

# **IEM Test och verifiering**

## **Slutrapport**

### **Del B: Resultat**

**Författare:**  
**Thomas Sundén**  
**Jan Kristoffersson**

## Innehåll

1	Bakgrund .....	4
2	Utvärdering av IEM- lösningarna.....	5
2.1	Beskrivning av utvärderade lösningar .....	5
2.2	Utvärderingsstrategi.....	7
2.3	Utvärderingskriterier .....	9
3	Test & verifiering (sammanfattning av rapport, Bilaga 1) .....	10
3.1	Ferroamp .....	12
3.2	Amzur Technologies .....	15
3.3	Certh .....	17
3.4	Innoenergy.....	20
4	Utvärdering av Affärskriterier och organisation .....	23
4.1	Ferroamp .....	23
4.2	Amzur Technologies .....	26
4.3	Certh .....	27
4.4	Innoenergy.....	28
4.5	Förmåga att bidra med flexibilitet i systemet .....	29
5	Kompletterande analyser .....	30
5.1	Marknadsförutsättningar för IEM-system.....	30
5.2	Marknadsutvecklingen för elenergilagrar i fastighetsapplikationer (bilaga 2).....	30
5.3	Studie av marknadsförutsättningar för IEM-systemlösningar (Bilaga 3) .....	31
5.4	Hinder för utveckling av hållbara lokala energisystem (Bilaga 4) .....	31
5.5	Behovsanalys, resultat från enkät april 2018 (Bilaga 5) .....	32
6	Diskussion och slutsatser .....	33
6.1	Mjukvara, hårdvara eller systemlösning .....	33
6.2	Integratörsrollen.....	34
6.3	Marknadsintroduktionen.....	34
6.4	Matchning av systemlösningar och behovsägare .....	34
6.5	Teknik, resurser och dialog påverkar tidplanen .....	34
6.6	Faktorer att väga in vid pilotinstallationer .....	34

6.7	Solinstrålningens påverkan på tidplaner .....	35
6.8	Teknik.....	35
6.9	Diskussion kring marknadsutvecklingen för IEM-lösningar .....	39

## **Bilagor**

Bilaga 1	Test & utvärdering av systemlösningar inom pilotprojektet IEM
Bilaga 2	Marknadsutveckling för energilager i fastighetsapplikationer
Bilaga 3	Studie av marknadsförutsättningar för IEM-systemlösningar
Bilaga 4	Hinder för utvecklingen av hållbara lokala energisystem
Bilaga 5	Behovsanalys, resultat från enkät, april 2018

## 1 BAKGRUND

Energimyndigheten och Swedish Incubators & Science Parks (SISP) inledde satsningen på IEM under 2015. Syftet var att söka efter energisystemlösningar för byggnader som producerar solel. Lösningarna ska se till att en större del av solelproduktionen används i byggnaden där den produceras, exempelvis genom lagring och styrning av energianvändningen till tidpunkter då det produceras mer solel. Framtidens energisystem kan på goda grunder antas behöva mer lagring och flexibilitet, eftersom andelen förnybar elproduktion ökar.

I fasen "Definiera behov" etablerades en samverkan med fem behovsägare. Deras behov beskrev kopplade till anläggningar som de förfogade över eller planerade:

- Arvika kommun/ Glava Energy Center (solcellspark samt testområde i Glava för solcellsanläggningar/batterilagring mm)
- Eskilstuna kommun (skolbyggnad)
- Riksbyggen/Göteborg Energi (planerat flerfamiljshus, 120 lgh)
- Ihus -Vaksala Eke (industrilokaler i Uppsala)
- Herrjunga Bostäder (planerat småhusområde, ca 15 hushåll)

I nästa fas, "Marknadsdialog", genomfördes den internationella innovationstävlingen "Intelligent Energy Management Challenge" i samverkan med organisationen NineSigma. Efter en utvärdering i flera steg kunde tävlingen avslutas i början av 2016 och hade då sållat fram fyra vinnare som då även hade kvalificerat sig för nästa fas, "Test/verifiering". Dessa vinnare var:

- CERTH (Centre for Research & Technology, Hellas), Grekland.
- Amzur Technologies, USA.
- Innoenergy, Sverige.
- Ferroamp Elektronik, Sverige.

För att genomföra fasen Test/verifiering valde SISP att anlita Sustainable Innovation. En beställning med en uppdragsspecifikation togs fram i samverkan med Energimyndigheten.



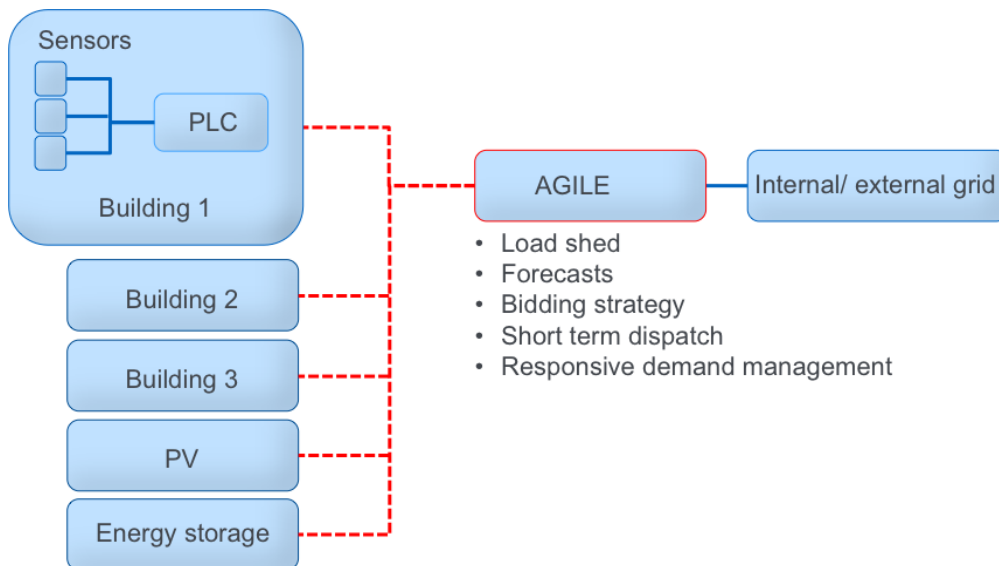
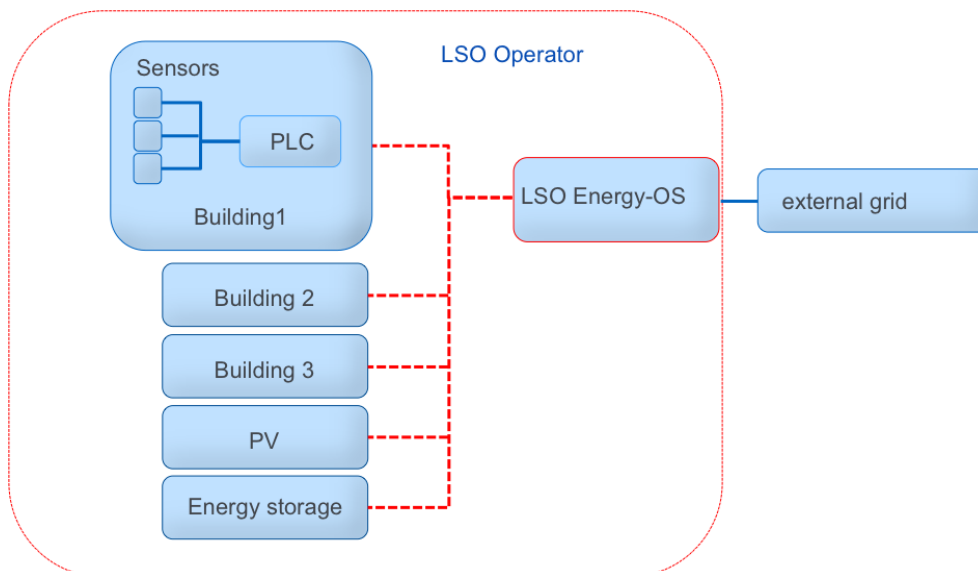


Bild 2. Systemskiss Certh (AGILE = mjukvaran Equilly)

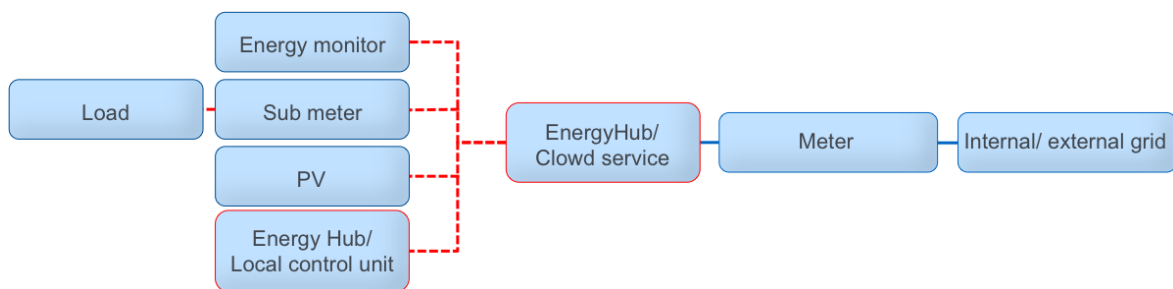
### 2.1.3 INNOENERGY

InnoEnergy's lösning, Local System Operator (LSO), har utvecklat en affärsmodell för smartare energianvändning genom en innovativ affärsmodell som bygger på lokal produktion och konsumtion. LSO baseras på en integrerad plattform av utvalda energilösningar från InnoEnergy:s stora nätverk av partners och startups.



### 2.1.4 FERROAMP ELEKTRONIK

EnergyHub är en skalbar systemlösning som enkelt integreras i nätverket vilket resulterar i effektivare energihantering, mindre spillenergi, enklare installation och lättare underhåll för användarna. Systemet är uppbyggt av den övergripande styr- och övervakningsmolntjänsten EnergyHub som kopplas till fastigheten för att styra PV-celler, batterilager, elbilsladdning etc. och laststyra och växla mellan extern/ internt elnät.



## 2.2 UTVÄRDERINGSSTRATEGI

### 2.2.1 STRUKTUR FÖR TESTSITER

Av de utvalda fyra systemlösningarna bestod tre av mjukvara (Amzur, Certh och Ferroamp) och molntjänster för styrning av lokala energisystem. Hårdvaran var för Amzur och Certh generisk medan Ferroamp hade en egen produkt i sitt energilager. Den fjärde lösningen (InnoEnergy) var en affärsmodell som till fördel skulle kunna appliceras på övriga lösningsförslag. I diskussioner med systemleverantörerna framkom att InnoEnergy redan hade börjat utvecklingen tillsammans med Ferroamp och därför ville fokusera sina insatser till en gemensam testsite med dem. Av ovanstående anledning strukturerades testsiterna så att tre testsiter genomfördes varav en i två hierarkiska nivåer (inkluderande både Ferroamp Elektronik och Innoenergy).

### 2.2.2 URVAL AV TESTSITER SAMT MATCHNING MOT SYSTEMLÖSNINGAR

Projektgruppen ställde tillsammans med behovsägarna utöver tidplan upp nedanstående kriterier för matchningen mellan potentiella testsiter och systemlösningar.

#### *Användarnas känslighet mot störningar*

Systemlösningarna ansågs vid tillfället vara i olika mognadsfaser. Med detta sagt förväntades vissa system ge upphov till mer störningar än andra under testsitefasen. Det var därför viktigt att testsiterna valdes ut med hänsyn tagen till de användare som bodde, arbetade och förvaltade testsiterna så att minimal störning uppnåddes.

#### *Redan installerade/ utprovade systemlösningar*

Systemleverantörerna hade vid testet nått olika långt i sin marknadsintroduktion. De som nått längst hade redan flertalet mer eller mindre kommersiella anläggningar som enkelt kunde ha kompletterats upp till att verka som kompletta testsiter inom IEM. De system som låg längst från marknadsintroduktion hade ännu endast utprovats i labbmiljö och hänsyn till detta togs i valet av testsiteinstallation.

#### *Process för urval och matchning*

Behovsägarna bjöds in av projektet till att definiera egenskaperna för de testsiter som erbjöds till projektets test/ verifieringsfas. Projektgruppen adderade sedan alternativa testsiter som uppfyllde dessa kriterier. Behovsägare och leverantörer prioriterade och kommenterade sedan valet av testsiter.

### *Testsiternas relevans för behovsägarna*

Urvalet av testsiterna relaterades till projektets övergripande frågeställningar, olika intressentgruppers prioriterade frågor samt inom vilka delar av den sammantagna testmiljön som svar på dessa olika frågorna kunde ges. Ur detta arbete gjordes ett urval av testsiter som bäst mötte projektets tidplan och samtliga intressenters prioriteringar och som kunde kopplas samman med var sin systemlösning enligt nedan. Testsiterna delades upp i prioritet 1 och 2 där prioritet 2 var som option i det fall prioritet 1 inte gick att genomföra eller om projektet beslutade sig för att genomföra ytterligare testsiter. Båda anläggningarna som listas under prioritet 2 ansågs med fördel även kunna engageras i projektets Living Lab.

#### *Prioritet 1*

##### *Glava Energy Center 1, Arvika*

I byggnaden fanns ett 350V likströmssystem (DC) med energilager installerat som drevs av 8 kW solceller installerade på taket. Systemet var kopplat till elnätet när solelproduktionen/batterierna inte räckte till. DC systemet inkluderade ventilationssystem, LED-lampor och kyl/frys. Batterierna hade två laddningsprogram för vår/ sommar/ höst respektive vinter.

Utvald systemleverantör: Amzur

##### *Slagtaskolan, Eskilstuna*

Slagtaskolan hade sedan 2014 ett system med sol på taket som levererade 85 kWp. Datasamling via Mbus och RS485 för energiproduktion och mätdata höll vid tidpunkten på att installeras. Området innefattade 5100 kvadratmeter. Elanvändningen per år var cirka 260 MWh, med ett minimivärde på 7-8 kWh under last i juli. Anläggningen innehöll ingen energilagring och ansågs då vara i behov av att även kompletteras med laddning för elfordon.

Utvald systemleverantör: Certh

##### *Ihus/ Vaksala Eke*

Vaksala Eke var vid tiden ett industriområde i Uppsala med två byggnader (A,B). Byggnad A (3600 kvm) innefattade solceller som levererade 10,8 kWp med ett batterilager på 20 kWh med möjlig UPS konfiguration. Byggnad B (1800kvm) innefattade solceller på fasaden som levererade 11 kWp och inkluderade 6 laddstolpar för elfordonsladdning. På Vaksala Eke fanns även intresse av att undersöka huruvida ett likströmsnät mellan områdets lokaler kunde öka egenanvändningen av solel, jämna ut faser samt reducera topplaster.

Utvald systemleverantör: Innoenergy/ Ferroamp

##### *Ihus/ Salagatan*

I komplement till installationen i Vaksala Eke ställde Ihus sitt kontor på Salagatan 18 till testets förfogande. På Salagatan 18 fanns en 10 kWp solcellsanläggning installerad. Med syfte att öka egenanvändningen av producerad el skulle Leverantören installera ett energistyrssystem inklusive energilager med tillhörande energilagermodul.



Utvald systemleverantör: Innoenergy/ Ferroamp

### *Prioritet 2*

#### *HSB Living Lab*

HSB Living Lab är ett flerfamiljshus med 29 lägenheter som ligger i Göteborg. Fastighetens fasad skulle bestyckas med 5-10 kWp integrerade solceller under 2016. Det fanns också en möjlighet att installera ett batterilager och laddning av elfordon. HSB Living Lab -projektet är ett samarbete mellan 12 organisationer inom hållbart boende. Byggnaden, som ligger på Campus vid Chalmers Tekniska högskola, kommer att användas som en plattform för FoU-projekt i tio år.

#### *Örebrostäder*

Vid tiden för testet fanns en potentiell testsite eller Living Lab inom en eller flera bostadsfastigheter ägda av Örebrostäder. Systemleverantörerna Ferroamp/ InnoEnergy hade en upparbetad dialog med Örebrostäder vilket gjorde att en testsite/ Living Lab snabbt skulle kunna sättas upp.

#### *Arvika kommun*

En potentiell testsite inom Arvika kommun för uppgradering av motorvärmarruttag för laddning av kommunens laddbara bilar med styrsystem och energilager var möjlig att utveckla.

## 2.3 UTVÄRDERINGSKRITERIER

Projektgruppen tog i samråd med behovsägarna och systemleverantörerna fram en bruttolista med prioriterade utvärderingskriterier.

Kriterierna grupperades i nedanstående kategorier. Behovs- och systemägare var mycket samstämmiga i sin värdering av dessa utvärderingskriterier och samtliga kriterier prioriterades högt:

#### *Organisation*

I syfte att skapa förståelse för organisationens kapacitet till kommersialisering av produkten och genombrott på marknaden värderades organisationens personella och finansiella resurser.

#### *Affärskriterier*

Av samma anledning som ovan utvärderades affärskriterier för att genomlysas organisationens potential till genombrott på marknaden. I denna kategori utvärderades affärsmodell, skalbarhet, finansiering, strategi, patent/IP, förmågan till tekniksprång, konkurrens och påverkan på affärsmodellen vid ändrad lagstiftning.

#### *Användarvänlighet*

De krav som systemlösningen ställde på användarna (boende, drift- och förvaltningspersonal) och lösningens kapacitet och tid till självinlärning utvärderades inom detta kriterium. Användarvänligheten planerades att ytterligare sättas under lupp i den planerade Living Lab verksamheten.

### *Teknik*

Under teknikavsnittet sattes fokus på vilken teknisk funktionalitet, stabilitet och kvalitet som systemet innehade.

### *Säkerhet*

Under kriteriet säkerhet inrymdes hur lösningen var konstruerad för att minimera säkerhetsrisker men även vilka garantier, uppgraderings- och övervakningsmöjligheter som systemet innehade samt hur lösningen upprätthöll en god elkvalitet och elsäkerhet.

### *Hållbarhet*

Hållbarhetskriteriet var brett hållet med syfte att genomlys systemets livscykel genom tillverkning/drift/ återbruk/ återvinning samt grad av självhushållning.

### *Öppen data*

Slutligen utvärderas systemlösningens öppenhet i kommunikationsgränssnitt dess "plug and play"- nivå samt möjligheten att hantera öppen dataanslutning från andra lösningar och tredje part.

## 3 TEST & VERIFIERING (SAMMANFATTNING AV RAPPORT, BILAGA 1)

Den utvärdering av systemens teknik, tester och resultat som presenteras har utförts av RISE, Hannes Hagmar och Maria Hammarquist. I tillägg till denna utvärdering har Sustainable Innovation utvärderat systemens Användarvänlighet, Hållbarhet och Öppna data. Nedan följer en sammanfattning av denna utvärdering. Den fullständiga utvärderingen återfinns som Bilaga 1.

### ***Kommentar kring möjligheter att kvantitativt utvärdera systemlösningarna tekniskt***

Att kvantitativt estimerar systemlösningarnas funktion och framför allt effektivitetsfördel kräver att estimeringen görs i relation till någon form av referens. Det kan röra sig om en referensanläggning, eller i relation till effektiviteten eller funktionen före installation av systemlösningen. I fråga om vissa parametrar har den kvantitativa estimeringen varit ogörlig, då utvecklandet av en metod, och fastställandet av referens, för en dylik utvärdering inte ingått i projektet.

Den parametrar i projektet som inte fullt ut har kunnat undersökas är hur mycket systemlösningen bidragit till ökningen av egenanvändningen av solel. Varför förklaras nedan.

Att verifiera att en ändring i styrsystemet verkligen resulterar i högre egenanvändning av solel exempelvis genom lagring och styrning av energianvändning och batterinivåer, och dessutom kvantifiera denna ökning, kräver avancerad metodik:

Det helt korrekta sättet att säkerställa förändringen i egenanvändning vore att använda en standardiserad testbädd, med kontrollerad last och kontrollerade produktionsförutsättningar, så att man kan köra ett test med och ett test utan kontrollalgoritmen. Mot detta kan ändå invändningar resas; hur väl speglar den applicerade

lasten och produktionsförutsättningarna verkligheten?

Vid praktiska installationer kan man tänka sig att man jämför före- och efterdata, alltså att systemet först körs utan intelligent styrning under till exempel ett år, och sedan med intelligent batteristyrning under ett år och sedan jämförs data. Speciellt över tid får man då trender som bör ge en god uppfattning om egenanvändningsgraden. Man får en ungefärlig uppfattning, eftersom jämförelsen inte blir helt rättvisande eftersom både lastsituation och produktionsförutsättningar (solinstrålning) kommer att variera. Nackdelen är dessutom att detta tar tid.

Man kan också tänka sig att tillverkaren bygger in utvärderingen i algoritmen genom att vid sidan av styrningen lägga in en parallell beräkning av situationen utan styrning; OM man inte haft något batterilager skulle allt överskott istället exporterats, hur mycket lagras i batteriet? OM vi har dessa prediktioner träffar vi följande val ifråga om att styra om laster, alt. hur långt vi väljer att ladda upp/ur batterilagret – vilka val hade vi gjort utan val baserade på prediktioner och hur stor hade egenanvändningsgraden då blivit? Detta komplicerar dock en redan komplex programmering. Någon form av utvärdering har naturligtvis systemutvecklaren redan; det är ju på så sätt en justering och optimering av systemet uppnås. Men att genom reverse engineering kartlägga dessa val via mätdata och sedan kvantifiera påverkan på egenanvändning ger ändå ett tveksamt slutresultat då full transparens ifråga om algoritmens val knappast kan uppnås enbart genom att undersöka mätresultaten.

Man kan också tänka sig att man följer kostnadsutvecklingen, alternativt importerad respektive producerad effekt och deras inbördes relationer (vilket de flesta kommersiella användare ändå följer noggrant), men även detta kräver före- och efterdata med medföljande memento att mätsituationen inte är exakt densamma. Men för en användare som under längre tid loggat sitt system, och sedan gör en ombyggnad/komplettering, bör skillnader i egenanvändning synas på detta sätt. Gemensamt för alla dessa metoder är dock att de kräver minst ett år för att jämförelsen inte skall få alltför stora fel på grund av årstidsvariationer.

En slutsats av projektet är: Framtagning av en standardiserad metod för korrekt och spårbar utvärdering av ökningen av egenanvändningen är önskvärt, då det skulle öka jämförbarheten mellan olika systemlösningar och därmed underlätta rationella beslut hos finansiärer, utvecklare, beslutsfattare och användare.

## 3.1 FERROAMP

### 3.1.1 ANVÄNDARVÄNLIGHET

Installationen av piloten har avlöpt relativt enkelt för Ferroamp förutom det faktum att hårdvaruleveranserna har dragit ut på tiden. Bolaget känns mogna i sitt arbetssätt och har rutiner och resurser för hur installationen skall gå till. Även stödet till installatören har fungerat bra. Däremot har återkopplingen efter färdigställd installation varit dåligt och det saknas en introduktion och dokumentation kring användningen av systemet. Ihus tekniker har inte fått någon genomgång kring systemet och kan därför inte mer än göra ytlig felkontroll av systemet.

### 3.1.2 TEKNIK

Endast en deltagare, Ferroamp, levererar ett komplett system med både hård- och mjukvara. Fördelarna i systemet är många, exempelvis minimering av inre effektförluster, en övergripande koordinering av konsumtion, lagring och produktion och öppenhet för utbyggnad av systemet med till exempel elbilsaddning, med tillhörande möjligheter till effektoptimering och kostnadseffektivisering.

Ferroamps system är genuint skalbart, och minimerar inre effektförluster genom att ha ett lokalt likströmsnät och en enda centralt placerad dubbelriktad konverterare, kallad EnergyHub. Styrsystemet kommunicerar även med högupplösta elmätare och sensorer som är placerade vid laster, soleanläggningen, samt vid inkommande ledning från elnätet. Beräknade värden skickas vidare till molntjänsten. Genom utvecklade algoritmer och förvalda inställningar styr och kontrollerar därefter EnergyHub:en energiflöden mellan solpaneler, energilagringssystem och elnätet.

Integrerat finns ett system för utjämning av effektflöden mellan fasströmmar (fasutjämning). Systemet skyddar från att säkringar brinner av vid förekomst av kraftiga strömasymmetrier och ofta kan byggnader minska storlek på säkringar och på så sätt spara pengar. Man har också ett egenutvecklat energilagringssystem kontrollerat av ett integrerat batteriövervakningssystem för att bibehålla temperatur, kontrollera laddningscykler och optimera battericellerna. Ytterligare separata system, även med varierande spänningsnivåer, kan integreras.

En egenutvecklad solsträngsoptimerare som styr och maximerar effektiviteten för eventuella solpaneler erbjuds också. Samtliga ingående delar kommunicerar med och styrs av EnergyHub:en och kan fjärrstyras. Utifrån karaktäristik på lastmönster, effekttoppar och eventuell produktion från solcellsanläggningar anpassas därefter systemet. Systemet är i dagsläget kalibrerat och justerat för optimal laststyrning. Nedan följer en sammanfattning enligt punktlistan i metodavsnittet på sida 7 i bilaga 1.

Undersökta parametrar - Ferroamp	
<i>När väljer styrsystemet att börja ladda ur energilagret? Baseras dessa beslut på tidigare inhämtad mätdata? Är systemet adaptivt och klarar det av förändringar i last och produktion? Hanterar systemet skillnader i last och produktion mellan olika dagar (veckodagar/helger)? Används väderdata för att göra prognoser på produktion från solpaneler och därmed styra energilagret?</i>	Energilagret laddas när det finns en överproduktion av solet eller från elnätet, baserat på historisk karaktäristik på lastmönster, effekttoppar och eventuell produktion från solcellsanläggningar. Systemet är adaptivt och klarar av förändringar i last och produktion, över vilka tidshorisonter går ej att uttala sig om baserat på tillgänglig data. Styrsystemet anpassas inte på basis av väderprognoser.
<i>Hur väl klarar energilagret av att hantera effekttoppar? Hur stora marginaler har styrsystemet för att hantera variationer i last? Hur minimeras slitage av energilagret?</i>	lastvariation. Energilagrets storlek är på 7,2 kWh, och genom att inte tillåta laddningsnivån att understiga till exempel 40 % existerar alltid ett utrymme för att hantera toppar och lastvariation på 2,88 kWh. Slitage på energilagret minimeras genom att man ser till att energilagret inte laddas ur under en på förhand bestämd nivå.
<i>I det fall laststyrning är aktivt, hur väljer styrsystemet att styra lasterna? Vid vilka tider? Används väderdata för att skapa ett adaptivt system? Kan användarna själva styra laststyrningen?</i>	Laststyrningen har varit aktiv under hela testperioden. Systemets flexibilitet gällande hantering och styrning av både interna och externa variabler, central konvertering som minimerar interna förluster samt adaptiv fasutjämning ger ett kompetent system ifråga om laststyrning. Den aktuella instansen av systemet använder inte väderprognoser eller momentant elpris för att skapa ett adaptivt system. Stöd finns för att användaren själv skall kunna styra laststyrningen, men det har ej varit aktuellt vid den aktuella installationen.
<i>När laddas energilagret? Kan det anpassas till laddning vid tidpunkter med låg last alternativt lågt elpris?</i>	Den aktuella instansen av systemet använder inte momentant elpris för att ladda energilagret vid lågpristillfällena. Energilagret laddas när det finns ett överskott av producerad solet i förhållande till konsumtionen eller från elnätet.
<i>Under en solig dag med stor produktion, hur väl lyckas systemlösningen med att öka egenanvändningen av solet?</i>	Det går ej att utifrån givna data korrekt ange hur mycket egenanvändningen av solet ökar tack vare styrsystemet , eftersom mätdata under tillräckligt lång tid före och efter implementering av algoritmen, och kontrollerade för variation i last- och produktionsmönster, ej inhämtats inom ramarna för projektet. Se även inledning av kapitel 3. En lägstanivå på ökningen av solet ges dock i det aktuella fallet av batterilagrets storlek. Under sommarhalvåret styrs effektuttaget så att batterilagret alltid är fulladdat på kvällen, när solesanläggningen inte längre levererar effekt. På så sätt uppnås en lägstanivå på ökningen av egenanvändning på 7,2 kWh, som är batterilagrets kapacitet.

### 3.1.3 SÄKERHET

Ferroamps produkter bygger till stor del på just skalbarhet där fler enheter kan läggas till vid förändrade behov. EnergyHub-systemet är anpassat för att kunna användas vid alla typer av effektnivåer där fler moduler kan läggas till i systemet tills behovet på effektkapacitet är nådd. Vägghävarade höljen och rackskåp finns anpassade för att effektivt kunna förvara olika storlekar på system.

Även energilagarsystemet är skalbart där varje enhet har en kapacitet på 7,2 kWh. Utspänningen på varje batterisystem är styrd för att hålla samma nivå som för DC-länkspänningen. Därmed kan flera batterier med olika ålder och laddningsnivåer användas inom ett och samma system. Även andra batterisystem än Ferroamps egna är möjliga att använda så länge dessa möter spänningskraven för DC-länken och inkluderar ett batteriövervakningssystem.

### *Fjärrstyrning och drift*

Genom den utvecklade molntjänsten och webbportalen får användarna en direkt insikt i både sina egna förbrukningsmönster som i funktionaliteten på systemet. Då systemet är uppkopplat kan användare således få tillgång till funktionaliteten oavsett var de befinner sig.

Tidigare har mjukvara och förändringar krävs manuella uppdateringar, där personal manuellt behövt lägga in uppdateringar i EnergyHub:en. Under tiden som utvärderingarna har utförts har en ny plattform, Yocto, börjat utvecklas för att direkt kunna koppla upp komponenterna mot en säker server där fjärruppdateringar, felsökningar och kontroll av loggar lättare kan utföras. Yoctoplattformen är idag nästan helt utrullad till alla system. Ca 400 system är installerade varav de sista 10 % återstår att uppdatera. De är i vissa fall inte inkopplade till internet och i andra fall kräver de fysisk närvaro av andra orsaker. Utrullningen krävs inte för funktion, men eftersom detta är den nya plattformen kommer dessa system inte att kunna uppdateras om de inte får den nya plattformen. Yocto betyder mycket för systemets vidare utveckling, eftersom det frigör resurser och förenklar hantering av systeminställningar. Dataöverföringen sker via ett SSH-protokoll där all data krypteras för att säkert kunna utföra anslutningen.

### *Skydd och säkerhet*

LiFePO<sub>4</sub>-teknologin som används för Ferroamps energilager Smart Energy Storage har generellt en betydligt högre termisk och kemisk stabilitet än många andra litiumjonbatterityper, vilket ger förbättrad säkerhet vid eventuella kortslutningar eller överbelastningar. Ferroamp har även utvecklat ett batteriövervakningssystem som används för att löpande övervaka varje enskild battericell i energilagarsystemet där spänningar och urladdningar balanseras för förbättrad livslängd och säkerhet. Till systemet finns även reläer som skyddar och kopplar bort energilagarsystemet ifall en onormal drift skulle detekteras.

Ett ytterligare säkerhetssystem är uppbyggt mellan solsträngsoptimeraren och EnergyHub:en. Styrenheten är direkt kopplad till EnergyHub:en och kan därmed fjärrstyras för på- och avstängning. Styrenheten kräver även en konstant kommunikation mot EnergyHub:en och vid eventuella fel eller olyckor så kommer styrenheten därmed att automatiskt att stängas ner för ökad säkerhet. I de fall då flera EnergyHubs finns inkopplade till samma system fås en viss redundans, då delar av produktionen fortfarande kan bibehållas i händelse av att en enskild modul går sönder. Därutöver finns även ett egenutvecklat brandskydd, kallad Fireman Switch, som används för att direkt kunna koppla bort solelanläggningen i händelse av brand.

### 3.1.4 HÅLLBARHET

Återvinning av Ferroamps produkter sker enligt dagens standarder för elektronikrustning. Produkterna demonteras och källsorteras. Från kretskort demonteras vitala komponenter och övrig del av kretskorten går igenom en återvinningsprocess. Bolaget har vidare krav på sig att återta batterierna för återvinning efter avslutad "tjänst".

Ferroamp har inte gjort en LCA-analys men det som kan sägas till Ferroamps fördel är att:

1. Antalet omvandlare för konvertering mellan AC/DC minskar genom att en och samma omvandlare hanterar flera funktioner (produktion, lager, laddning).
2. Med gemensamma DC nät minskar konverteringar och förluster ytterligare.
3. Med dessa system minskar effektuttaget vilket successivt minskar behovet av nyinvesteringar.

### 3.1.5 ÖPPNA DATA

Ferroamp bygger sitt system på att själva integrera samtliga funktioner i fastigheten i sina egna systemlösningar. Bolaget ser dock installatörer och systemintegratörer som sin framtida försäljningskanal vilket även öppnar för kombinationen med andra leverantörer. För detta erbjuder Ferroamp strömmande data för kommunikation med andra system och övergripande styr-, mätsystem via API och Modbus TCP.

## 3.2 AMZUR TECHNOLOGIES

### 3.2.1 ANVÄNDARVÄNLIGHET

Det är tydligt att Amzur kommer från mjukvarusektorn och inte energisektorn. Det eleganta i systemet är deras öppna källkod och molnbaserade tjänster. Detta har potential i spridning.

Amzur använder Intel NUC standard PC med Linux dialekt och likströmsmätare som kopplar dessa samman vilket borde kunna underlätta en stor spridning. Varken GLAVAs egen personal eller Amzur hade dock tidigare arbetet med likströmsmätare i kombination med dessa system vilket gav en del drifttagningsproblem.

Installationen har tagit långt tid men inte så mycket faktiskt extra arbete och den elektriker som anlätades saknade datakompetens vilket gjorde att installationen gick lite långsammare än nödvändigt. Magnus Nilsson på Glava är övertygad om att installationen kan uppnå en god plug & play nivå om:

- Amzur bättre paketerar och specificerar den hårdvara och installation som krävs. Ett förslag vore att Amzur paketerar och säljer hårdvara som de kan garantera funktionen för. (likt norska Eltek som de även fick kontakt med under mässan i maj).
- Amzur knyter till sig ett nätverk av kunniga integrationsföretag.
- De installatörer som anlitas har datakommunikationskunskap.

### 3.2.2 TEKNIK

Amzur använder sig av Linux och baseras på öppen källkod, och har även bidragit med att utveckla designen för kommunikation- och styrningssystem för energimätning, laststyrning och batteristyrning för den aktuella pilotsiten. Nedan följer en sammanfattning enligt punktlistan i metodavsnittet på sida 7 i bilaga 1.

Undersökta parametrar - Amzur	
<i>När väljer styrsystemet att börja ladda ur energilagret? Baseras dessa beslut på tidigare inhämtad mätdata? Är systemet adaptivt och klarar det av förändringar i last och produktion? Hanterar systemet skillnader i last och produktion mellan olika dagar (veckodagar/helger)? Används väderdata för att göra prognoser på produktion från solpaneler och därmed styra energilagret?</i>	Den aktuella siten kan inte exportera till elnätet, varför laddning av energilagret alltid sker när produktionen överskrider konsumtionen. Grundsystemet är adaptivt och klarar av förändringar i last och produktion, men då konsumtionsituationen på den aktuella siten är okomplicerad kommer algoritmens mer avancerade funktioner inte till användning. Maximering av egenkonsumtion och lagring har följaktligen naturligt hög prioritet i algoritmen. Laddnings- och urladdningscykeln för batteriet baseras på tillgängliga prognoser för belastning och solenergiproduktion bland annat utgående från väderdata.
<i>Hur väl klarar energilagret av att hantera effekttoppar? Hur stora marginaler har styrsystemet för att hantera variationer i last? Hur minimeras slitage av energilagret?</i>	Minimering av effekttoppar (peak shaving) prioriteras högt i algoritmen och baseras på användardefinierade parametrar. Energilagrets storlek är på 3,5 kWh, och genom att inte tillåta laddningsnivån att understiga till exempel 40 % existerar alltid ett utrymme för att hantera toppar och lastvariation på 1,4 kWh. Minimering av batterislitage prioriteras, genom användning av tidigare nämnd prognosbaserad styrning av laddnings- och urladdningscykler.
<i>I det fall laststyrning är aktivt, hur väljer styrsystemet att styra lasterna? Vid vilka tider? Används väderdata för att skapa ett adaptivt system? Kan användarna själva styra laststyrningen?</i>	Avancerad optimering med till exempel maskininlärning visade sig inte lämpligt givet pilotsitens tämligen enkla konsumtionsmönster. Användaren kan kontrollera parametrarna för laststyrning, och systemet tillåter tillfälliga ändringar i schemat för laststyrning.
<i>När laddas energilagret? Kan det anpassas till laddning vid tidpunkter med låg last alternativt lågt elpris?</i>	Denna funktion kan enkelt implementeras i algoritmen, men ingick inte i kravspecifikationen för aktuell site.
<i>Under en solig dag med stor produktion, hur väl lyckas systemlösningen med att öka egenanvändningen av solel?</i>	För att få en uppfattning om hur mycket egenanvändningen ökar, har Amzur i jämförande syfte kört sitt system i en månad utan användning av sin algoritm och en månad med användning av algoritmen. En månad är egentligen väl kort tid för denna utvärdering, men ger dock en indikation. Dessutom var lastnivåer och produktionsförutsättningar någorlunda lika under de två månader som jämförelsen gjordes. Under dessa två månader ökade egenanvändningen av solel från 36,7 % till 58 %, alltså med 21,3 %. Dessa uppgifter har erhållits färdiga från Amzur, eftersom utvärderingen gjordes Amzur efter att projektet rapporterats.



Amzur bedöms ha avslutat sin installation och idrifttagning av aktuell site.

### 3.2.3 SÄKERHET

Då det utvecklade styrsystemet använder en vanlig, så kallad "off-the-shelf" dator, är uppgraderings- och övervakningsmöjligheterna mycket goda. Vid förändrade framtida behov kan därmed såväl hårdvara (som exempelvis modern energiproduktion, ytterligare lagring och nya lasttyper) som mjukvara uppdateras eller bytas ut utan större ingrepp i driften. Fjärruppgraderingar är möjligt. Ett tillgängligt modem med internetanslutning är tillräckligt för att övervakning och drift på distans ska kunna vara möjligt. Alla mjukvarufunktioner kan utföras på distans och eventuella varningar och alarm kommer att kunna kommuniceras till den driftansvarige.

Den molnbaserade monitoreringsapplikationen hanterar och styr vid behov om systemlarm och -information till relevant mottagare, via till exempel SMS och e-mail. Användaren kan styra vilka triggers och händelser (exempelvis avbrott i kommunikationen eller onormala data) som skall generera larm eller informationsmeddelanden. Användaren kan även analysera generering, lagring, last och lasttyp för dag, månad eller år, och har möjlighet att ladda ner data för vidare behandling i spreadsheet-format.

### 3.2.4 HÅLLBARHET

Amzur är helt hårdvaruoberoende och ställer inga krav på dessa delar.

### 3.2.5 ÖPPNA DATA

OpenDEM bygger på öppen källkod och uppfyller öppna standarder, inklusive IEEE2030.5 Smart Energy Profile (SEP2) och ASHRAE Facility Smart Grid Information Model (FSGIM). Amzur håller som bäst på att integrera Open Field Message Bus (OpenFMB). Programvaran, API: n och teknikstacken är alla öppna källor.

## 3.3 CERTH

### 3.3.1 ANVÄNDARVÄNLIGHET

Installationen och drifttagningen av piloten har lidit av ett flertal problem som samtliga måste lösas inför en marknadsintroduktion.

Integrationen av mjukvara och den befintliga anläggningens system/ produkter, i detta fall den frys som Slagstaskolan innehåller, gav problem. WSP var initialt dåligt pålästa och föreslog en lösning som inte fungerade. Detsamma gällde informationen från Certh kring vilken plattform som krävdes för mjukvaruinstallationen. Av denna anledning blev kommunen tvingade att byta dator för att gå från 32 bitars-miljö till den 64-bitarsmiljö som Cerths programvara kräver. För att ta anläggningen i drift har Certh vidare skrivit om mjukvaran med en specialapplikation. Detta måste förändras vid uppskalning, till konfigurationsfiler som ligger utanför själva mjukvaran, annars kommer underhållet av alla dessa specialapplikationer bli ohållbar.

Behovet av en kunnig integratör är stor men även av bra instruktioner till beställare och installatörer. Dessa saknades under installationen av piloten vilket resulterade i att den upphandlade elinstallationsfirman hade svårt att ta systemet i drift.

Slutligen kan poängteras att bra dialog och kommunikation är viktig. Som det nu är blir språk och geografiskt avstånd ett problem som gör att Certh måste göra drifttagningen på plats för att det skall fungera.

### 3.3.2 TEKNIK

Cerths algoritmer använder sig av realtidsmätningar från solcellsanläggningen, energilagarsystem och elförbrukning och styr sedan mikronätet för att optimera styrmålen. Certh jobbar i dagsläget med att optimera sina algoritmer för optimal laststyrning involverande maskininlärning och bedöms inte ha avslutat arbetet ingående i detta projekt. Nedan följer en sammanfattning enligt punktlistan i metodavsnittet på sida 7 i bilaga 1.

Undersökta parametrar - Certh	
När väljer styrsystemet att börja ladda ur energilagret? Baseras dessa beslut på tidigare <i>inhämtad mätdata? Är systemet adaptivt och klarar det av förändringar i last och produktion? Hanterar systemet skillnader i last och produktion mellan olika dagar (veckodagar/helger)? Används väderdata för att göra prognoser på produktion från solpaneler och därmed styra energilagret?</i>	Utöver mätningar i byggnaden kan algoritmen använda elpriser, väderprognoser och förbrukningsmönster för att styra energilager och styrbara laster. All insamlad data matas in i en självoptimerande sluten processloop, som med hjälp av adaptiva egenutvecklade algoritmer söker en optimal kontrollstrategi.
<i>Hur väl klarar energilagret av att hantera effekttoppar? Hur stora marginaler har styrsystemet för att hantera variationer i last? Hur minimeras slitage av energilagret?</i>	Minimering av effekttoppar (peak shaving) samt minimering av batterislitage har getts medelhög prioritet. Energilagrets storlek är på 14,4 kWh, och genom att inte tillåta laddningsnivån att understiga till exempel 40 % existerar alltid ett utrymme för att hantera toppar och lastvariation på 5,76 kWh. Det är inte heller känt vilken strategi som används för att minimera slitage på energilagret.
<i>I det fall laststyrning är aktivt, hur väljer styrsystemet att styra lasterna? Vid vilka tider? Används väderdata för att skapa ett adaptivt system? Kan användarna själva styra laststyrningen?</i>	Väderdata kommer att användas för att, involverande maskininlärning, skapa ett adaptivt system för optimal laststyrning. I själva algoritmen finns stöd för användaren att lägga in temporära ändringar som till exempel om man vet att byggnaden kommer att stå tom under en period, med denna funktion har ej implementerades i dagsläget, då det ej ansågs behövas för att optimera algoritmens funktion, vilket är prioriterat just nu.
<i>När laddas energilagret? Kan det anpassas till laddning vid tidpunkter med låg last alternativt lågt elpris?</i>	Utöver mätningar i byggnaden kan algoritmen använda elpriser för att styra energilager och styrbara laster.
<i>Under en solig dag med stor produktion, hur väl</i>	I algoritmen ges hög prioritet till maximering av

*lyckas systemlösningen med att öka egenanvändningen av solet?*

egenkonsumtion av den producerade solenergin. Det går ej att utifrån givna data ange hur mycket egenanvändningen av solet ökar tack vare styrsystemet, då aktiv styrning inte var aktiverad vid mättillfället.

Certh jobbar i dagsläget på att optimera sina algoritmer för optimal laststyrning. Certh bedöms ha avslutat sin installation på aktuell site, men optimering återstår fortfarande. Man kan konstatera att styrsystemet bör bli kompetent att hantera både effekttoppar och att reglera egenanvändningen efter avslutad optimering, men någon kvantifiering av dessa styrmål går inte att göra.

### 3.3.3 SÄKERHET

Utvärderingen av systemlösningens säkerhetsaspekter planerades att göras i samband med att den tekniska utvärderingen slutfördes. Nu kunde den tekniska utvärderingen ej slutföras eftersom den smarta styrningen ännu inte aktiverats. Därför görs viss utvärdering av säkerhetsaspekterna sådana de är idag. Kompletteringar kan dock komma att behövas i samband med att de tekniska delarna färdigställs. Enligt uppgift från Certh, visar Equilly User-applikationen idag en grafisk presentation av de interna betingelserna. Det finns också en realtidsmonitorering av både interna och externa betingelser, som energimönster. Data kan också sparas. Planen är att användaren i framtiden skall kunna ge feed-back till hur väl systemet presterar. Equilly -systemet anges vara av plug-and-play-typ vilket ger möjligheten att uppgradera systemet utan att ändra några av verktygens specifikationer. Mjukvaran kan även fjärruppgraderas under drift vilket är en stor fördel. Vid uppgradering krävs ett kort avbrott i Equilly User-applikationen, vilket dock sannolikt inte bör påverka systemets funktion.

### 3.3.4 HÅLLBARHET

Equilly är en mjukvarulösning och därmed mindre problematisk vad gäller hållbarhetsaspekter. I dagsläget har inte Certh några speciella kravställningar kring eventuell hårdvara. På sikt kommer ConvCAO att lansera en hårdvara för att möta behovet av integration med en större variation av produktion, fastighetsautomationssystem, laddsystem och energilager. Denna produkt kommer då baseras på de standarder för hållbar elektronikutrustning och bolaget kommer att följa EU-riktlinjerna kring återvinning, demontering och källsortering.

Som mjukvara synes dock Equilly ha stor möjlighet att genom användning av realtidsmätningar och avläsning av väder- och prisinformation styra mikronätet för att optimal laststyrning och därigenom skapa en energieffektivisering, minska effektuttaget och öka nyttjandet av DC-system, vilket sammantaget positivt påverkar produktens livscykelerspektiv. Dessa variabler är gemensamma för samtliga pilotsystem.

### 3.3.5 ÖPPNA DATA

Equilly levererar fem olika interface JSON, XML, Excel och Math (som är CnovCAOs egen plattform) samt en online data transfer. Bolaget kan även erbjuda skräddarsydda interface enligt kundens preferenser.

Systemet nyttjas idag som ett öppet API inom flertalet piloter och har därigenom integrerats med andra API:er och bolaget söker aktivt fortsätta integrera med alla marknadens öppna API:er. Med tanke på att systemet är en hårdvaruoberoende mjukvara är detta inte så konstigt utan mer en hygienfaktor för systemet.

Systemet baseras på en algoritm kallad PCAO som skapats av ConvCAO i ett tidigare EU-projekt och som är optimerad för plug and play. Detta innebär att systemet inte behöver någon förutbestämd kalibrering eller resurskrävande installation. Systemet optimerar sig självt mot de produkter och fastighetsautomationssystem som det kopplas upp mot. Av dessa anledningar är systemet väl anpassat för distansinstallation över internet. Det är tydligt att systemet inte är helt färdigoptimerat eftersom pilotinstallationen inte har varit direkt plug and play men ambitionen är god.

Systemet är konstruerat som en öppen applikation gällande dataaccess. All data som används för systemets beslutsprocesser ägs gemensamt av kunden och ConvCAO och är tillgänglig för kunden att sprida efter överenskommelse mellan ägarna. Systemets app är vidare öppen för integration med andra lösningar från tredje man.

## 3.4 INNOENERGY

### 3.4.1 ANVÄNDARVÄNLIGHET

Vid installationen av InnoEnergy:s lösning, som gick genom Ihus, har Ihus valt en större elinstallationsfirma där en enskild medarbetare, tack vare sin kreativitet, nyfikenhet och goda kompetens inom datakommunikation, vilket visat sig ha stor betydelse för projektets genomförande. Detta för att om möjligt underlätta installationen då Ihus redan i de inledande diskussionerna insåg att InnoEnergy är betydligt tidigare i sin utveckling än exempelvis Ferroamp. Själva grundinstallationen flöt också på bra. I steget före installationen tog det lång tid att få till ett avtal, då InnoEnergy hade svårt att internt säkerställa att man kunde förbinda sig till att uppfylla de kriterier som krävdes för att ta den här typen av uppdrag.

InnoEnergy:s organisationsform, bland annat utan egen installatörsresurs, har gjort att många aktörer varit inblandade vilket har lett till en del onödiga förseningar och svårigheter i att få kommunikation och information att flyta effektivt.

### 3.4.2 TEKNIK

InnoEnergy:s systemlösning består av en molntjänst för styrning och reglering, samt av ett hårdvaruinterface för att koppla upp batterilager och lokala energilösningar. Planen är att använda maskininlärningsalgoritmer för att bättre förutse laster, solelproduktion elpriser,

etc. En stor mängd mätdata samlas in och används, som exempelvis från DC respektive AC-sidan av batterilagret, beräknade värden av anläggningens energibehov utgående från energimätning av import/export från nätet samt solelproduktion, samt ström, spänning, frekvens och effekt både enfas och trefas. Då fjärruppgradering av mjukvaran är möjlig utan förändringar i den fysiska installationen finns möjligheten att rulla ut denna uppgraderade mjukvara även på denna site. Systemlösningen ger stor flexibilitet för att hantera många olika användares system och också en flexibilitet för att koppla i och ur enheter. Nedan följer en sammanfattning enligt punktlistan i metodavsnittet på sida 7 i bilaga 1.

Undersökta parametrar - InnoEnergy	
<i>När väljer styrsystemet att börja ladda ur energilagret? Baseras dessa beslut på tidigare inhämtad mätdata? Är systemet adaptivt och klarar det av förändringar i last och produktion? Hanterar systemet skillnader i last och produktion mellan olika dagar (veckodagar/helger)? Används väderdata för att göra prognoser på produktion från solpaneler och därmed styra energilagret?</i>	Ett smart-battery-management-system har justerats baserat på analys av historiska konsumtions- och produktionsmönster och är adaptivt. Systemet anpassar sin styrning efter årstiden och tillämpar energi-arbitrage. Idag är prediktering av last eller solelproduktion är under utveckling.
<i>Hur väl klarar energilagret av att hantera effekttoppar? Hur stora marginaler har styrsystemet för att hantera variationer i last? Hur minimeras slitage av energilagret?</i>	Medelhög prioritet har getts till att minimera effekttoppar, genom justering av upp- och urladdningsströmmar för att inte batteriet skall ha för låg nivå för att hantera en effekttopp. Minimering av slitage på batterilager har getts hög prioritet i algoritmen. Batteriets state-of-charge hålls inom på förhand definierade säkerhetsmarginaler, och när dessa marginaler över- eller underskrids, prioriteras återställning av nivån före all annan funktionalitet.. Energilagrets storlek är på 20 kWh, och genom att inte tillåta laddningsnivån att understiga till exempel 40 % (styrbart) existerar alltid ett utrymme för att hantera toppar och lastvariation på 8 kWh.
<i>I det fall laststyrning är aktivt, hur väljer styrsystemet att styra lasterna? Vid vilka tider? Används väderdata för att skapa ett adaptivt system? Kan användarna själva styra laststyrningen?</i>	Laststyrningen i det aktuella fallet underlättas av att energi-arbitrage och funktioner för att kontrollera egenkonsumtionen finns. Man jobbar i dagsläget med att optimera sina algoritmer för optimal laststyrning, involverande maskininläring. Användaren har möjlighet att styra sitt system genom att göra tre grundval: stand-by, normal funktion och effektnivå för laddning/urladdning av batteriet.
<i>När laddas energilagret? Kan det anpassas till laddning vid tidpunkter med låg last alternativt lågt elpris?</i>	Medelhög prioritet har getts till att minimera kostnader genom användning av elprisdata.
<i>Under en solig dag med stor produktion, hur väl lyckas systemlösningen med att öka</i>	Maximering av egenanvändning av producerad solel har getts högsta prioritet i systemet. Det går ej att utifrån

egenanvändningen av solel?	givna data ange hur mycket egenanvändningen av solel ökar tack vare styrsystemet, eftersom mätdata under tillräckligt lång tid före och efter implementering av algoritmen, och kontrollerade för variation i last- och produktionsmönster, ej inhämtats inom ramarna för projektet. Se även inledning av kapitel 3.
----------------------------	--

InnoEnergy bedöms ha avslutat sin installation och idrifttagning.

### 3.4.3 SÄKERHET

Systemlösningen bygger på att extern hårdvara från tredje part används vid installation och därmed är det inte meningsfullt att utvärdera standarder och garantier.

Systemlösningen baseras på en PC-baserad industriell automatiseringsplattform, vilken är ett öppet-interface standardiserad PLC, karakteriserat av öppenhet, interoperabilitet och modularitet. Det kan alltså kombineras med produkter från alla tillverkare. Olika standardmoduler kan integreras organiskt i systemet för att stödja olika typer av sensorer, vilket kan användas för att öka noggrannheten i mätningarna och sedermera i styrningen. Inga icke-öppna interface används i systemet. Systemet tillåter fjärruppdateringar av mjukvaran, och systemet är i funktion så länge elnätet är i funktion.

Systemet kan delvis styras via en webportal, representerat av en SCADA-dashboard, där systemkonfigurationer och realtidsdata av relevanta parametrar för de olika ingående komponenterna (last, solelssystem och batterisystem) presenteras. Batterisystemet kan fjärrstyras mellan tre olika lägen:

- Stand-by
- Laddning/urladdning vid en specificerad effektnivå
- Använd den automatiska styralgoritmen

Historiska data presenteras grafiskt, och tillfälliga avbrott i tillgängligheten till internet hanteras genom att data lagras lokalt och sedan skickas till molnet så snart anslutningen återupprättats. Webportalen anpassas också efter användarens specifika behov, så den utvärderade portalen behöver inte vara den slutgiltiga. I sin grundkonfiguration innehåller webportalen en systemöversikt där mycket detaljerad data över laster, konverterare, expert/import från nätet, PV-produktion och batteriparametrar, presenteras och kan bearbetas.

### 3.4.4 HÅLLBARHET

Styrsystemet innehåller en inbyggd mini-PC, elektriska sensorer och ledningar.

Huvudkomponenten i systemet är den inbyggda datorn och InnoEnergy verkar ha mycket god struktur för återbruk och återvinning av produkten som beräknas kunna vara i drift 20 –

30 år. Följande av produktens beståndsdelar är återanvändbara (30-40%): ledningar, elektroniska delar i datorn, in/ utgångsmoduler kan återanvändas för integration med nyare PC-moduler. Följande av produktens beståndsdelar är återvinningsbara (90-95%): Metall- och plasthölje, elektroniska delar i datorn.

Livscykelanalysen är inte genomförd men det faktum att InnoEnergy applicerar en ansvarsfull design och följer uppförandekoden för PC-tillverkare (CoC) gällande socialt ansvar skapad av ZVEI (Tyska el- och elektroniktillverkarföreningen) borgar för ett hållbart tillvägagångsätt.

#### 3.4.5 ÖPPNA DATA

Kommunikationsgränssnitt erbjuds i form av Mbus och CANbus. Kommunikation och API:er från/ till elmätare är idag redan standardiserade men för batterilager har det ännu inte fastställts någon standard för kommunikation och gränssnitt. Detta innebär mer handpåläggning vid integration. När batterilagermarknaden standardiseras kommer plug & play nivå att öka för dessa system.

Systemet baseras på en standardiserad industriplattform innehållande ett öppet interface med hög interoperabilitet. Inga proprietära system nyttjas. Eftersom InnoEnergy:s affär ligger i att integrera mot så många olika systemlösningar som möjligt ligger det i bolagets intresse att hålla helt öppna gränssnitt.

## 4 UTVÄRDERING AV AFFÄRSKRITERIER OCH ORGANISATION

### 4.1 FERROAMP

#### 4.1.1 AKTUELL STATUS

Ferroamp ligger närmast kommersiell drift och som beräknat var inte själva installationen ett problem. Däremot hade Ferroamp svårt att få fram produkter i tid vilket ledde till fördröjningar i tidplanen. När väl installationen skett saknas utbildning, introduktion och dokumentation till beställaren. Ferroamp ligger i början av marknadsintroduktionen och har därmed en ansträngd organisation och struktur som är under uppbyggnad. Beslutet att förlägga Ferroamps installation hos Ihus får dock ses som rätt även om det inneburit en del extra belastning för Ihus del. Det är tydligt att Ihus engagemang varit av vikt för hur smidigt projektet hittills avlöpt. Ferroamp färdigställde installationen under slutet på augusti 2017.

Ferroamp blev klar med de fysiska installationerna av sina komponenter i början på juni 2017. RISE fick därefter tillgång till den molnbaserade portalen den 27/07 2017. Vid en inledande analys av mätvärden visade det sig att det existerade ett fel vilket resulterade i att det installerade batterilagret ej laddades. Detta åtgärdades i början på augusti varefter en analys av mätvärden påbörjades. Efter kontakt med Ferroamp identifierades nya problem med parametrarna i styrsystemet där önskad funktionalitet ej hade uppnåtts. Ferroamp åtog sig därefter att uppdatera systemparametrarna för att optimera systemet innan den faktiska utvärderingen av systemet utfördes. Under projektets gång har en ny plattform, Yocto,

börjat utvecklas för att direkt kunna koppla upp komponenterna mot en säker server där fjärruppdateringar, felsökningar och kontroll av loggar lättare kan utföras. Via Yoctoplattformen kan systemen styras från uppkopplade tjänster och via portal. Alla delar är inte utvecklade i dessa yttre system men nya funktioner och implementationer tillkommer, tack vare den nya plattformen.

#### 4.1.2 ORGANISATION

Ferroamp har idag en bemanning av 19 personer samt en affärsplan som syftar till att nå nollresultat vid en omsättning på 35 MSEK. Budget för 2017 är en omsättning på 10 MSEK. Hittills under 2017 har bolaget levererat för 6,5 MSEK. Det negativa resultat som tas upp på vägen mot svarta siffror balanseras mot en emission till befintliga ägare och en planerad nyemission inom de närmaste 12 månaderna riktat till några utvalda större investerare.

#### 4.1.3 AFFÄRSKRITERIER

Ferroamps affärsmodell bygger på att bolaget säljer till distributörer och integratörer genom att förse dem med dokumentation och relevant säljstöd. De säljer sedan produkten vidare till slutkund oftast i ett system eller med en tjänst. Denna affärsmodell får ses som fullt skalbar. Vid internationell expansion behöver bolaget etablera kanaler i varje land. Dessa kanaler kommer sannolikt bestå av partnerskap med lämplig kompetens och organisation.

Bolaget är idag finansierat de närmaste 6 månaderna. Strategin är att med resultatet under 2017, med en volymökning från 2 till 10 msek, och verifierad leveransförmåga som bas växla upp med sikte på en kraftig marknadssatsning inom Sverige och utanför Sverige.

Med Ferroamps lösningar kan man skapa en fullt integrerad plattform av lokal produktion, batterilager, laddinfrastruktur och fastighetsautomation där man med traditionella system är hänvisad till isolerade fristående lösningar. Inom området har bolaget ett antal patent gällande både hård och mjukvara som de anser är helt unika patent och som de värderar högt.

Fördelarna med bolaget systemlösning innebär exempelvis:

- Centrala inverteringar (sol, vind, batteri, laddinfrastruktur) vilket ger lägre investeringar och förluster.
- En övergripande koordinering av husets konsumtion, produktion och lagring av el vilket ger en möjlighet till effektoptimering.
- Energi och effektdata som lagras i en central molnplattform och öppnar möjligheter för tjänsteleverantörer som vill komplettera sina tjänster med systemlösningar baserat på solel, elbilsladdning och energilagring och solcellsinstallatörer som vill utveckla tjänsteerbjudanden med energieffektivisering som hjälper kunder med effektkontroll.



Ferroamp befinner sig med sitt koncept på en central position i värdekedjan av energirelaterade tjänster. Erbjudandet till nätföretagen ligger i att hantera utmaningen kring växande problem med varierande effekt i elnätet pga. ökad lokal produktion och nyttjande.

Erbjudandet till tjänste- och entreprenadföretag är att utveckla mervärdestjänster baserade på de energi- och effektdata som Ferroamp tillhandahåller och som kan skapa effektminimerings- och övervakningstjänster till fastighetsbolag.

Ferroamp har valt vägen att skapa ett komplett integrerat system. Konkurrerande, och betydligt större etablerade, aktörer säljer dellösningar men ingen har slagit in på samma linje som Ferroamp. Samtidigt har övriga utprovade systemlösningar inom IEM primärt fokus på mjukvaruutveckling men tvingas in i att ta fram hårdvara för anslutning till befintliga system. Ur skenet av detta kan tre scenarier ses som enskilt eller i kombination kommer att råda i den nära framtiden:

- Det är kortsiktigt lukrativt för de etablerade bolagen att motverka integrationslösningar till fördel för egna system.
- En standardisering av ingående komponenter som lokal energiproduktion, energilager, fastighetsautomationssystem, molntjänster etc. kommer att växa fram och underlätta för systemintegratörer att sätta samman kompletta system likt Ferroamps lösning.
- Motsvarande standard växer fram på hårdvarusidan i form av boxar med generiska anslutningar till laster och styrsystem.

Utvecklingen av standarder för att brygga samman system har ännu inte startat upp. Ferroamps konkurrenter kommer dock från mjukvarusidan och ser just denna utveckling framför sig vilket delvis kan komma att underminera Ferroamps långsiktiga affär.

Ferroamps affärsupplägg får ses som väl anpassat till nuvarande lagstiftning och marknadsutveckling. De potentiella förändringar av lagstiftningen inom området som kan tänkas kommer troligtvis inte att påverka Ferroamps affär negativt.

Den trend som går mot att ta betalt för effekt snarare än energi gynnar bolaget och ur ett internationellt perspektiv kan man tänka sig att framtida nationell lagstiftning följer den internationella utvecklingen och ger ökat stöd till denna utveckling. Ett potentiellt hinder är dock att vissa länder kan tänkas införa koncession för nätbolag med ensamrätt att distribuera el. Det gör att det i dessa länder blir olagligt att förbinda olika konsumenter utan att passera konsumenternas elmätare. Det troliga är dock att flertalet länder väljer att lagstifta för att möjliggöra för kunder att kunna förbinda sig med varandra via DC-förbindningar i syfte att stötta introduktion av lokal energiproduktion och energilager. Detta är ett scenario som skulle verka för Ferroamps systemlösning.

## 4.2 AMZUR TECHNOLOGIES

### 4.2.1 AKTUELL STATUS

Den ursprungliga analysen att Amzur ligger längst från marknad stämde inte helt, men det engagemang som Magnus Nilsson på Glava gett projektet har varit helt avgörande för arbetet med att få till stånd piloten. Både mjukvaruinstallationen och hårdvaruinstallationerna färdigställdes inom ramen för projektet och test & verifiering kunder utföras enligt tidplan.

### 4.2.2 ORGANISATION

Amzur är ett privatägt aktiebolag grundat 2004 med över 200 anställda. Den lösning som utprovas inom IEM kallas OpenDEM och inom detta team finns för närvarande 5 heltidsanställda och 4 inhyrda konsulter. Utvecklingen inom området finansieras genom den övriga egna verksamheten.

### 4.2.3 AFFÄRSKRITERIER

Amzurs marknadsstrategi bygger på tillhandahållande av kommunikation & kontroll inom en modell av öppen källkod för Distribuerad Förnybar Energi, OpenDEM (Open Distributed Energy Management).

Bolaget använder Red Hat som är en internationellt väletablerad källkodsmodell. Amzur nyttjar tekniken inom Kitware som finns inbyggd i ett brett sortiment av enheter och programvaror.

Amzurs nuvarande verksamhet bygger på att leverera anpassad programvara, tjänster och support. Bolaget uppskattar att deras tjänster och supportintäkter från kommer att uppgå till 10 miljoner dollar under de första 10 åren av kommersialisering.

Amzur avser inte att sälja direkt till slutanvändare utan via nätverk av produkt- och återförsäljare. Bolaget är i sin nuvarande verksamhet framgångsrika i att skapa långsiktiga kundrelationer för sina ICT-lösningar och tror sig kunna gå bygga ut dessa kanaler med ett brett spektrum av partners bland återförsäljare grossister, energilagringsföretag, växelriktarproducenter, solcellsleverantörer och andra energitjänster.

Amzurs strategi är att etablera sig som en ledande mjukvaruleverantör inom området. Till detta har Amzur en rad pilotprojekt som bidrar till utvecklingen av OpenDEM. Med "Orange Button" initiativet utvecklas en UML och API för öppen källkod. Med Argonne Labs utvecklas en mjukvara för lågkostnadsundermätning. Med Oak Ridge National Labs utvecklas en kontrollenhet baserad på öppen källkod till mikronät och i samarbete med Smart Energy Power Alliance (SEPA) utvecklas ett webbseminarium för att integrera de av anläggningsägarna ägda anläggningarna bakom elmätaren.

Bolaget har inga patent utan deras källkod kommer att vara tillgänglig under en licens för öppen källkod. Plattformen kommer att supportera att tredjepartsleverantörer integrerar proprietära algoritmer genom öppna standardiserade gränssnitt.

Bolaget ser sin strategi kring öppen källkod och leverantörsneutraliteten som det starkaste kortet för att påverka övriga marknadsaktörer och marknaden som helhet till utveckling. Bolagets system för öppen distribuerad förnybar energi ses som ett sett att avsevärt sänka inträdeskostnaden för ny teknik och nya marknadsaktörer (konverteringar, batteri- och lastkontroll, molntjänster etc.). Plattformen OpenDEM kan minska kostnaderna för integration och när standarderna för dessa system slås fast kommer marknaden att utvecklas snabbare. Det är just tillhandahållandet av plattformen för integration av dessa funktioner och tjänster baserat på befintliga och nya standarder som Amzur ser som sin plats i värdekedjan. Gällande konkurrensen ser Amzur att det finns ett brett sortiment av leverantörer och lösningar som erbjuder proprietär hårdvara och mjukvara kring energilagring, smarta termostater, lastkontrollanordningar, fastighetsautomatiseringssystem, avancerade distributionssystem etc.

### 4.3 CERTH

#### 4.3.1 AKTUELL STATUS

Analysen att Certh ur marknadshänseende låg någonstans mellan Amzur och Ferroamp var felaktig. Certh bedöms vara senare i utvecklingen än Amzur och den stora anledningen till att installationen färdigställdes ligger i Per Ekstorms kunnande och engagemang. Certh anses med detta sagt vara en av de systemlösningar som är längst ifrån marknadsintroduktion. Mjukvaruinstallationen avslutades under april 2018 och träningen av den självlärande algoritmen påbörjades under de sista dagarna i april.

#### 4.3.2 ORGANISATION

Systemet Agile har döpts om till Equilly men ägandet ligger fortfarande inom ConvCAO som är en statligt och privat delägd institution inom Certh. De privata ägarna består av de 10 personer inom universitetet som även utgör gruppens personalresurser. Teamet består av resurser med olika teknisk bakgrund med fokus på utveckling av intelligenta, snabbt implementerbara och självlärande styrsystem och dess applikationer inom storskaliga system såsom trafikkontrollsystem, fastighetsautomationssystem och smarta elnät. För närvarande består gruppen av 10 personer som inkluderar tekniker, produktutvecklare och mjukvaruutvecklare.

Gruppen säger sig idag ligga ca 12 månader från marknadsintroduktion utan direkt extern finansiering och baserar idag sin ekonomi på deltagande i tre demonstrationsprojekt på EU-basis med en omslutning av 2 MEuro.

#### 4.3.3 AFFÄRSKRITERIER

ConvCAO har ännu inte lagt fast sin affärs- och finansieringsplan för marknadsintroduktionen av Equilly. Bolaget har därmed inte heller kontakt med investorer men planerar att finansiera introduktionen genom organisk tillväxt och externa investorer.

Bolaget har inga patent eller IP men anser att deras IP är skyddad genom att kunderna inte tillåts direkt access till deras egen producerade algoritm och den mjukvara som styrs av algoritmen.

Equillys mjukvara för plug and play installation och självlärande system för kalibrering har potential att driva marknaden framåt och öka lönsamheten totalt sett för lokal produktion, energilager, laddinfrastrukturer och fastighetsautomation.

Syftet med ConvCAO är att underlätta installation, integration och kalibrering. Med detta sagt är ConvCAOs plats i värdekedjan att erbjuda teknikleverantörer och integratörer en tilläggsmodul, mjukvara och molntjänst för att minimera manuell programmering och kalibrering.

Inom ramen för de piloter som genomförts har ConvCAO börjat fundera på att ta fram en hårdvaruenhet för att underlätta integrationen mot andra system till sin mjukvara. De system som idag finns på marknaden är svåra att integrera med andra lösningar och har därmed begränsningar i den energieffektivitet som kan uppnås. Med detta sagt har ett fullt fungerande, öppet, plug and play system som minimerar installation, integration och kalibrering stora möjligheter att konkurrera med dessa befintliga system.

ConvCAO anser slutligen att det största hotet inom ändrad lagstiftning kan komma ifrån en hårdare lagstiftning kring datasäkerhetsfrågor. Dessa potentiella hinder kan dock mötas med uppgradering av säkerhetslösningar och –rutiner.

## 4.4 INNOENERGY

### 4.4.1 AKTUELL STATUS

Avtalsskrivningar försenade tidplanen något och här finns en lärdom att ta till sig i det att processen för framtagande av avtalet för piloterna kunde skett i större samråd och getts mer tid för diskussion. Även om InnoEnergy var sist in i piloten gick installationen snabbt och utan komplikationer.

### 4.4.2 ORGANISATION

InnoEnergy's team inom LSO (Local System Operator) består av Vladyslav Milshyn, affärsutvecklingsingenjör och pilotprojektledare; Fredrik Billing, LSO projektledare och erfaren affärscoach för innovativa teknikföretag; doktor Arshad Saleem, teknisk expert i Smart Grid och Energilager och Raghunath Vasiredy, inbyggda-systemingenjör.

Systemutvecklingen görs enligt InnoEnergy's utvecklingsprocess, baserat på SCRUMs principer (en iterativ och inkrementell flexibel programutvecklingsram för hantering av produktutveckling).

Utvecklingen involverar ett nätverk av innovationsbolag, innovationsprojekt och experter från InnoEnergy, samt konsulter från Sweco, med erfarenhet av denna typ av projekt och etablerade riskhanteringsprocesser.

Gruppen ligger idag ca 3 – 6 månader från marknadsintroduktion utan direkt extern finansiering och baserar idag sin ekonomi på deltagande i en rad stora demonstrationsprojekt på EU-basis med en omslutning av 2 MEuro.

#### 4.4.3 AFFÄRSKRITERIER

InnoEnergy tillhandahåller en molntjänst men även ett interface i form av hårdvara för att koppla upp batterilager/ lokala energilösningar. Denna hårdvara köps in och InnoEnergy lägger sin algoritm och montjänst på denna. InnoEnergy:s affärsmodell baseras på installation av system via installatörer och integratörer. För att InnoEnergy skall lyckas måste man hitta partners som kan understödja med installation och upphandling. Erbjudandet bygger på att InnoEnergy kan förbättra effektiviteten i kundens installation av lokal produktion och energilager. Intäktsströmmen bygger på en fast intäkt för datainsamling och tillhandahållandet av användargränssnittet och en basnivå av självförsörjning och sedan utökade tjänster för högre nivå av självförsörjning med frekvensreglering, effektregering etc.

De piloter som genomförs inom de nuvarande EU-projekten tillsammans med bl.a. Energimyndigheten syftar till att verifiera teknik och identifiera nyckelpartners. LSO kommer vid marknadsintroduktionen inom 3 – 6 månader att läggas i ett privatägt bolag.

InnoEnergy har inga nuvarande patent eller IP men anser det som högtintressant att få fram IP för systemets algoritm. I Tyskland och Storbritannien där lagstiftning har öppnat upp sig finns liknande verksamheter. Exempelvis SonnenBatterie som startade som batterileverantör och utvecklat en liknande roll som InnoEnergy. InnoEnergy:s affärsmodellen är uppbyggd på nuvarande lagstiftning och alla tester utgår ifrån detta.

#### 4.5 FÖRMÅGA ATT BIDRA MED FLEXIBILITET I SYSTEMET

Även om dessa systemlösningar har potential att öka flexibiliteten i energisystemet är en fullskalig lösning ett relativt komplext system att sätta upp. Systemet kräver exempelvis interaktiva växelriktare och management system som kan skapa ett dubbelriktat interaktivt system.

Övergripande kan dock konstateras att när solenergipenetrationen växer kommer kraftdistributionssystemen att utsättas för större strömflödesvariation och spänningsfluktuationer. För att öka energinätets kapacitet (och flexibilitet) att hantera mer distribuerad energi krävs dämpning av de variationer som exempelvis sol- och vindenergi ger upphov till. De utprovade systemen är vart och ett utformade för att minska effekterna av variationen i solgenerering genom användning av energilagring och intelligent lastkontroll. Systemen laddar batterisystemet när solenergianläggningarna genererar överskottsenergi och gör det möjligt för operatören att skifta eller skjuta lasten till när användardefinierade trösklar uppnås.

Dessa system och dess energilager bidrar därmed med en i dagsläget bra lösning för att öka flexibilitetens i energisystemet. Batteriernas förmåga att ge momentan ström i en mycket

kort tidsram av mikrosekunder kan på ett tillförlitligt sätt balansera efterfrågan och energiförsörjningen. Som exempel kan tas Ihus pilotanläggning i Vaksala Eke där ett energihanteringssystem (EMS) utprovades. EMS övervakar strömflödena (nätimport/ export och lokal produktion) och aktiverar batterilagringssystemet för att optimera kostnaden för den energi som importeras från nätet. Detta görs genom att hantera toppkraften som tas ut för att därigenom uppnå en mer jämn strömförbrukningsprofil under dagen. Batterilagringssystemet förbättrar även utnyttjandet av den energi som produceras lokalt av sol- och vindresurser, vilket följaktligen ger en ökning av den förnybara energin som finns i energinätet. Inom detta projekts pilotinstallationer har konsumtionen av lokalt producerad solenergi ökat från 90% till 95% och exporten av energi till nätet reduceras med 60 - 65%. Den maximala vinterkonsumtionen ( $\approx 45$  kW) kan nu minskas med cirka 10%, vilket bidrar till energisystemets flexibilitet under de kritiska vintertiderna. I ett större perspektiv skulle dessa värden kunna ökas ytterligare genom att EMS ges tillgång till att styra andra laster (värmepumpar, ventilationsfläktar etc.) i fastigheten. Ett ökat antal fastigheter utrustas med dessa system ger en ökad förmåga att bidra med flexibilitet till energisystemet.

## 5 KOMPLETTERANDE ANALYSER

### 5.1 MARKNADSFÖRUTSÄTTNINGAR FÖR IEM-SYSTEM

Under hösten 2016 anlätades konsultföretaget WSP för att göra en marknadsanalys för IEM-systemlösningar. Som underlag för analyserna studerades även marknadsutvecklingen för batterilager i fastighetsapplikationer. Dessa analyser färdigställdes och presenterades i mitten av mars 2017. WSP:s rapporter refereras kortfattat nedan. Rapporterna bifogas även.

### 5.2 MARKNADSUTVECKLINGEN FÖR ELENERGILAGER I FASTIGHETSAPPLIKATIONER (BILAGA 2)

Som underlag för analys av den framtida marknaden för IEM lösningar (se nedan) gjorde WSP en sammanställning av lösningar för elenergilager på fastighetsnivå. Sammanställningen fokuserar på tillgängliga tekniker, pågående utveckling och demonstrations- och pilotprojekt.

Studien inleds med att beskriva behovsbilden för fastighetsnära elenergilager som kort kan sammanfattas i att energilagren syftar till:

- kostnadsoptimering utifrån timprisavtal eller liknande
- minskat effektuttag vid topplast – lägre energi och/eller nätkostnad
- ökat utnyttjande av lokal egenproduktion t.ex. vind och sol
- egen reservkraft och möjlighet att hantera särskilda krav på elkvalitet
- stöd till lokala mikronät i byggnader eller områden.

Studien gör sedan en bred genomgång av olika ellagringstekniker och deras övergripande för- och nackdelar. Studien fokuseras sedan på de tekniker som bedöms ligga närmast tillhands för fastighetsnära tillämpningar, framförallt olika elektrokemiska lagringstekniker (Litium-jon batterier, Blysyrabatterier, Flödesbatterier, Natrium-Svavel batterier, Metall-Luft batterier) men även lagring i form av vätgas ("Power to Gas") och sensibel värmelagring studeras. Slutligen beskrivs ett 10-tal projekt där lagringsteknikerna har tillämpats.

### 5.3 STUDIE AV MARKNADFÖRUTSÄTTNINGAR FÖR IEM-SYSTEMLÖSNINGAR (BILAGA 3)

Marknadsförutsättningarna för IEM systemlösningar beskrivs genom en scenarioanalys av den framtida marknaden med ett 5 års respektive 10-års perspektiv. Studien fokuserar på den svenska marknaden men gör även en utblick mot den internationella marknaden. Studien omfattar IEM-lösningar där byggnaders energisystem anpassas till att egen producerad solenergi i större utsträckning kan användas och lagras lokalt och därmed minskar behovet av el från nätet, genom att anpassa energiförbrukningen och styra laddningen av batterilager.

Studien inleds med att identifiera de nyckelfaktorer som kan tänkas påverka marknadsutvecklingen av IEM System. Övergripande gäller det vilket politiskt fokus staten har i utvecklingen av elenergisystemet, t.ex. grad av förnybar elproduktion, och vilka incitament och styrmedel som då blir aktuella. Hur elsystemet utvecklas kommer även ha en direkt påverkan i vilken grad investeringar i IEM-system kan motiveras, t.ex. genom elprisnivå och prisvolatilitet. Utvecklingen av mängden solcellsanläggningar och batterilager är naturligtvis även avgörande för utvecklingen av IEM-system.

Studien gör därefter en kvalitativ analys, som tar sin utgångspunkt i Energimyndighetens scenarioanalys Fyra framtider – Energisystemet efter 2020 (som publicerades april 2016). Analysen pekar mot att scenariot *Espressivo* ger bäst förutsättningar för IEM-lösningar. I scenariot har staten fokus på individuella lösningar och ett decentraliserat energisystem och andelen förnybart är relativt hög (75%). Efterfrågefleksibilitet är viktigt och ansvaret för effektförsörjning är decentraliserat. Även scenariot *Vivace* innebär goda förutsättningar för utvecklingen av IEM-lösningar. Andelen förnybart är nära 100%, men det lokala perspektivet är inte lika starkt. Scenariot *Legato* innebär ytterligare något sämre förutsättningar för IEM-lösningar. Även här är andelen förnybart nära 100%, men stark politisk styrning ger låga elpriser vilket verkar i negativ riktning. Scenariot *Forte* är det enda som bedöms som direkt negativt för utvecklingen av IEM-system. Scenariot innebär ett starkt centraliserat elenergisystem med relativt låg grad av förnybart (50%).

### 5.4 HINDER FÖR UTVECKLING AV HÅLLBARA LOKALA ENERGISYSTEM (BILAGA 4)

I samband med analyserna ovan framkom intresse att närmare studera de hinder som finns för utvecklingen av distribuerade energisystemlösningar som bygger på lokal produktion. Om sådana hinder kan undanröjas skulle också marknaden för IEM-system utvecklas snabbare. Konsultföretaget Profu upphandlades och presenterade sin analys i juni 2017.

Arbetet baseras på pågående och avslutade utredningar, studier och forskningsprojekt t.ex. Profus rapport "Utbyggnad av solex i Sverige – Möjligheter, utmaningar och systemaspekter" och Energimyndighetens rapporter t.ex. "Vad styr och vad bromsar solex i Sverige?" I analysen inkluderas att beskriva styrkor och svagheter med hållbara lokala energisystem (särskilt solex) ur ett system- och samhällsperspektiv, redogöra för de viktigaste hindren för utvecklingen av lokala energisystem samt översiktligt beskriva några exempel på motsvarande diskussion i Danmark och Tyskland.

När det gäller styrkor och svagheter lyfter man fram att det kan finnas skäl för samhället att satsa extra på just decentraliserad/lokal elproduktion. De direkta systemnyttorna bedömer man dock som sannolikt små i Sverige/Norden. De icke-tekniska nyttorna (t.ex. att en satsning är ett sätt att öka det individuella engagemanget för omställningen av energisystemet och för miljöfrågor) är också mycket svåra att kvantifiera.

I analysen av hinder pekar man särskilt på krångliga regelverk och stödsystem och dessutom dålig samordningen mellan olika styrmedel (t.ex. skattereduktion för "exporterad" solex och batteristödet). Man bedömer också att investeringsstödet för solex har bromsar upp marknaden på grund av lång handläggningstid och den nu gällande skattereduktionen är ovisst då den inte är tidsbestämd och därmed svår att väga in i investeringskalkyler.

När det gäller hinder på grund av nätkoncession pekar man på att det finns undantag från koncessionsplikten, så kallade icke koncessionspliktiga nät (SFS nr: 2007:215. Förordning om undantag från kravet på nätkoncession enligt ellagen). Undantaget från kravet på nätkoncession kräver att det är ett internt nät som inte får ha en för stor utbredning och måste vara lätt att avgränsa (t.ex. interna nät som ligger på eller i byggnader, eller områden med sjukhus, skolor). Elnät eller elledningar som ligger i eller på en byggnad får användas för att överföra el till andra utan att det krävs nätkoncession (t.ex. hyreshus). Interna nät som kopplar ihop flera elektriska produktionsanläggningar som tillsammans utgör en funktionell enhet kräver inte nätkoncession (22a §). Detta undantag är särskilt intressant eftersom det torde innebära att man kan ha ett icke koncessionspliktigt nät om man har solceller på flera byggnader i ett område.

## 5.5 BEHOVSANALYS, RESULTAT FRÅN ENKÄT APRIL 2018 (BILAGA 5)

Som komplement till tidigare marknadsanalys (under våren 2017) genomförde Sustainable Innovation en enkät riktad till potentiella beställare av IEM-system. Enkäten, som genomfördes under april 2018, skickades ut till ca 150 personer och totalt inkom 40 st svar som sammanställdes och redovisade i maj 2018.

I enkäten beskrivs IEM-system som "lösningar som kan styra in- och urladdning av energilagrar eller styra effekten hos t.ex. en värmepump utifrån parametrar som elproduktion, tillgång till lagrad energi, energipriser och effekttoppar".



De 40 svaren representerar till största delen (45%) kommunala fastighetsägare (inkl. bostadsbolag) följt av privata fastighetsägare (22%). Bland de som svarat finns även representanter för några energibolag (15%).

Bland behoven som IEM-system ska lösa anger de flesta att det rör sig om att jämna ut effektuttag och minska behovet av köpt energi. Bland viktiga förutsättningarna för att IEM-system ska bli intressanta lyfter man fram bättre lönsamhet och utvecklad teknisk funktion.

När det gäller nyckelfaktorer som kan accelerera marknaden för IEM-system kommer "Förbättrad nytta i förhållande till kostnad", "Mer lokal elproduktion (solceller mm)" och "Tillgång till leverantörsoberoende lösningar" högst och de flesta (70%) tror att nyckelfaktorerna slår in inom fem år.

De flesta av de som svarat (36 av 39) har redan solel installerat och i genomsnitt ser man framför sig en ökning av installerad effekt med en faktor 3,7 om fem år. De flesta (35 av 40) tror också att man inom fem år har installerat lokala energilager för att t.ex. lagra solel och/eller kapa effekttoppar, men det kommer då bara gälla enstaka byggnader. Fem av de svarande tror dock att man kommer ha sådana installationer i en stor andel av sina byggnader.

Tidshorizonten när man bedömer att hälften av de egna fastigheterna har IEM-system tror ca 40% av de svarande ligger inom 10 år medan ca 60% tror att det sker längre fram i tiden. En 10-procentig penetration tror ca 80% kommer inträffa inom 10 år och ca 40% inom fem år.

När det gäller affärsmodell vill de flesta (ca 70%) själva investera i lösningar för lokal elproduktion och IEM-system och även själva svara för drift och förvaltning.

## 6 DISKUSSION OCH SLUTSATSER

### 6.1 MJUKVARA, HÅRDVARA ELLER SYSTEMLÖSNING

Att tre av fyra systemlösningar är renodlade mjukvarulösningar och samtliga har sitt utvecklingsfokus på mjukvarusidan visar att dessa innovationsbolag även kan tänkas komma från IT-sektorn och inte som man kan föreställa sig, från energisektorn. Piloter är alltid intressanta för båda parter och i de piloter som IEM genomför är det tydligt att även systemleverantörerna tar till sig kunskap. I detta fall har både InnoEnergy och Certh redan i inledningen av piloterna aviserat att de planerar att även lansera hårdvara för att brygga samman sin mjukvara med så stor variation på installerade system som möjligt. För att integrationen skall kunna ske på ett smidigt sätt finns det bara två vägar. Antingen äger du hela kedjan likt Ferroamp eller så måste du även tillhandahålla någon form av interface mellan mjukvara och fastighetsautomationssystem, solceller, batterilager, laddinfrastrukturer etc.

## 6.2 INTEGRATÖRSROLLEN

Under installationen har värdet av en välutbildad och engagerad integratörskår framkommit med all tydlighet då dagens elinstallatörer inte har den utbildningsnivå inom datakommunikation som krävs för att ta i drift dessa system. Detta är ett hinder för dessa mjukvarubolag, och som måste åtgärdas inför en marknadsexpansion. För att underlätta detta arbete bör även den växande branschen enas om nyttjandet av öppna standarder.

## 6.3 MARKNADSINTRODUKTIONEN

Förutom Ferroamp som ligger i den tidiga fasen av marknadsintroduktion har dessa systemlösningar minst 12 månader kvar till marknadsintroduktion. Samtliga dessa (och delvis även Ferroamp) har för närvarande en bidragsbaserad finansiering utanför marknaden. Amzur sticker ut eftersom systemlösningen är del av en större koncern som tagit på sig att till viss del finansiera introduktionen. Sammantaget är analysen att näst Ferroamp kommer Amzur och Innoenergy att nå marknadsintroduktion inom 12 månader.

## 6.4 MATCHNING AV SYSTEMLÖSNINGAR OCH BEHOVSÄGARE

Det faktum att utprovade systemlösningar är mer eller mindre långt från marknaden togs redan initialt i beaktande och ingick som en del i utvärderingen av var respektive systemlösning skulle placeras. De antaganden som gjordes av att Amzur var längst från marknadsintroduktion och därmed i störst behov av en mindre publik testmiljö samt att Ferroamp redan nått marknaden och därmed inte behövde samma stöd var båda endast delvis korrekta. Så här långt in i drifttagningen har det visat sig att samtliga systemägare haft problem med installationen men på olika sätt.

## 6.5 TEKNIK, RESURSER OCH DIALOG PÅVERKAR TIDPLANEN

De tekniska aspekterna av pilotinstallationerna har visat sig inte vara det enda problemet i detta skede. Dialogen vid uppförande av piloterna har i många skeden varit bristfällig. Mycket på grund av bolagens egna resursbrister men till viss del även på grund av de geografiska och språkliga avstånden. Kombinationen av dessa parametrar har skapat förseningarna i tidplanen. Dessa faktorer skulle till viss del kunnat förutses då det är just innovationsbolag som utvärderas och i retroperspektiv hade det varit klokt att kalkylera en dubbelt så lång installations- och kalibreringstid för piloterna.

## 6.6 FAKTORER ATT VÄGA IN VID PILOTINSTALLATIONER

Vid uppbyggnaden av innovationsprojekt som detta bör hänsyn även tas till språkliga barriärer och geografiska avstånd. En leverantör från Grekland eller USA har inte samma möjlighet att komma ut på plats för att ta hand om installation samtidigt som språkskillnaden ökar risken för missuppfattningar. Oavsett om det är ett rent innovationsbolag eller ett bolag som nyss nått marknadsintroduktion har dessa bolag på ett eller annat sätt en resursbrist som gör att leveranser, installationer och kalibrering drar ut på tiden. Det är därför klokt att ta höjd för detta från start. Eftersom innovationsbolagens

resurser är begränsade kräver piloter som dessa engagerade och kunniga beställare, installatörer och integratörer. I dessa piloter har beställarna varit engagerade och kunniga men installatörer och integratörer har inte alltid haft rätt engagemang och kunskap vilket lett till merarbete och tidsspillan.

## 6.7 SOLINSTRÅLNINGENS PÅVERKAN PÅ TIDPLANER

Givet de förseningar som inträdde vid installationsfasen förlängdes projektet för att den tekniska utvärderingen skulle kunna ske i april, med någorlunda nivåer av solinstrålning. I projektets ursprungsplan (inklusive förseningar) minskade solinstrålningen i och med att utvärderingen hamnade under höst/vinter och dagarna blev mörkare. Samtidigt ökade den förbrukade energin i byggnaderna efter sommarens semestrar. Detta innebar ett möjligt problem för den tekniska utvärderingen, som riskerade att begränsas kraftigt om den producerade energin av soleanläggningen aldrig översteg byggnadens laster. För att kunna utvärdera lösningarnas möjligheter att just öka egenförbrukningen av solex bör således optimeringen av systemen ske under perioder när produktionen från soleanläggningen är hög eller i alla fall medelhög. Undantaget är möjligen soleanläggningen för Slagstaskolan, som är relativt stor i jämförelse med de förekommande lasterna, vilket innebär att möjligheterna att utföra den tekniska utvärderingen troligtvis kunnat utföras under perioder med lägre solinstrålning än för övriga piloter.

## 6.8 TEKNIK

Utvärderingen fokuserar främst på att kvalitativt beskriva hur systemlösningarna fungerar och mindre på kvantitativa mål. Redovisning av mer kvantitativa data förutsätter att systemen är färdigoptimerade samt har varit i drift under minst ett år, vilket inte är fallet för alla deltagare till dags dato. Det går inte för någon av anläggningarna att kvantifiera hur väl energilagret klarar att hantera effekttoppar, man kan bara konstatera att systemen hanterar effekttoppar, genom användning av batterilagren. Ur data kan man se att det förekommer en egenanvändning. Men att kvantifiera egenanvändningens ökning relativt hur egenanvändningen hade varit utan SBM är ej möjlig.

### *Ferroamp*

Ferroamps tekniska lösning erbjuder ett helt skalbart system där allt från energilager och omriktare till styrsystem erbjuds i en heltäckande lösning. Systemet bygger på att ett mindre lokalt likströmsnät (DC-nät) med en driftspänning på 760 V DC ( $\pm 380$  V DC) integreras i byggnaden. Likströmslast, solexproduktion och eventuell energilagring samlas därefter bakom en och samma omriktare, även om systemet i efterhand förändras och byggs ut. Styrningen ser också likadan ut för alla storlekar på anläggningar, vilket gör att användare kan dra nytta av till exempel teknisk utveckling av batterier, nya affärsmodeller, eller ny lagstiftning. Ferroamps lösning bygger på ett egentillverkat hårdvarusystem där kärnan är det så kallade EnergyHub-systemet. EnergyHub-systemet består av en skalbar bidirektionell omriktare som såväl kan omvandla energi från likströmsnätet till växelströmsnätet som

tillbaka. Styrsystemet i EnergyHub:en kommunicerar även med högupplösta elmätare och sensorer som är placerade vid laster, soleanläggningen, samt vid inkommande ledning från elnätet. Mätningen utförs på sekundnivå där lagring av alla värden samlas i en fysisk hårddisk i EnergyHub:en. Beräkningar och liknande sker sedan direkt och beräknade värden skickas vidare till molntjänsten. Genom utvecklade algoritmer och förvalda inställningar styr och kontrollerar därefter EnergyHub:en energiflöden mellan solpaneler, energilagringssystem och elnätet. Från den utvecklade molntjänsten, kan användare därefter följa och övervaka systemets funktionalitet och sin egen förbrukningskaraktäristik. Därutöver erbjuds en rad olika analystjänster, där användarna kan analysera fasobalanser, behov av utökat energilagring, och simuleringsverktyg för att spara energi.

Därutöver finns ett system utvecklat för fasutjämning vid namn Adaptive Current Equalization (ACE) integrerat i EnergyHub:en. Systemet är tänkt att skydda från att säkringar brinner av vid förekomster av kraftiga strömasymmetrier och utjämnar alltså magnituden mellan fasströmmar. På detta sätt kan även byggnader ofta minska storlek på säkringar och på så sätt spara pengar på grund av en minskad elnätsavgift.

Ferroamp har även ett egenutvecklat energilagringssystem som kallas för Smart Energy Storage som är specifikt anpassat för att arbeta mot EnergyHub-systemet. Systemet består av litiumjonbatterier som kontrolleras av ett integrerat batteriövervakningssystem för att bibehålla temperatur, kontrollera laddningscykler och optimera battericellerna. Energilagringssystemet är tillgängligt i storlekar på 7,2 kWh och flera separata system kan kopplas ihop för att öka kapaciteten. En dubbelriktad DC/DC omvandlare har även utvecklats vid namn Energy Storage Optimizer för integration av energilagringssystem med varierande spänningsnivåer.

Därutöver erbjuds även en egenutvecklad solsträngsoptimerare (Solar String Optimizer) för eventuella solpanelsanläggningar som styr och maximerar effektiviteten för solpanelerna. Styrenheten är direkt kopplad till EnergyHub:en och kan därmed fjärrstyras för på- och avstängning. Styrenheten kräver konstant kommunikation mot EnergyHub:en och vid eventuella fel eller olyckor så kommer styrenheten automatiskt att stängas ner för ökad säkerhet.

### *Amzur Technology*

Amzurs systemlösning består endast av en styrenhet installerad på en vanlig persondator med det öppna och gratis tillgängliga operativsystemet Linux. Därutöver kräver även systemlösningen att en omriktare som möter en specifik standard används, Sun Spec Rule 21, som är utvecklad av branchorganisationen SunSpec Alliance och är specifikt framtagen för omriktare som används inom smarta elnät. Amzur har även bidragit med att utveckla designen för kommunikation- och styrningssystem för energimätning, laststyrning och batteristyrning för den aktuella pilotsiten i Glava. Dessa system är i hög grad anpassade för den aktuella pilotsiten och ingår ej i Amzurs egentliga systemlösning. Därför kommer funktionaliteten och standarder för dessa systemkomponenter ej att utvärderas i detalj, men för att ge en bild av denna instans av systemets implementering presenteras ett antal

funktionaliteter nedan: Till exempel kan Glava-systemet inte exportera effekt, varför maximering av egenkonsumtion och lagring naturligt får hög prioritet i algoritmen. Minimering av övriga elkvalitetsrelaterade frågor, som till exempel snabba spänningsförändringar, eller utjämning av snabba förändringar i last och produktion blir ej heller aktuellt. Minimering av effekttoppar (peak shaving) prioriteras högt i algoritmen, och baseras på användardefinierade parametrar. Gällande kostnadsminimering inkluderar SOW inte BTM Economic Dispatch, men ett sådant villkor kan enkelt implementeras i den aktuella algoritmen. Minimering av batterislitage prioriteras likaså högt, och laddnings- och urladdningscykeln för batteriet baseras på tillgängliga prognoser för belastning och solenergiproduktion. För att minimera påverkan på användarens komfort och underlätta kostnadsminimering, till exempel om användaren vet att byggnaden kommer att stå oanvänd under perioder, kontrollerar användaren parametrarna för laststyrning, och systemet tillåter tillfälliga ändringar i schemat för laststyrning.

Styrsystemet är kärnan i Amzurs systemlösning och baseras på CSEISMIC (Complete System-Level Efficient and Interoperable Solution for Microgrid Integrated Controls), som är ett system som utvecklats av det amerikanska nationella forskningslaboratoriet Oak Ridge National Laboratory (ORNL). SCEISMIC är ett styrsystem anpassat för mikronät med en hög andel förnybar energi och övervakar och styr diverse komponenter i mikronätet.

Ursprungligen var planen att använda maskinlärning eller MILIP. Glavaanläggningen visade sig dock inte lämplig för avancerad optimering, givet sin tämligen enkla uppbyggnad med bara två laster och en konstant användarprofil.

För att uppnå en komplett plug and play-lösning, krävs smart hårdvara, till exempel en USB-anordning som automatiskt exponerar sina funktioner. Amzurs plug and play-lösning riktar sig mot att möta industristandardiserade DER-protokoll, primärt SunSpec, MESA, and SEP2 (IEEE2030.5). Med erfarenheter ur projektet ser man att det vore relativt enkelt och billigt att utveckla en plug and play hårdvara, men detta ligger för närvarande på planeringsstadiet.

### *Certh*

Cerths systemlösning består endast Equilly- algoritmen som är tänkt att implementeras i hårdvara som levereras från en tredje part. Genom realtidsmätningar från solcellsanläggningen, energilagarsystem och elförbrukning styrs sedan mikronätet för att optimera styrmålen. Utöver mätningar i byggnaden kan Equilly -algoritmer använda elpriser, väderprognoser och förbrukningsmönster för att styra energilager och styrbara laster. All insamlad data matas in i en självoptimerande slutna processloop, som med hjälp av adaptiva egenutvecklade algoritmer söker en optimal kontrollstrategi. I själva algoritmen finns stöd för användaren att lägga in temporära ändringar som till exempel om man vet att byggnaden kommer att stå tom under en period. I det aktuella fallet implementerades dock ej denna funktion, då det ej ansågs behövas för att optimera algoritmens funktion.

I algoritmen för kontrollsystemet ges hög prioritet till maximering av egenkonsumtion av den producerade solenergin, och till minimering av påverkan på användarkomfort vid laststyrning. Normalt i algoritmen ges också hög prioritet till kostnadsminimering genom att använda realtidsdata för elprissättningen, men kostnadsminimering var ej applicerbart vid denna installation, då elprissättningen ej gav utrymme för detta. Minimering av effekttoppar (peak shaving) samt minimering av batterislitage har getts medelhög prioritet. Andra tänkbara styrmål som till exempel minimering av elkvalitetsrelaterade problem som snabba spänningsförändringar eller snabba förändringar i last och produktion är ej inkluderat.

I figurerna nedan visas energikonsumtion samt energi producerad av solcellsanläggningen. Batteristyrningen var vid dessa mätningar ej i funktion. Equilly-anläggningen har den överlägset största solcellsanläggningen, 85 kWp, och av kurvorna nedan synes det finnas stor potential för att en god del av anläggningens energiförbrukning, vid dessa laster, kan komma från solcellsanläggningen.

Installationen har i skrivande stund färdigställts och insamling av mätdata är möjlig, men en komplett utvärdering av systemets tekniska aspekter är ej möjlig, då smart batteristyrning ännu ej aktiverats. Av idag tillgängliga data kan man egentligen bara konstatera att solcellerna producerar en hel del energi och att mätdatainsamlingen fungerar.

### *Innoenergy*

InnoEnergy:s systemlösning består dels av en molntjänst för styrning och reglering, dels av ett hårdvaruinterface för att koppla upp batterilager och lokala energilösningar, med hjälp av CAN-buss för snabb och säker kommunikation mellan olika noder i systemet och m-buss för kommunikation och fjärravläsning av mätdata. Ett smart-battery-management-system är under utveckling, men inte färdigställt för utvärdering på denna site. Planen är att använda maskininlärningsalgoritmer för att bättre förutse laster, solelproduktion elpriser, etc. Idag är prediktering av last eller solelproduktion inte implementerat, men batterikontrollsystemet har justerats baserat på analys av historiska konsumtions- och produktionsmönster. Då fjärruppgradering av mjukvaran är möjlig utan förändringar i den fysiska installationen finns möjligheten att rulla ut denna uppgraderade mjukvara även på denna site. Hårdvaran köps in och InnoEnergy lägger algoritmen och molntjänsten på denna. Detta ger en stor flexibilitet för att hantera många olika system och också en flexibilitet för att koppla i och ur enheter. Från systemet hämtas en stor mängd mätdata in som exempelvis från DC respektive AC-sidan av batterilagret, beräknade värden av anläggningens energibehov utgående från energimätning av import/export från nätet samt solelproduktion, samt ström, spänning, frekvens och effekt både enfas och trefas.

Maximering av egenanvändning av producerad solel har getts högsta prioritet i systemet, så tillvida att när överskott av producerad solel råder, låses importen av energi från elnätet till noll, och övriga funktioner kan då inte appliceras.

Minimering av slitage på batterilager har också getts hög prioritet, så tillvida att batteriladdning opereras inom säkerställda SOC (state-of-charge) gränser, och att om batterilagret hamnar utanför dessa gränser nedprioriteras alla andra funktioner, tills batteriets SOC återställts inom dessa säkra gränser.

Användarkomforten berörs inte av systemets grundförutsättningar, då ventilation, uppvärmning och belysning inte styrs. Styrning sker bara mot uttaget från elnätet.

Medelhög prioritet har getts till att minimera effekttoppar, genom justering av urladdningsströmmar under tider med hög belastning baserat på SOC i batterilagret. Omvänt justeras också laddströmmar på samma sätt under tider med låg belastning. Detta för att inte överstiga effekttoppar.

Medelhög prioritet har likaså getts till att minimera kostnader genom att användning av elprisdata. Under vintermånaderna är strategin att tillämpa energi-arbitrage från timmar med hög last till timmar med låg last under dagen.

Minimering av elkvalitetsrelaterade problem som till exempel snabba spänningsvariationer eller snabba förändringar i last och produktion är i dagsläget ej inkluderat, men högupplösta mätningar över en längre tidsperiod kommer att visa om denna funktion behöver inkluderas.

Genom smart styrning av upp- och urladdning av batterilagret uppnås maximal kostnadseffektiv användning av elnätet ur användarens synvinkel. Denna styrning underlättas genom att energi-arbitrage och funktioner för att kontrollera egenkonsumtionen finns.

## 6.9 DISKUSSION KRING MARKNADSUTVECKLINGEN FÖR IEM-LÖSNINGAR

Det är utifrån analyserna, som redovisas i kapitel 5, svårt att se en entydig utveckling av marknaden för IEM-lösningar. Mycket kommer att avgöras av utvecklingen av lokal solexproduktion och därtill kopplade energilager. Utvecklingen kommer att gå snabbare om lokal solexproduktion fortsatt gynnas, skattemässigt och med investeringsstöd, samtidigt som kostnaden för batterilager sjunker. Det samma gäller om tolkning eller förändring av nätkoncessionsreglerna innebär att det blir friare att transportera el mellan byggnader inom t.ex. ett bostadsområde.

Utvecklingen av marknaden för batterilager är också direkt en drivkraft för implementering av IEM-lösningar eftersom batterileverantörernas erbjudande ökar i värde om de även tillhandahåller en smart styrning som kan förbättra kundernas lönsamhet. Även fristående leverantörer av AI (Artificiell Intelligens) kan tänkas utveckla mer generella lösningar för att styra lokala energisystem. En sådan utveckling, särskilt om det samtidigt sker en utveckling mot standardiserade öppna gränssnitt, skulle naturligtvis ytterligare kunna påskynda utvecklingen.

En annan faktor som på längre sikt kan påverka utvecklingen är om det blir lönsamt för fastighetsägare att erbjuda sin flexibilitet till elmarknadens aktörer. Behovet av sådan flexibilitet blir större med allt mer vind- och solexproduktion i systemet. IEM-lösningarnas grundfunktion i att styra energiflöden gör dessa väl lämpade att automatisera efterfrågefleksibilitet.

\*\*\*\*\*