utförts på möjliga framtida scenarier för mikronätets energibalans. I de framtida scenarierna har mikronätets elanvändningsmönster förändrats till följd av ett ökat behov av laddstationer. Beräkningar har gjorts för att undersöka hur den förändrande elanvändningen påverkar användning av solel inom mikronätsområdet. Analysen har utförts som en del av ett examensarbete vid Uppsala universitet 2020 under handledning av experter på WSP (Stoltz and Skrealid, 2020). Resultaten från arbetet sammanfattas i detta avsnitt.

### **Prognos för laddstationer och elanvändning**

En prognos för antalet laddfordon och laddstationer inom mikronätsområdet har tagits fram baserat på bl.a. befolkningens mängd och antal personbilar i Kungsbacka kommun samt nationella prognoser för marknadsandelar för elfordon. Prognosen visar att det totala antalet personbilar i Kungsbacka kommun förväntas nå nästan 52 000 till år 2030. Andelen elfordon i Kungsbacka kommun förväntas nå 66 %, varav 21 % laddhybrider och 45 % elfordon. Den prognostiserade andelen eldrivna personbilar i Kungsbacka kommun antas vara giltig för det område i Fjärås där mikronätet är beläget. För mikronätsområdet innebär det ett prognostiserat behov av laddstationer enligt Tabell 9.



**Tabell 9: Nuvarande och prognostiserat antal laddstationer inom mikronätsområdet för ett antal olika scenarier. \*Framtida scenarier inkluderar inte servicefordon.**

|              | 2021  |         | 2025  |            | 2030  |            | 100 % elfordon |            |
|--------------|-------|---------|-------|------------|-------|------------|----------------|------------|
| Byggnad      | Antal | Typ     | Antal | Typ        | Antal | Typ        | Antal          | Typ        |
| Hus 1–4      | 2     | Hem     | 4     | Hem        | 10    | Hem        | 16             | Hem        |
| Äldreboende  | 12*   | Service | 10    | Hem & Arb. | 27    | Hem & Arb. | 40             | Hem & Arb. |
| Gruppboende  |       |         | 1     | Hem & Arb. | 2     | Hem & Arb. | 4              | Hem & Arb. |
| Förskola     |       |         | 4     | Arbete     | 10    | Arbete     | 16             | Arbete     |
| Expedition   | 2*    | Service | 1     | Arbete     | 4     | Arbete     | 6              | Arbete     |
| <b>Summa</b> | 2     |         | 20    |            | 53    |            | 82             |            |

För beräkning av elanvändning från det prognostiserade antalet laddstationer användes en simuleringsmodell framtagen vid Uppsala universitet (Shepero and Munkhammar, 2018). Enligt simuleringsresultatet beräknas elanvändningen från den prognostiserade antalet laddstationer nå ett el- och effektbehov enligt Tabell 10.

**Tabell 10: Beräknad elanvändning och effekttoppar för laddstationerna inom mikronätsområdet.**

|                                | Scenario 2025 | Scenario 2030 | Scenario 100 % |        |
|--------------------------------|---------------|---------------|----------------|--------|
| <b>Elanvändning</b>            | 14 900        | 28 900        | 32 400         | kWh/år |
| <b>Effekttopp medeldag</b>     | 5,5           | 12,5          | 8,2            | kW     |
| <b>Årets högsta effekttopp</b> | 29,6          | 33,3          | 37             | kW     |

Resultatet visar att ökningen av energibehov är relativt liten och hanterbar. Elanvändningen beräknas öka som mest med 5,5 %, men ökningen av effektbehovet till följd av laddstationer för elfordon kan komma att bli betydligt större. Beräkningarna visade att årets högsta effekttopp kan öka med upp till 31 %. Resultatet belyser behovet av att använda system som kan hantera och styra *tidpunkten* för när laddning sker för att undvika höga effekttoppar och effektkostnader.

### Scenario 2025

I detta scenario undersöks en situation där elanvändningen och solelproduktionen har ökat. Elanvändningen har ökat enligt prognos för elfordon i scenario 2025 ovan. Antalet tillkommande laddstationer i scenario 2025 framgår av Tabell 11.

Notera att simuleringen enbart innehåller personbilar som ägs av de som bor eller arbetar inom mikronätsområdet, servicefordon finns inte med i simuleringen.

Nuvarande elanvändningen för laddning av eldrivna servicefordon finns representerad i den uppmätta elanvändningen.

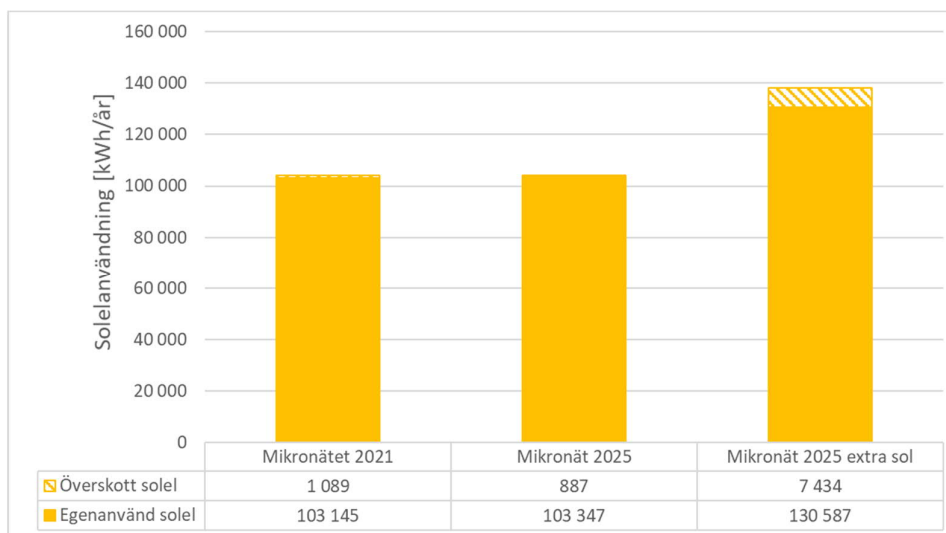
Scenario 2025 innefattar även en utbyggnad av solcellsanläggningar i syfte att undersöka den eventuella nyttan av mer sol. I scenariot kompletteras de befintliga solcellsanläggningarna med ytterligare solcellsmoduler på nu oanvända takytor som bedöms som lämpliga för installation. De anläggningar som har utökats är belägna på äldreboendet, gruppboendet och förskolan. Den installerade effekten och beräknade solelproduktionen från de utbyggda solcellsanläggningarna presenteras Tabell 11.

**Tabell 11: Mikronätets tekniska installationer i scenario 2025.**

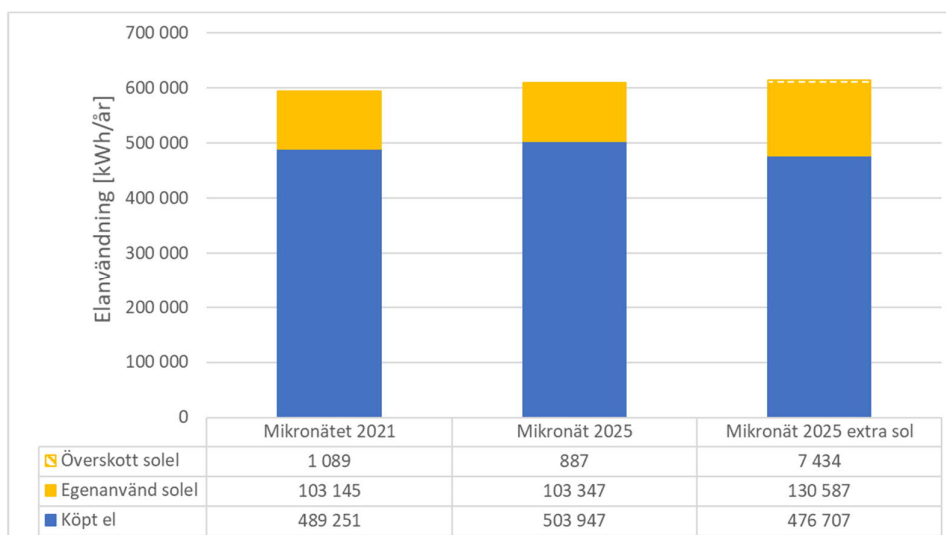
| Byggnad            | Elanvändning<br>[kWh/år] | Solcellseffekt<br>[kW <sub>p</sub> ] | Solelproduktio<br>n [kWh/år] | Antal<br>Laddplatser |
|--------------------|--------------------------|--------------------------------------|------------------------------|----------------------|
| Hus 1              | 11 800                   | 11,7                                 | 8 800                        |                      |
| <b>Hus 2</b>       | 9 200                    | 11,7                                 | 9 300                        | <b>2</b>             |
| <b>Hus 3</b>       | 10 800                   | 9                                    | 7 900                        | 2                    |
| Hus 4              | 9 300                    | -                                    | -                            |                      |
| Undercentral       | 13 400                   | 6                                    | 5 900                        |                      |
| <b>Äldreboende</b> | 432 000                  | 39+32                                | <b>56 900</b>                | 12+10                |
| <b>Gruppboende</b> | 24 000                   | 4+4                                  | <b>6 800</b>                 | <b>1</b>             |
| <b>Förskola</b>    | 68 000                   | 31+7                                 | <b>32 600</b>                | <b>4</b>             |
| Expedition         | 15 300                   | 10,8                                 | 9 800                        | 2+1                  |
| <b>Laddfordon</b>  | <b>14 900</b>            |                                      |                              |                      |
| <b>Totalt</b>      | <b>608 700</b>           | <b>166,2</b>                         | <b>138 000</b>               | 16+18                |

Elanvändningen ökar i Scenario 2025 med 14 900 kWh/år jämfört med det utbyggda mikronätet. Solcellsanläggningarna på äldreboendet, gruppboendet och förskolan har utökats med totalt 43 kW<sub>p</sub> vilket beräknas ge ytterligare ca 34 000 kWh solel per år.

I Figur 19 och 20 visas energibalansen för tre scenarier där scenario "Mikronätet 2021" är det utökade mikronätet, scenario "Mikronätet 2025" är samma som föregående plus elfordonsladdning enligt prognos 2025 och scenario "Mikronät 2025 extra sol" avser samma som föregående plus utbyggda solcellsanläggningar enligt beskrivning ovan.



**Figur 19. Egenanvändning och överskottsproduktion av sol för tre scenarier för mikronätet. Värden i figuren är beräknade med timvis data och summerade för ett år.**



**Figur 20. Årlig elanvändning, egenanvändning av sol och överskott av sol för tre scenarier för mikronätet. Värden i figuren är beräknade med timvis data och summerade för ett år.**

Det framgår av resultatet för *Mikronätet 2025* att den prognostiserade elanvändningen av laddfordon har liten påverkan på egenanvändningen av sol från befintliga solcellsanläggningar. Mängden egenanvänd och överskottsel förändras marginellt från *Mikronätet 2021* till *Mikronätet 2025*. I simulerade elanvändningen för laddning av elfordon sker större delen av laddningen morgontid och kvällstid, vilket är tidpunkter när solelproduktion är lägre. Med mer elfordonsladdning kommer troligtvis solelöverskottet att minska till nära noll.

I scenariot *Mikronätet 2025 extra sol* produceras mer solel inom mikronätet vilket gör att mängden egenanvänd solel ökar men även mängden solelöverskott. Det finns alltså inte ett direkt behov av mer solel enligt prognosen till 2025. Behovet av att köpa in el till mikronätsområdet minskar med 5 % och områdets självförsörjningsgrad ökar från 17 % till 22 %. Mer än en femtedel av elanvändningen skulle då förses med lokalproducerad solel.

Resultatet visar att mer solceller kan installeras i mikronätsområdet och fortfarande upprätthålla en hög egenanvändningsgrad på 95 %. När mer laddning av elfordon introduceras i mikronätet kommer troligtvis egenanvändningen av solel att öka och solelöverskottet att minska.

## Resultat

### Utökat mikronät, Fas 2

Pilotprojektet för ett mikronät baserat på likströmsteknik i befintlig bebyggelse, som redovisas i denna rapport har visat att mikronätets komponenter och dess förväntade funktion inte varit färdiganpassad till tillämpningen. Utvärderingen av mikronätets drift skulle enligt plan vara kopplat till högupplöst data och tillgänglig via mikronätets tillhörande mjukvara. Stora störningar i driften har medfört att tillkommande utrustning har fått installeras och manuell inhämtning av data fått göras. Detta har medfört att den initialt planerade omfattande utvärderingen av funktionen av mikronätets fas 2 inte kunnat göras som tänkt från början.

Resultat av utvärderingen av data för tre månader har gett uppmätt egenanvändning något lägre än det beräknade, 87 % jämfört med 98 % som är resultatet från beräkningar för samma månader. Av utvärderingen framgår att försäljning och köp av el sker under samma timme nästan varje dag under månaderna maj, juni och juli. Vid korrekt funktionen för mikronätet finns potential till ökad egenanvändningsgrad.

Erfarenheter från projektet som ger underlag att justera vid framtida projekt för mikronät sammanfattas enligt följande:

- Upprättande av en nära kontakt med leverantörer för att tidigt hitta fel och säkerställa bra drift är viktigt.
- Felfunktioner och driftstörningar behöver larmfunktion. Exempelvis sammankoppling till överordnat styrsystem.
- För att få en fullständig bild av mikronätets funktion bör mätdata med så hög upplösning som möjligt utvärderas för att kunna identifiera momentana strömmar.
- Ett fristående system för insamling av mätdata, besparar mycket tid och arbete för t.ex. tappad kontakt med systemets interna mätare samt hade haft en verifierande funktion av mätadata.

- Tidig fastställande av metod för insamling av stora mängder mätdata över långa perioder.
- En tydlig guide med olika driftfall och styrprinciper för mikronät behöver tas fram av tillverkare och leverantörer som riktar sig mot slutanvändaren.

Detta utvecklingsprojekt har förutom utvärdering av elproduktion och distribution inom mikronätet gett åtskilliga värden till Eksta liksom till aktörer som varit involverade i teknikens installation. För Eksta har projektet bidragit till en förståelse av vikten av förberedelse inför ett utvecklingsprojekt. Lärdomar har varit att det är av stor betydelse att inför ett utvecklingsprojekt uppnå samsyn inom projektgruppen gällande projektets mål, förståelse för att ett utvecklingsprojekt kommer medföra utmaningar liksom att som beställare sätta goda förutsättningar för god kommunikation inom projektet.

Projektet har under dess löptid fått stor uppmärksamhet inom byggbranschen och Eksta har varit värdar för många studiebesök från Energirådgivare, beställargrupper inom fastighetsbranschen (BeBo, BeLok, SABO, kommuner m.fl.) och andra intressenter. Därutöver ingår Eksta med sina erfarenheter ur detta projekt som pilot inom det nystartade EU-projektet *”ENabling FLexibility provision by all Actors and sectors through markets and digital Technologies”* (ENFLATE), där smart teknik och koncept ska testas kopplat till flexibilitet för elbehov liksom reduktion av el-laster och där Svenska Miljöinstitutet AB (IVL) är projektledare för det svenska bidraget i projektet.

### **Affärsmodeller och Energigemenskaper**

En modell för Blockchain kopplat till mikronätets komponenter och slutanvändare av el har upprättats och beskrivits. Blockchain-tekniken har visat sig vara lämplig för användning inom energisystem och har potential att påverka energisektorn avsevärt genom att möjliggöra skapandet av nya marknadsplatser för förnybar energi.

### **Framtida möjligheter för mikronät vid Eksta**

Baserat på bl.a. befolkningsmängd och antal personbilar i Kungsbacka kommun samt nationella prognoser för marknadsandelar för elfordon kan ett ökat effektbehov i mikronätets område uppkomma. Inom projektet har beräkningar visat möjligheter till utbyggnation av solcellsanläggningar kopplat till framtida scenarior. Resultatet visar att mer solceller kan installeras i mikronätet samtidigt som en hög egenanvändningsgrad på 95 % kan upprätthållas. Ökad laddning av elfordon i mikronätet ökar troligtvis egenanvändningen av solel liksom minskar solelöverskottet.

## Slutsats

Inom ramen för detta projekt har utbyggnationen av ett mikronät i Fjärås i Kungsbacka utvärderats och jämförts med beräknad potential för dess nytta kopplat till ökning av egenanvänd solel inom området.

Sammantaget har detta utvecklingsprojekt gett stort värde till Eksta. Kunskap har byggt kring delning av el, både strategiskt kopplat till energiförsörjning liksom tekniskt, kopplat till mikronätets funktioner. Detta projekt liksom föregångsprojektet har gett Eksta verktyg och kunskap att arbeta vidare med sitt arbete inom förbättring och utveckling av energieffektivitet i deras fastighetsbestånd. Som ett direkt resultat av detta projekt deltar Eksta med start 2022 i ett EU-projekt, där teknik ska testas kopplat till flexibilitet för elbehov liksom reduktion av el-laster i flera länder.

Problem med installation och drift av såväl hård- liksom mjukvara från mikronätets komponenter har medfört att utvärderingen av mikronätets drift begränsats till 3 månader under sommaren 2022. Utvärderingen visar att egenanvändningsgraden för solel inom området utgör 87 %, medan beräknade värden visat 98 %. Data visar att detta värde kan ökas vid korrekt drift av mikronätet. Utöver denna tekniska utvärdering har även projektet visat vikten av förberedning inför och samordning av utvecklingsprojekt. Ytterligare resultat från projektet är därför påvisandet av vikten av att påbörja utvecklingsprojekt med en förståelse för att det är ny teknik som testas, vilket medför utmaningar som uppkommer under projektprocessen.

Scenarier för förändrad elanvändning inom området har upprättats och beräkningar för förändring av solcellsanläggningar och laddinfrastruktur har genomförts. Resultaten visar att det finns utrymme för att installera större solcellsanläggningar inom området samtidigt som egenanvändningsgraden av solel kan ökas ytterligare.

En modell för involvering av slutanvändare av el kopplat till mikronätet har upprättats. Modellen innehåller funktioner som kopplar till elbehov och solelproduktion, där syftet är att ge användare av el incitament att vara flexibla gällande effektuttag. Blockchain-konceptet visar god applicerbarhet för energisystem.

I rapporten har politiska, juridiska faktorer redovisats. Inom ramen för detta liksom dess föregångsprojekt har förändringar i IKN-förordningen gjorts. Dessa förändringar har bidragit till förenklingar för upprättande av elnät mellan byggnader och fastigheter, likt området i Fjärås. Ekonomiska aspekter utifrån ett beställarperspektiv har kopplats till mikronätets byggnation, där lönsamheten från projektet primärt utvärderas som lärdomar inom bolaget. Eksta har haft stor kunskapsutveckling inom delning av el där anpassning inför framtida förändringar av energisystem är centrala. Eksta ser vinningen från projektet som en del av en utveckling av teknik- och konceptlösningar.

## Referenser

- ANDONI, M., ROBU, V., FLYNN, D., ABRAM, S., GEACH, D., JENKINS, D., MCCALLUM, P. & PEACOCK, A. 2019. Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. *Renewable and sustainable energy reviews*, 100, 143-174.
- CASINO, F., DASAKLIS, T. K. & PATSAKIS, C. 2019. A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. *Telematics and informatics*, 36, 55-81.
- GOLOSOVA, J. & ROMANOV, A. The advantages and disadvantages of the blockchain technology. 2018 IEEE 6th workshop on advances in information, electronic and electrical engineering (AIEEE), 2018. IEEE, 1-6.
- LI, J. & HUANG, J. 2020. The expansion of China's solar energy: Challenges and policy options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132, 110002.
- MATTSSON, O. 2021. The potential role of energy communities in Sweden.
- PENTTILÄ, J., STIERNA, M. & WINKLER, C. 2019. Utveckling av helhetslösning för sol i bebyggelsen – kapacitetsutveckling
- PRYANIKOV, M. & CHUGUNOV, A. 2017. Blockchain as the communication basis for the digital economy development: advantages and problems. *International journal of open information technologies*, 5, 49-55.
- RAINA, G. & SINHA, S. 2019. Outlook on the Indian scenario of solar energy strategies: Policies and challenges. *Energy Strategy Reviews*, 24, 331-341.
- SHEPERO, M. & MUNKHAMMAR, J. 2018. Spatial Markov chain model for electric vehicle charging in cities using geographical information system (GIS) data. *Applied energy*, 231, 1089-1099.
- STOLTZ, C. & SKREALID, J. 2020. Analys av mikronät: Genomgång av regelverk och teknoekonomiskutvärdering av mikronätet i Fjärås.
- WANG, Q. & SU, M. 2020. Integrating blockchain technology into the energy sector—from theory of blockchain to research and application of energy blockchain. *Computer Science Review*, 37, 100275.



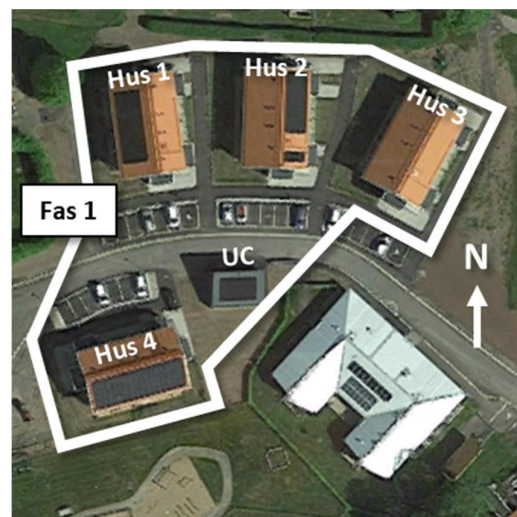
## Bilagor

### Beskrivning av Hus 1–4 och undercentralen från fas 1

Grundläggande byggnadsinformation för samtliga byggnader inom fas 1 presenteras i B1 och information om varje enskild byggnads elanvändning och solcellsanläggning presenteras i Tabell B1. Översiktsbild i Figur B1.

Tabell B1: Grundläggande byggnadsinformation för Hus 1–4.

|                           | Hus 1–4                    |
|---------------------------|----------------------------|
| Atemp                     | 330 m <sup>2</sup> per hus |
| Beräknad energianvändning | 40 kWh/m <sup>2</sup>      |
| Uppvärmning               | Fjärrvärme                 |
| Ventilationssystem        | FTX                        |



Figur B1: Översiktsbild ingående byggnader fas 1.

Tabell B2: Information om solcellsanläggningarna och elanvändningen i Hus 1–4 samt undercentralen.

|                    | Hus 1  | Hus 2    | Hus 3   | Hus 4 | UC     | Enhet               |
|--------------------|--------|----------|---------|-------|--------|---------------------|
| Elanvändning 2018  | 11 800 | 9 200    | 10 800  | 9 300 | 13 400 | kWh/år              |
| Väderstreck        | 80° SV | -110° NO | 120° SO | -     | 0° S   | grader              |
| Taklutning         | 30°    | 30°      | 30°     | -     | 33°    | grader              |
| Installerad effekt | 11,7   | 11,7     | 9       | -     | 6      | kW <sub>p</sub>     |
| Solelproduktion    | 8 800  | 9 300    | 7 900   | -     | 5 900  | kWh/år              |
| Prestanda          | 752    | 795      | 877     | -     | 983    | kWh/kW <sub>p</sub> |

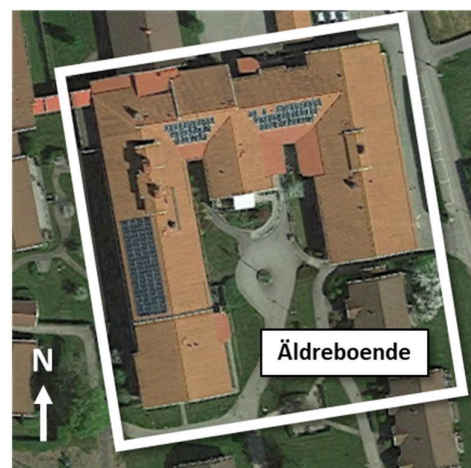
### Äldreboende

Måhaga äldreboende byggdes år 1916, men är om- och tillbyggt 1998. Byggnaden huserar 58 st lägenheter, gemensamma lokaler, personalutrymmen, kontorsutrymmen och ett storkök där mat tillagas till både äldreboendet och förskola. Solceller finns installerade på två av byggnadernas takytor.

I källarlokalen har hemtjänsten huvudkontor och de har 13 st hemtjänstbilar, varav en är laddhybrid och resterande helt eldrivna. Därför finns 8 st laddstolpar på parkeringsplatsen, vardera med en effektkapacitet på 3,6 kW. Denna last ingår i byggnadens elabonnemang.

**Tabell B3: Grundläggande byggnadsinformation för äldreboendet.**

| Äldreboende                      |            |                    |
|----------------------------------|------------|--------------------|
| <b>Atemp</b>                     | 4 123      | m <sup>2</sup>     |
| <b>Beräknad energianvändning</b> | 143        | kWh/m <sup>2</sup> |
| <b>Elanvändning 2018</b>         | 432 000    | kWh                |
| <b>Uppvärmning</b>               | Fjärrvärme |                    |
| <b>Ventilationssystem</b>        | FTX        |                    |



**Figur B2: Översiktsbild äldreboendet**

**Tabell B4: Information om äldreboendets solcellsanläggning.**

|                           | Tak mot<br>Sydväst | Tak mot Söder | Total  | Enhet               |
|---------------------------|--------------------|---------------|--------|---------------------|
| <b>Väderstreck</b>        | 260° V/SV          | 170° S        |        | grader              |
| <b>Taklutning</b>         | 15°                | 15°           |        | grader              |
| <b>Installerad effekt</b> | 22                 | 17            | 39     | kW <sub>p</sub>     |
| <b>Solelproduktion</b>    | 16 600             | 16 000        | 32 600 | kWh/år              |
| <b>Prestanda</b>          | 755                | 941           | 836    | kWh/kW <sub>p</sub> |

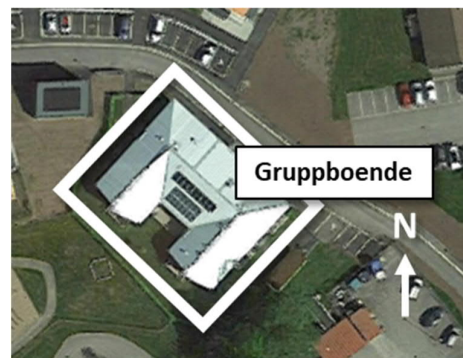
Äldreboendets solcellsanläggning har totalt två växelriktare av fabrikatet Fronius. Den befintliga solcellsanläggningen finns kvar i befintlig utformning men byggnaden har kompletterats med en EnergyHub för att kunna ansluta till likströmsnätet.

### Gruppboende

Byggnaden som huserar Prästgårdens gruppboende stod klar 2016 och består av sex lägenheter. Inom gruppboendet finns även personalutrymmen för de sex anställda som arbetar där.

**Tabell B5: Grundläggande byggnadsinformation för Gruppboendet.**

| Gruppboende                      |            |                    |
|----------------------------------|------------|--------------------|
| <b>Atemp</b>                     | 444        | m <sup>2</sup>     |
| <b>Beräknad energianvändning</b> | 179        | kWh/m <sup>2</sup> |
| <b>Elanvändning 2018</b>         | 24 000     | kWh                |
| <b>Uppvärmning</b>               | Fjärrvärme |                    |
| <b>Ventilationssystem</b>        | FTX        |                    |



**Figur B3: Översiktsbild gruppboendet.**

Byggnaden har en solcellsanläggning på taket med specifikationer enligt Tabell nedan. Byggnaden har en EnergyHub vilken fungerar både som växelriktare för solcellerna och tekniskt gränssnitt mot likströmsnätet.

**Tabell B6: Grundinformation för befintlig solcellsanläggning på gruppboendet.**

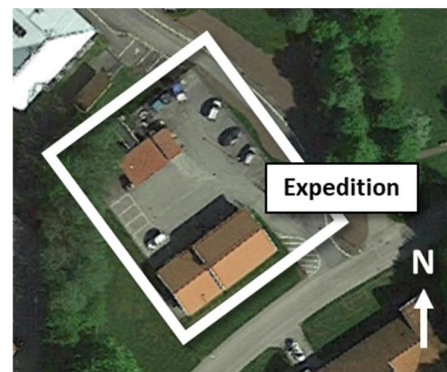
| Gruppboende Enhet         |         |                     |
|---------------------------|---------|---------------------|
| <b>Väderstreck</b>        | 225° SV | grader              |
| <b>Taklutning</b>         | 15°     | grader              |
| <b>Installerad effekt</b> | 4       | kW <sub>p</sub>     |
| <b>Solelproduktion</b>    | 3 200   | kWh/år              |
| <b>Prestanda</b>          | 800     | kWh/kW <sub>p</sub> |

### Expedition

Expeditionsbyggnaden används av Eksta Bostads AB själva och innefattar som kontor samt serviceutrymmen. På expeditionen arbetar sex anställda som använder två stycken servicefordon som är eldrivna. På parkeringen finns därför en laddstation med två uttag och en toppeffekt på 11 kW.

**Tabell B7: Grundläggande byggnadsinformation för Expeditionen.**

|                                  | Expedition |                    |
|----------------------------------|------------|--------------------|
| <b>Atemp</b>                     | 222        | m <sup>2</sup>     |
| <b>Beräknad energianvändning</b> | 85         | kWh/m <sup>2</sup> |
| <b>Elanvändning 2018</b>         | 15 300     | kWh                |
| <b>Uppvärmning</b>               | Fjärrvärme |                    |
| <b>Ventilationssystem</b>        | FTX        |                    |



**Figur B4: Översiktsbild expeditionen.**

Den tillgängliga data för expeditionens elanvändning har tidsupplösning på en månad. För att kunna utföra beräkningarna skapades en lastprofil med timvis upplösning baserat på elanvändningsprofil från liknande kontorslokal. Den månadsvisa elanvändningen dividerades med antalet timmar per månad och multiplicerades med användningsmönstret.

På expeditionens tak mot sydöst har en ny solcellsanläggning installerats enligt de specifikationer som presenteras i Tabell nedan. Byggnaden har en EnergyHub vilken fungerar både som växelriktare för solcellerna och tekniskt gränssnitt mot likströmsnätet.

**Tabell B8: Grundinformation om planerad solcellsanläggning för expeditionen.**

|                           | Expedition | Enhet               |
|---------------------------|------------|---------------------|
| <b>Väderstreck</b>        | 143° SO    | grader              |
| <b>Taklutning</b>         | 20°        | grader              |
| <b>Installerad effekt</b> | 10,8       | kW <sub>p</sub>     |
| <b>Solelproduktion</b>    | 9 800      | kWh/år              |
| <b>Prestanda</b>          | 907        | kWh/kW <sub>p</sub> |

## Förskola

Prästgårdsängens förskola uppfördes 2008 och är byggd med passivhusteknik.

**Tabell B9: Grundläggande byggnadsinformation för förskolan.**

| Förskolan                        |            |                    |
|----------------------------------|------------|--------------------|
| <b>Atemp</b>                     | 900        | m <sup>2</sup>     |
| <b>Beräknad energianvändning</b> | 64         | kWh/m <sup>2</sup> |
| <b>Elanvändning 2018</b>         | 68 000     | kWh                |
| <b>Uppvärmning</b>               | Fjärrvärme |                    |
| <b>Ventilationssystem</b>        | FTX        |                    |



**Figur B5: Översiktsbild förskolan.**

På två av byggnadens takytor finns solceller installerade enligt specifikationer i tabellen nedan.

**Tabell B10: Grundinformation för befintlig solcellsanläggning på förskolan.**

|                           | <b>Tak mot<br/>Sydväst</b> | <b>Tak mot<br/>Sydost</b> | <b>Total</b> | <b>Enhet</b>        |
|---------------------------|----------------------------|---------------------------|--------------|---------------------|
| <b>Väderstreck</b>        | 221° SV                    | 131° SO                   |              | grader              |
| <b>Taklutning</b>         | 15°                        | 15°                       | 15°          | grader              |
| <b>Installerad effekt</b> | 19                         | 12                        | 31           | kW <sub>p</sub>     |
| <b>Solelproduktion</b>    | 16 000                     | 10 800                    | 26 800       | kWh/år              |
| <b>Prestanda</b>          | 842                        | 900                       | 865          | kWh/kW <sub>p</sub> |

Förskolans solcellsanläggning har totalt fem växelriktare av fabrikatet Fronius. Den befintliga solcellsanläggningen finns kvar i befintlig utformning men byggnaden har kompletterats med en EnergyHub för att kunna ansluta till likströmsnätet.





## Bilder

Bilder från mikronätområdet i Fjärås.









## **Utredning av Blockchain-modell för Eksta och området för mikronätet**

# Blockchain as a business model for Eksta Bostads AB's microgrid

Author: Zara Zamani, Halmstad University

Work package leader: Kristian Widén, Halmstad University

## Table of contents

|                                                           |    |
|-----------------------------------------------------------|----|
| Blockchain as a business model for Eksta's microgrid..... | 1  |
| Introduction .....                                        | 3  |
| Key Concepts.....                                         | 6  |
| Blockchain technology.....                                | 10 |
| Potentials of blockchain technology.....                  | 11 |
| Field implementation .....                                | 14 |
| Challenges of current ecosystem.....                      | 16 |
| Solutions blockchain offers.....                          | 17 |
| Advantages and Challenges.....                            | 21 |
| Generalizability and Transferability.....                 | 22 |
| References.....                                           | 23 |

## Introduction

Renewable energy sources (RES) have faced severe developments over the past years, which has eventually led to massive changes in energy systems to manage and accommodate this development (Andoni et al., 2019).

It ensures energy systems' safe operation and stability by using flexibility measures such as the integration of fast-acting supply. Also, demand response (DR), and energy storage devices, to manage the characteristics of RES being dependent on weather conditions and is therefore challenging to predict, has become the challenge in the management of energy systems (Eid et al., 2016). That is not the only challenge. There are multiple other challenges faced by energy systems, such as centralized transaction difficulties like high operating costs, excessive time consumption, and security issues (Zhao et al., 2018). Scheduling is another obstacle for today's energy systems, especially when it comes to collecting data for energy distribution and its concern with personal privacy and the volume of data over time, allowing this scheduling to happen in real-time (Zaho et al., 2018).

On top of that, energy systems are now speeding up in digitalization by implementing solutions such as smart meters or distributed energy resources (DERs) (Andon et al., 2019).

This digitalization has also decreased the gap between producers and consumers and has led to the rise of concepts like energy interconnection, introduced by Jeremy Rifkin. Energy interconnection enables access to distributed energy and Fairtrade through energy internet (an energy trading system) and renewable distributed power (Zhao et al., 2018).

Now in this digitalization, there will be more complex tasks introduced, advanced communication and data exchanges between the different nodes of the energy system are required and distributed local control and management techniques will be needed, which itself challenges today's centralized management systems (Andoni et al., 2019). This will also force traditional energy transactions to upgrade to integrated energy resources (IER) transactions (Tan et al., 2019).

Therefore, for an industry that is struggling with poor data quality and mistrust, the power of recording every transaction of data, asset, and energy -distribution in a tamper-proof manner and accessible to all participants of the energy system and also verifiable can be considered revolutionary (Che et al., 2019). This will initiate an accurate decentralized, automated, and renewable energy system.

Altogether, based on what is discussed above and considering the current trends of the energy industry, such as dramatic changes in energy generation getting more decentralized, peer-to-peer trading networks, and flexible demands for inflexible loads, there is an apparent alignment to attributes of blockchain technology as a potential solution for these challenges and trends.

Blockchain is a technology that stores and transmits operational data in a clear and algorithmically safe manner without using a central control body. It comprises a series of blocks that together form a database that contains the history of all transactions undertaken by its users since its inception. Only representatives of the blockchain have direct exposure to the antiquity of all transactions conducted in the system in private blockchains, while public blockchains can be made available by anyone. Cryptocurrency, an online currency generated in 2009, is the most well-known public blockchain (Wang & Su, 2020). Blockchain technology can reshape the energy industry completely. Innovations such as solar photovoltaics (PV), electric automobiles, and smart metering have continuously instigated the energy sector. Through its blockchain networks and framework interconnectivity, the Corporate Ethereum blockchain, one of the first enterprise blockchain solutions offered by IBM, now positions itself as the next arising technology to drive expansion in the energy industry.

Energy and sustainable development are two of the many blockchain-applied cases that are frequently overlooked. By monitoring the chain of evidence for electrical components, distributed ledger innovation can develop utility companies' systems (Andoni et al., 2019). Aside from attribution monitoring, blockchain provides one-of-a-kind solutions for renewable energy distribution. The execution of Enterprise Ethereum remedies can profit prestige energy industries such as oil and gas. Blockchain technology has the potential to benefit complicated systems with different actors. Petroleum, for instance, is among the most exchanged goods, necessitating a system of refiners, storage tanks, mid-carders, governments, and regulatory authorities. The intricate network of respondents is plagued by siloed systems and various processing shortfalls (Strüker et al., 2019). Due to blockchain technology's decreasing costs and adverse environmental impact, large oil and gas mega corps are looking to engage in and enforce it.

Blockchain has arrived and is reshaping the electricity market. This technology is an effective method of apportioning generation capacity to a particular consumption place. It can even define a structure of objectives related to provenance sources. As a result of the increased traceability, renewable energy credential processes can be sped up and done by machines. This is especially important in the case of long-term Power Purchase Agreements (PPAs) predicated

on renewable resources. These treaties require certification that the energy procured is 100 percent renewable. These agreements are essential today because they encourage large companies to acquire renewable energy, promoting renewable energy development (Strüker et al., 2019). Blockchain also ensures the contract's protection and traceability, as it is thoroughly documented in the console, enabling all stakeholders to audit the outcomes. This technology also allows smart contracts, which are executed automatically when both parties meet the agreed-upon terms, thereby eliminating intermediaries and providing a means.

A blockchain is a critical tool for hastening decarbonizing the economy because it makes transfers traceable, safe, and fast. This innovation makes green energy stockpiles more effective, versatile, and clear, incentivizing 100 percent renewable energy production and distribution. The enablement of energy exchange is one of the most normatively pertinent possibilities for blockchain innovation to establish new socio-technical processes and facilitate the safe exchange of wealth. Availability of resources and energy independence are two of the most pressing people's concerns endangering the future society's and the ecosystem's well-being (Andoni et al., 2019). Many academics and entrepreneurs believe that blockchain technology will significantly impact the energy domain by enabling the creation of new renewable energy marketplaces, which will help guarantee future power generation.

Although the energy sector stands to benefit from technological advancements, the industry has seen insignificant growth over the past few decades, remaining almost completely stagnant. While the era of prosumers and sustainable living is well underway, the industry has not made the appropriate adjustments to reflect the shift from non-renewable to renewable resources. As blockchain begins to disrupt a multitude of sectors, this has paved the way for many startups to begin exploring the potential this technology has with respect to solar energy. After analyzing recurring pain points in this industry, several applications have been identified that aim to mitigate these issues. These applications help prove how blockchain can eliminate barriers, eradicate intermediaries, and significantly increase the efficiency of energy distribution while reducing expenses for all parties involved. As with any new technology, drawbacks are inevitable and must be addressed in order to maximize potential. Considering the digitized and decentralized features that define blockchain, specific issues such as security, data protection, immutability, regulatory standards, and parameter restrictions must be understood.

This research is to investigate the potential that blockchain technology can specifically bring into PV electricity distribution with the purpose of monitoring consumers' behavior and

incentivizing them toward a more shared ecosystem, such as a shared financial ecosystem where all stakeholders are part of the economy.

## Key Concepts

Throughout this report, multiple terms and concepts are used, which are defined here:

### Smart Contract

Intelligent contracts are programs that run when predefined circumstances are met and are stored on a blockchain. They are usually used to automate the implementation of a contract so that all parties can be sure of the outcome right away, without the need for any intermediaries or delay in time. They can also automate a workflow by initiating the next step when specific terms are fulfilled (Andoni et al., 2019).

### Tokenization

Tokenization is the procedure of converting the importance of real or virtual investment into a digital token, which is then documented and communicated via the blockchain (Andoni et al., 2019).

### Incentive

Blockchain systems are built on the foundation of incentives. Incentives abound in blockchain platforms, from miner (the actor who participates in transactions, and in turn, plays a crucial role both in creating new blocks and in verifying transactions on the blockchain) or validator's rewards to transaction fee-setting mechanisms, token compiled registries, and prediction markets. The design of stimuli is an essential part of the overall economic design of successful blockchain platforms (Adenle, 2020).

### Different Blockchain Types

#### Consensus

Consensus is an automated system that transforms decentralized records management into something more akin to a centralized database. It is a computer-controlled process that ensures that all endpoints communicate only one legitimate copy of the documentation (Li & Huang, 2020).

#### DPoS (Delegated Proof of Stake)



Delegated proof of stake is a blockchain consensus procedure that enables members to vote for numerous representatives using their coins. Once voted into power, these delegates have the authority to make crucial decisions that affect the entire network (Casino et al., 2018).

#### PoA (Proof of Authority)

Proof of Authority (PoA) is a blockchain algorithm that provides relatively rapid transfers via a consensus protocol predicated on individuality as a stake. VeChain is the most well-known platform that makes use of PoA (Li & Huang, 2020).

#### Stable coin; ex. e-Krona

The term "stable coins" refers to a class of crypto-assets designed to track the value of another inventory item, such as a country's currency, such as the US dollar (Casino et al., 2018) or e-Krona.

#### Defi

Defi refers to blockchain-based financial implementations that facilitate transactions online between multiple parties. The blockchain is, in essence, a public ledger for digital assets such as cryptocurrencies. Defi can entail lending, sending, or investing in cryptocurrency (Li & Huang, 2020).

#### Staking

Staking is a method of putting your cryptocurrency to work and earning rewards from it. Staking cryptocurrencies is the process of committing your cryptocurrency investments to assist a blockchain network and verify dealings. It is compatible with cryptocurrencies that process transactions using the proof-of-stake model (Raina & Sinha, 2019).

#### Solar energy market and challenges

In order to be able to design a potential use case for blockchain in this industry, first, we need to understand the challenges, which are as follows:

##### Current Issues within the Solar Energy Industry

##### 1. Inability to match supply and demand

The globe's population is increasing exponentially, necessitating a significant increase in the supply of solar energy worldwide. Matching supply with rising demand is a substantial and crucial concern for governments worldwide. The solar sector is experiencing a significant

problem in harmonizing global energy production and demand. Coal, oil, and gas are used to generate the bulk of the world's energy. When these fossil fuels are burned, they release heat energy, which is transformed into electricity, yielding a large amount of carbon dioxide (CO<sub>2</sub>) into the atmosphere, which causes global warming (Adenle, 2020). Both problems can be solved by ending the use of fossil fuels and substituting the energy demand with the supply from a renewable energy source. Currently, nonrenewable energy sources account for most global energy consumption. To meet ever-increasing energy demand while also protecting the environment, groundbreaking advances in the design of devices that can control and generate power from renewable energy sources have been developed. The amount of available energy supply from renewable sources is increasing. However, the growth in renewable energy is still less than the real growth in global energy consumption (Li & Huang, 2020). A "transition" from fossil fuels may occur in the future, but for now, the amount of renewable energy is not keeping up with expanding energy demand; therefore, fossil fuel demand continues to rise.

On the other hand, solar power faces the issue of intermittency; if the sun is not shining, electricity is not produced. Solar energy is only able to serve the spike in demand until the sun sets, rendering it unusable for the peaks that occur during nighttime. This has a greater effect on certain places around the world, given that some of these experience dark periods for more than half of the year. Also, solar power cannot be used to cover electricity demands during the night without the use of a battery.

## 2. Billing

Following the last day of each billing cycle, it can take, on average, up to one month for consumers to receive their electricity bills for that given period. This makes it difficult for individuals to verify that their bills are, in fact, accurate, especially considering that electricity rates are constantly changing throughout the day. Once a bill is paid, processing times can also vary from three to five business days, extending the entire process to about five weeks. Switching energy providers in an attempt to access cheaper service also range from two to four weeks, causing an inconvenience to consumers. The other issue with this is the lack of information on the various providers of renewable energy supply, failing to make potential customers aware of all the options available.

## 3. Renewable energy Billing source

Although it is required for electricity bills to disclose how much energy is used, it is not a requirement to disclose where the energy comes from. This leaves homeowners and businesses unaware of whether the energy received comes from renewable or non-renewable sources, or in some cases, both. Even if this information is released, it still remains difficult for consumers to verify that the energy they are consuming is truly and completely renewable. On the other hand, solar power producers who sell their energy back to the grid are faced with the question of where their solar electricity is going. In any case, full disclosure of the solar energy supply chain is not simple to obtain. This unknowingness has created a trust-less system between the different stakeholders involved.

#### 4. Lack of transparency

Transparency in billing processes, energy consumption and governance of energy management is a challenge in hybrid grids.

#### 5. Solar power efficiency

Solar PV technology has developed fast during the last decade. The efficiency rate, however, is still relatively low compared to other energy sources and technology for conversion to electricity. Solar panels have an efficiency rate of approximately 20-25 percent. As a result, about 75-80 percent of solar energy cannot be converted to useful electricity. The efficiency rate is continuously increasing and there is a lot of research around the world developing PV technology. For example, using diamond wire could yield thinner solar cells that are less expensive to manufacture and transport. Passivated emitter rear cell technology, which mirrors unabsorbed light and converts more sunlight into energy, is another option (Li & Huang, 2020). Increased efficiency results in more efficient installations and decreased costs for PV electricity.

#### 6. Lack of policy subsidies

Governments are suggested to develop and implement policies to help the renewable energy market growth. Corporate lobbying, government intervention, and the industry's intrinsic reliance on fossil fuels continue to be obstacles in the transition to renewable energy (Li & Huang, 2020).

#### 7. Solar power reliability

Solar energy faces several issues, one of which is reliability. Even in the sunniest parts of the country, solar PV systems can only generate solar power during the day, with efficiency

maxima at midday. Researchers and developers are working on ways to increase reliability. Tracking panels, for example, track the sun to prolong peak energy output. Another option is to use storage batteries, which would store energy all day for usage at night (Raina & Sinha, 2019). However, there is still room for development.

## 8. Environmental Issues

Solar power generation is carbon-free; however, the production of solar panels and related technologies can contain certain environmentally damaging materials. Nitrogen trifluoride is a greenhouse gas that is 17,000 times more potent than carbon dioxide and is a typical byproduct of electronics manufacturing, especially those used in solar cells. Furthermore, many solar cells contain trace levels of the toxic element cadmium. The batteries used to store the electricity generated might include a variety of heavy metals and other hazardous materials (Raina & Sinha, 2019). Manufacturers may shift away from these potentially toxic compounds as solar technology advances, but for now, they sabotage the otherwise significant environmental benefits solar electricity provides.

## Blockchain technology

Blockchain technology was first introduced to the world in 2008 by Nakamoto Satoshi when she/he/they intended to solve the double spending problem of Bitcoin, meaning to be able to make digital value transactions without intermediaries involved (Casino et al., 2018). However, this does certainly not mean the technology can be limited to Bitcoin and its attributes have turned it to a technology that is now grabbing attention.

Blockchain is a shared, replicated, permissioned ledger with consensus, provenance, immutability, and finality.

Some of these are an incorruptible digital ledger of value transactions, distributed on a network of computers or nodes, decentralized, with no single point of failure, which allows each node to introduce a new transaction with cryptographic protection(Hash) in blocks of data (Yli-Hummo et al., 2016; Casino et al., 2018). For each block to be added to the chain as a block, it needs to be validated and immutable and this validation is done through different algorithms of consensus. Each subsequent block of data needs to store the hash of the previous block in order to create the chain that shows the history record (Yli-Hummo et al., 2016; Casino et al., 2018).

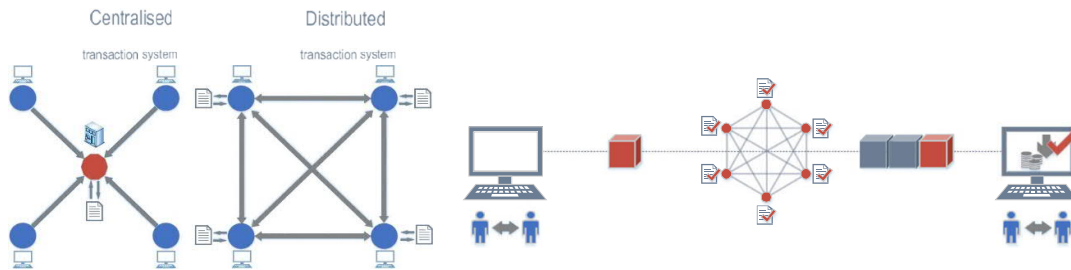


Fig. 1. Centralized and distributed transactional platforms Fig. 2. Visual representation of a blockchain transaction (Andoni et al., 2019)

## Potentials of blockchain technology

### 1. Decentralized

Decentralized is the main feature of blockchain technology which makes it different from the current centralized traditional database system or server that we are using now. Decentralized simply means that there is no middleman or central authority is needed, such as a bank transferring money or a lawyer to confirm the conditions of a contract (Golosova & Romanovs, 2018). Each participant or selected participant on a blockchain has access to verify the records of its transaction partners, and access to the entire database and its complete history directly, without the help of intermediary. Basically, Blockchain removes the requirements for centralized authority by removing the need for the trust management middleman role, in another meaning, there is no single database or company or party on which it hinges to control the data or the information solely.

### 2. Autonomous

Another feature of blockchain technology is autonomous. Autonomous means that after the blockchain application is launched and run, a contract and its initiating agent need not be in further contact. Automation includes the deployment of algorithms and rules that can automatically trigger self-execution, self-enforcement, self-verification, and self-containment of the performance of smart contracts. Therefore, the digital nature of blockchain's ledger is that the information or monetary transactions are tied to computational logic and, in essence, programmed rules to automatically trigger transactions between nodes without the need for human interaction or trust providers.

### 3. Peer-to-peer relationship

Another main feature of blockchain is its concept of peer-to-peer systems, which encourage the operation of information or monetary transaction from one wallet to another wallet without the intermediary of the trusted third parties or central authorities. It was highlighted that “Both the private and public sectors have great expectations for blockchain technology because it provides the bedrock for developing peer-to-peer platforms for exchanging information, assets, and digitized goods without intermediaries”.

Peer-to-peer connections are described as a collective of gadgets linked together to form a system that is commonly referred to as a peer-to-peer network (P2P) system. Once established, the system can be utilized to share and keep files. All endpoints have equal status in any peer-to-peer system and can perform the same activities. In a peer-to-peer network, users are accountable for preserving the decentralized system (Raina & Sinha, 2019). There is no need for a central authority or administrator because it is a peer-to-peer network. This means each node on the server must serve as both a client and server to other nodes on the server. Each entity has a duplicate of the document. As a result, each node acts as a domain controller and must install copies from other endpoints or upload data to different endpoints (Pryanikov & Chugunov, 2017). This method of operation distinguishes it from any conventional client-server configuration. The central server will always be from which the customer downloads documents in a client-server format.

### 4. Immutable record

Immutability means that transfers cannot be altered or deactivated once recorded on the blockchain. All transfers on the blockchain are formally documented and date stamped, creating a permanent record. As a result, blockchain can track data over time, allowing for a secure and reliable data audit. Immutability — the ability of a blockchain ledger to remain a permanent, unforgettable, and unchangeable history of transactions — is a distinct feature that blockchain proponents emphasize as a critical benefit (Golosova & Romanovs, 2018). Immutability has the power to change auditing into a quick, efficient, and cost-effective method and increase confidence and honesty in the data that companies use and share daily. Meta-data from the preceding block's hash outcome is always included in the cryptographic hash phase of a new partnership (Raina & Sinha, 2019). This connection in the hashing system makes the chain “invincible—it is unfeasible to deceive or remove files once it has

been substantiated and positioned in the blockchain because a concept consisting in the chain would repudiate the endeavor.

## 5. Time-stamping

The timestamp, also known as a timestamp, is a small piece of data stored in each block as a unique serial number, with the primary purpose of determining the exact time the block was mined and affirmed by the blockchain system. The timestamp is predicated on an immediate adaptation that uses the system's midpoint of all endpoint timestamps. This is due to its decentralized nature, which aims to keep the network's nodes as coordinated as conceivable (Li & Huang, 2020). One of the most common uses of a timestamp is determining the variables of a mining procedure. This is because these timestamps enable nodes to properly adjust the mining complexity for each block iteration period. Timestamps allow the network to calculate how long it takes to extract blocks over a given period and adapt the extraction complexity accordingly.

## 6. Security

Another significant advantage of blockchain-based systems is their security. The increased security provided by blockchain is due to the way the technology works: With end-to-end encrypted data, blockchain offers an unchangeable record of transactions, preventing fraud and unauthorized interaction. Furthermore, blockchain information is stored along with a computer system, creating it almost unfeasible to infiltrate (Raina & Sinha, 2019). Moreover, blockchain can confront privacy issues better than conventional computer networks by encrypting data and mandating authorizations to restrict access.

## 7. Information Transparency

Blockchain technology can be applied to a wide range of businesses, and the number of use cases for it is growing by the day. There are numerous reasons why companies and governments are turning to blockchain for day-to-day business operations: faster transaction processing times, the removal of a middleman, and other benefits. Blockchain technology is enabling previously unimagined opportunities in the cybersecurity sector (Raina & Sinha, 2019). With origins in cryptography and security, it's no surprise that blockchain is introducing new ways to store information, make secure transactions, and facilitate trust — the primary concentrate of this item.

## 8. Faster transaction



Blockchain can manage transactions much faster than traditional methods since it eradicates intermediaries and substitutes manual processes in transactions. Blockchain can process a transaction in a matter of seconds or less in some cases. However, the speed with which a blockchain-based system can process transactions depends on several factors, including the size of each data block and network activity (Wang & Su, 2020). Nonetheless, experts have stated that when it comes to speed, blockchain outperforms other techniques and products in one of the most well-known blockchain applications.

#### 9. Cheaper transaction

The essence of blockchain can also assist businesses in saving money. It increases the speed with which transactions are processed. It also reduces the number of tasks that must be done by hand, such as data aggregation and modification and reporting and auditing initiatives. Specialists emphasized the investments that financial firms see when using blockchain, describing that blockchain's capacity to simplify the compromise process translates into procedure cost savings (Wang & Su, 2020). In general, blockchain helps companies save money by eradicating the middlemen – distributors and third-party providers – who have previously given the computation that blockchain could do.

#### 10. Building innovative business models

Blockchain enables businesses to create innovative business models based on decentralization, distribution as well as immutability, and transparency characters (Casino et al., 2018).

## Field implementation

In order to be able to design a use case for blockchain technology for the case of the project carried out at Eksta Bostads AB, financed by the Swedish Energy Agency, there is a need to have a map the current prerequisites. The thorough mapping of the way the microgrid and its functions presently work, can lead to identifications of the challenges and pain point the system is facing in multiple dimensions. The system of providing solar electricity to tenants involve multiple stakeholders apart of Eksta such as:

Tenants; which are the consumers/prosumers of electricity.

Ferroamp elteknik AB; which provides hardware meters as well as consumption analysis and monitoring dashboards to Eksta mainly used for flow monitoring and billing purposes.

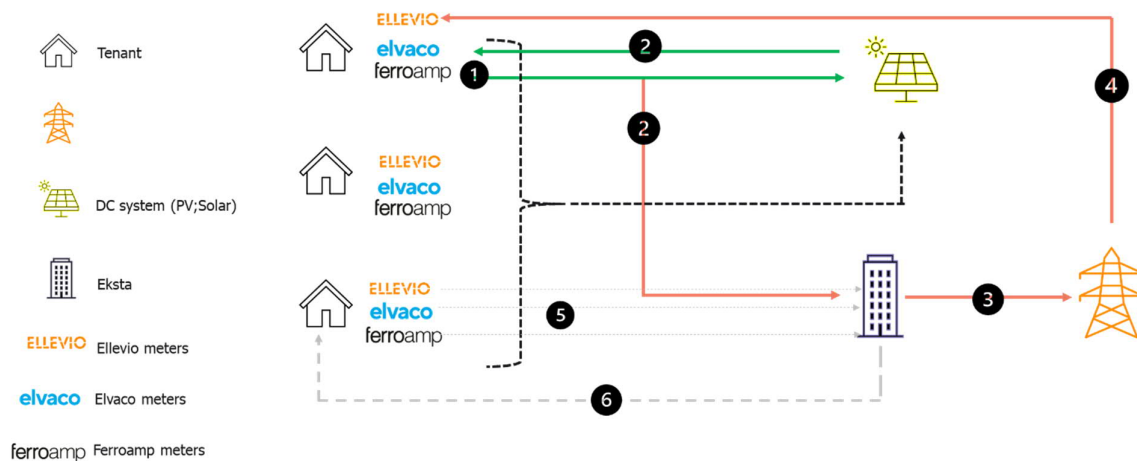
Elvaco AB; which acts as a supplier of products and services for remote meter reading and provides the readings to Eksta.

Ellevio; is electricity supplier and grid company.

The order flow of electricity in the current microgrid includes multiple steps. The request for electricity is initiated by the tenants. Once the request is received, Ferroamp readers check the DC readers. From here, there are two different paths to the order:

- If the microgrid has enough electricity stored, it will send it to the tenant that requested it.
- If the microgrid does not have enough electricity, the request to purchase electricity from Ellevio is initiated by Eksta. Eksta performs the purchase and then Ellevio sends the electricity to the tenant.

Either way, after the electricity is provided to the tenant, Eksta is left with the billing process. In order to bill the tenant, Eksta needs to perform two separate readings from Elvaco meters, which provide a reading on solar electricity consumption, as well as Ellevio meters, which provide a reading on how much electricity was consumed by the electricity distribution company. Once the reading is completed, the tenant is billed. This process is shown in Fig 3.



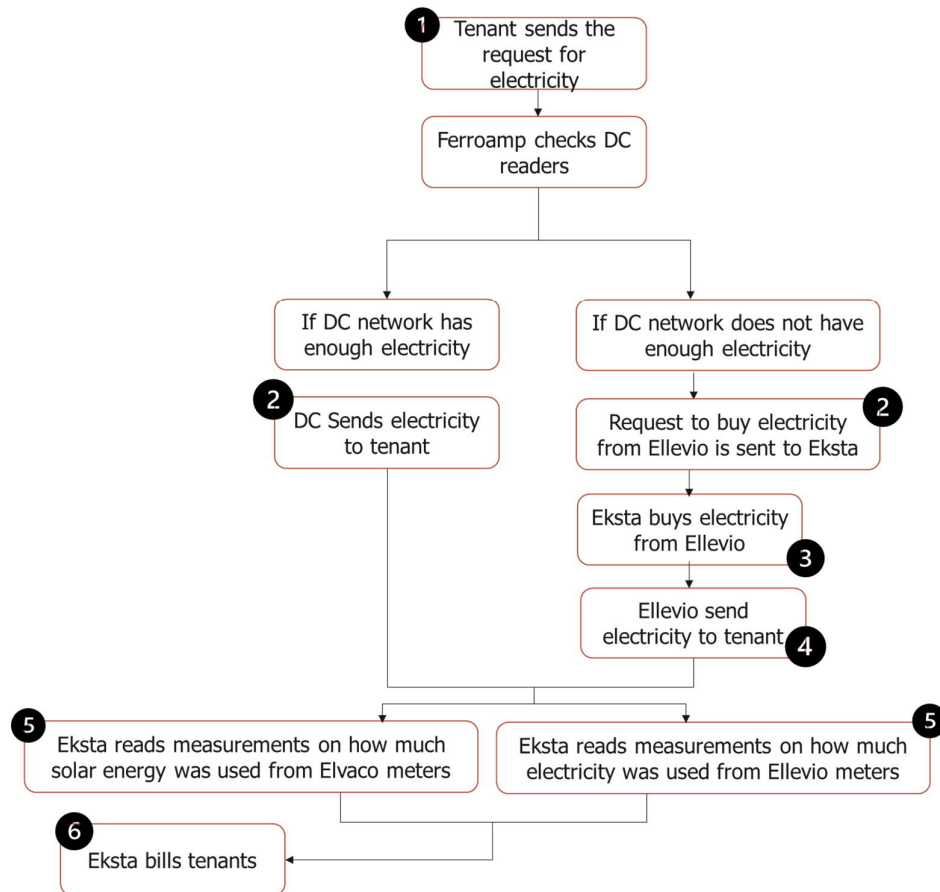


Fig 3. Current ecosystem mapping

## Challenges of current ecosystem

The current working ecosystem proposes challenges from multiple dimensions:

### Efficiency Challenges:

The system is not optimized based on demand and production since the consumer behaviour is not in any way monitored, analysed or predicted. To be able to reach this, every tenant would have to have an individual subscription to electricity distribution company, Ellevio, which is cost inefficient. Eksta prefers to have one single subscription which they can manage and act as distribution hub of electricity to their own tenants.

The excess electricity within the microgrid is presently sold to Ellevio at lower rate compared to the rate which Eksta buys back electricity from Ellevio. This is not only an inefficient trading for Eksta but also an unfair trade.

### Financial Challenges:

Every tenant would have to have an individual subscription to the electricity distribution company, Ellevio, which brings cost burdens to Eksta. The cost of buying electricity from Ellevio is higher than what Eksta charges Ellevio in time of selling electricity.

#### Transparency Challenges:

Since the current ecosystem works centralized, therefore, not only the stakeholders are not much involved but also there is lack of transparency. This lack of transparency is more important for tenants and consumers throughout the billing process.

#### Customer relationship:

The current ecosystem rather proposes a one-directional business relationship. From Eksta to tenant and customers. However, an exchange-based relationship is an ideal customer relationship which Eksta would prefer to have. The centralization and one directional business process have made sharing economy between tenants or tenants and Eksta a more difficult goal to reach.

## Solutions blockchain offers

Considering the challenges, the current microgrid and its functions is facing and mapping those to blockchain technology attributes, in this case, blockchain can mainly contribute to building platforms and processes.

#### Platforms;

A decentralized, P2P energy trading platform that would eliminate intermediaries is a major contribution of blockchain here.

#### Processes;

Blockchain can bring cost efficiency, time efficiency transparency, automation and security in multiple processes such as communication, billing, grid management, sales and marketing and metering and data transfer.

Blockchain additionally enables decentralized generation in empowering prosumers.

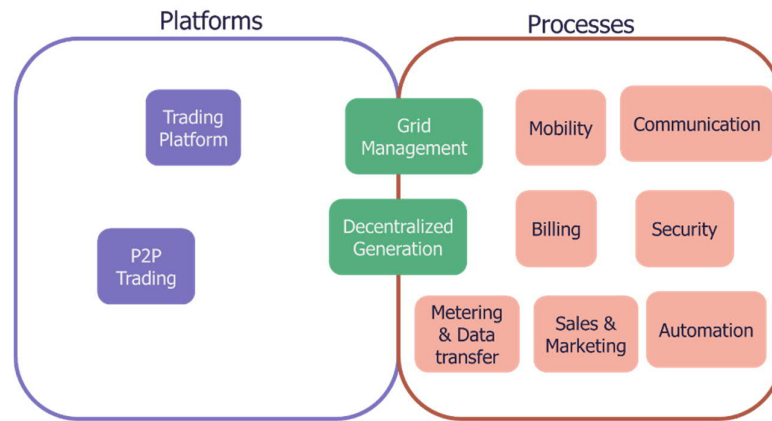


Fig 4. Blockchain potentials

In order to achieve the ideal scenario described here from blockchain, a blockchain based smart-grid solution is proposed where blockchain can provide transaction and control layer for the smart grid. Such a solution has three dimensions by design:

1. Data infrastructure (referred to as Trading Chain in this project):
  - A data infrastructure that can be used by mutually competing and distrustful entities
  - It ensured integrity, authenticity, secrecy and customer privacy
  - Cannot be compromised by any single entity
2. Financial Transaction (referred to as Billing Chain in this project)
  - Supports services innovation
  - Minimized and eliminates transaction costs
3. IoT control architecture (performed by meters from Ferroamp and Elvaco)
  - Is compatible with component APIs
  - Supports an ecosystem of smart controls
  - Is distributed to minimize latency and energy and enhance privacy.

A proposed blockchain enabled transactive energy platform allows Eksta and their tenants to produce and consume electricity from a blockchain network as a prosumer. For this project, a hybrid blockchain is proposed. The consensus mechanism proposed here is PoA where the network authorizes Eksta (the system administrator) to play the role of verifier and approve transactions. A node is set up for each tenant in the network and the power generated by each node is put on the energy marker. The tenant (node) who lack energy can purchase and use the energy in the market.

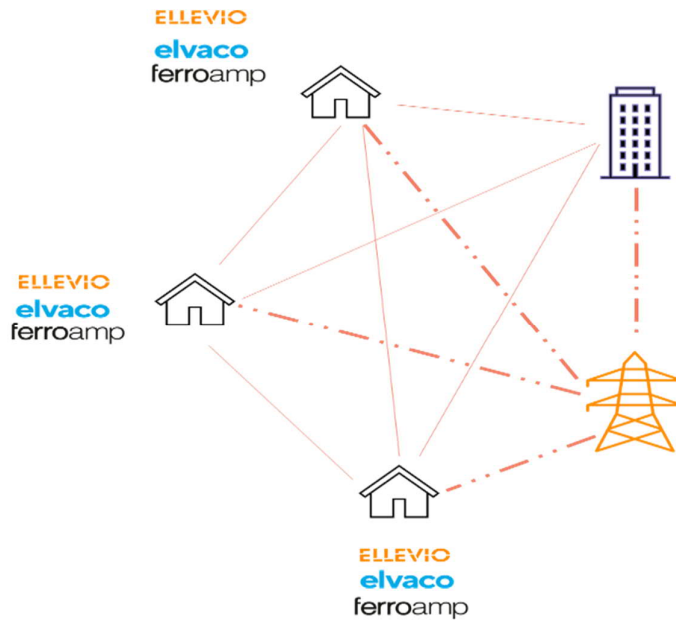


Fig 5. Blockchain enables network

Three layers of blockchain layer, energy trading layer and smart grid system are implemented where the smart grid system manages the smart grid components, the energy trading layer implements a decentralized P2P energy trading algorithm and the blockchain layer acts as a decentralized and trustable energy trading platform and a secure data communication network.

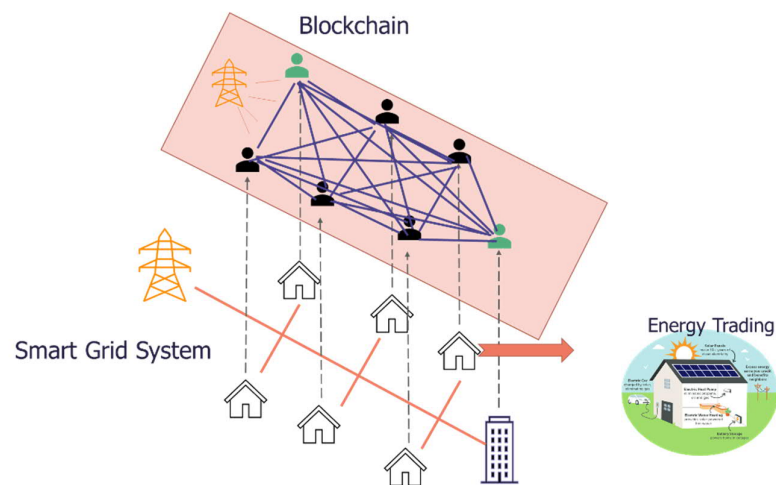


Fig 6. Layers of proposed Blockchain solution

While designing a solution for the challenges identified, it is crucial to take into consideration the current digital maturity and awareness of the implementation environment and

stakeholders involved as well as designing a GDPR compliant solution. Eksta blockchain is a dual chain solution with a mini DeFi functionality of staking. For this solution two tokens are developed.

**Sol Token:** Sol Token will be developed by Eksta on a public blockchain and will be listed on a crypto exchange (such as Binance, Coinbase, etc.). The price of Sol token is always determined according to the price of a unit of solar energy through a smart contract. Sol token is developed for incentivizing purposes.

**Trade Token (TT):** Trade token will also be developed by Eksta to be used as the currency used for energy trading purposes. TT token is a stable coin pegged to the fiat money.

For both tokens, Eksta acts as the pool of tokens. The dualchain mechanism includes Trading Chain and Billing Chain.

Trading chain is where the whole solar electricity trading occurs. The initial request by the node in need of electricity is broadcasted to the blockchain network. The first node with available excess energy will accept the call. Since the requesting node cannot directly pay to the provider node, therefore upon accepting the offer, the requesting node will automatically purchase the required amount of TT token to perform the transaction from Eksta. In this way, Eksta acts as the sole owner of the electricity. The transaction is validated through PoA by Eksta. Once the transaction is validated and completed, the block is shaped and added to the chain. Upon completion of this process, both the requesting and providing nodes will be incentivized in Sol Token. The process of the Trading chain is shown below:

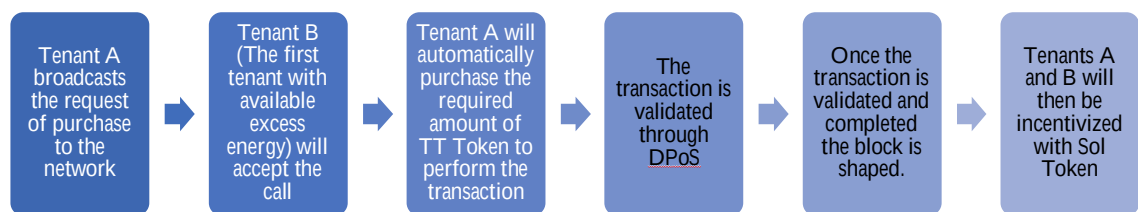


Fig 7. Trading Chain

Trading Chain incentivizes consumption of renewable energy, enables Eksta to monitor consumption behavior while improving transparency in users' behavior in the whole ecosystem as well as motivates consumers to adjust consumption behavior in order to be incentivized. Additionally, Sol Token is a token that can be exchanged on public exchanges to



any other crypto or fiat money. Sol Token can also be used either optionally or automatically in bill payment by the consumers that are holding them. Sol Token can also be staked.

Billing chain is the chain used mainly for billing purposes. Unlike the current microgrid where the billing is always initiated by Eksta, in here, the billing request is initiated by tenants through a smart contract. The billing request is initiated and broadcasted to the network. Records of trading transaction of the requesting node on trading chain is compared to the readings on meters by the smart contract. If the readings and trading records are matched the request for approval is sent to the network where the transaction is validated through PoA (by Eksta). Once the transaction is verified and block is shaped, the bill is issued and the requesting node at this point has the option of using Sol Token in bill payment. The process of the Billing chain is shown below:



Fig 8. Billing Chain

Billing Chain increases transparency in billing, increases trust of customer in Eksta, automates billing process and makes billing process irreversible and auditable.

## Advantages and Challenges

The advantages the proposed solution offers can be divided into two categories of direct and indirect advantages. Direct advantages are the ones that are precisely addressing and existing gap in current microgrid. These direct advantages are transparency in energy trading, billing and customer relationship processes, efficiency in processes, decentralization, audibility and creating a self-sustaining system. Additionally, the indirect advantages of the proposed solution offers are rewarding and incentivizing system to encourage consumer behavior towards circular economy, staking functionality enabling shared economy, security of the system, and creating innovative business models.

However, developing such a system comes with its own challenges and barriers. In this case, the barriers are observed to be: lack of digital awareness and maturity, lack of proper regulations in energy sharing and reselling, consumers' and customers' data protection and

GDPR applications in this specific context, consumer adoption of a new system, interoperability of the proposed solution with existing legacy systems and scaling the solution up to a higher number end-user system.

## Generalizability and Transferability

Generalizability refers to the degree that the findings of a study can be generalized from the study sample to the entire population, while transferability refers to the degree to which the results of a qualitative study can be transferred to other contexts or settings with other respondents. In this study we conducted a qualitative, case study research. In order to achieve the generalizability and transferability, in order to support and enable similar personas to Eksta as a stakeholder (in this study, other energy companies participated), to understand the innovative concept and business model developed for Eksta as well as relate to it within their own business boundaries, after finishing the study we conducted a workshop in which we invited both people from Eksta, the case company, as well as 25 other companies in the same business and context Stockholm super grid for verification purposes. In total there were 42 participants. In this workshop, multiple activities were held. After an education to blockchain for all participants, we presented the mapping of current ecosystem and had separate activity in 5 different groups to let participants find similarities and differences between their current working ecosystem and the mapped case of our study. The participating companies then together with us identified the challenges of the existing ecosystem in the second round of activities. In the final round of activities, the companies were presented the proposed blockchain based solution and were given time to reflect on and suggest the potential challenges and advantages of such system. The outcome of the workshop rather approved the mapping of current ecosystem and its gaps as well as challenges and advantages the blockchain based solution can add to it.

## References

- Adenle, A. A. (2020). Assessment of solar energy technologies in Africa-opportunities and challenges in meeting the 2030 plan and sustainable development goals. *Energy Policy*, 137, 111180.
- Andoni, M., Robu, V., Flynn, D., Abram, S., Geach, D., Jenkins, D., ... & Peacock, A. (2019). Blockchain technology in the energy sector: A systematic review of challenges and opportunities. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 100, 143-174.
- Casino, F., Dasaklis, T. K., & Patsakis, C. (2019). A systematic literature review of blockchain-based applications: Current status, classification and open issues. *Telematics and informatics*, 36, 55-81.
- Golosova, J., & Romanovs, A. (2018, November). The advantages and disadvantages of blockchain technology. In 2018 IEEE 6th workshop on advances in information, electronic and electrical engineering (AIEEE) (pp. 1-6). IEEE.
- Li, J., & Huang, J. (2020). The expansion of China's solar energy: Challenges and policy options. *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 132, 110002.
- Pryanikov, M. M., & Chugunov, A. V. (2017). Blockchain as the communication basis for the digital economy development: advantages and problems. *International journal of available information technologies*, 5(6), 49-55.
- Raina, G., & Sinha, S. (2019). Outlook on the Indian scenario of solar energy strategies: Policies and challenges. *Energy Strategy Reviews*, 24, 331-341.
- Strüker, J., Albrecht, S., & Reichert, S. (2019). Blockchain in the energy sector. In *Business Transformation through Blockchain* (pp. 23-51). Palgrave Macmillan, Cham.
- Wang, Q., & Su, M. (2020). Integrating blockchain technology into the energy sector—from the theory of blockchain to research and application of energy blockchain. *Computer Science Review*, 37, 100275.