

Energimyndighetens titel på projektet – svenska <b>Delaktig – Distribuerat energilager som tjänst i ett förnyelsebart energisystem</b>	
Energimyndighetens titel på projektet – engelska <b>Distributed Storage-as-a-Service in a Renewable Electricity Market</b>	
Universitet/högskola/företag <b>Multigrid Data Centers AB</b>	Avdelning/institution
Adress <b>Stora Skuggans väg 32, 115 42 Stockholm</b>	
Namn på projektledare <b>Dr Mattias Ganslandt</b>	
Namn på ev övriga projektdeltagare <b>Gustav Bergquist</b>	
Nyckelord: 5-7 st <b>energilager, multifunktionalitet, kapacitetstjänst, frekvensreglering, utbudsflexibilitet, systemstabilitet, distributionsnytta</b>	

## Förord

Projekt Delaktig har finansierats av Multigrid Data Centers AB med ekonomiskt stöd från Energimyndigheten. Dr Mattias Ganslandt (Styrelseordförande och grundare, Multigrid) har varit projektledare och ytterst ansvarig för projektets genomförande. Gustav Bergquist (VD, Multigrid) har bistått som biträdande projektledare.

Projektet har fått värdefulla synpunkter och hjälp från en referensgrupp bestående av Magnus Berg (R&D Portfolio Manager, Vattenfall), Lina Bertling Tjernberg (Professor, KTH), Niclas Damsgaard (Senior Vice President, Market and System Development, SVK), Isbi Felix (Senior analyst, Ellevio), Therése Hindman Persson (Chief Economist, EI), Björn Hörlin (CTO, Multigrid) samt Maria Ramstedt-Presits (Business Development Manager, Vattenfall).

Projektet har under genomförandetiden haft en konstruktiv och mycket givande dialog med representanter för stamnätsoperatören Svenska kraftnät (SvK), i synnerhet enhetschef Anna Jäderström, samt ett flertal representanter för regleringsmyndigheten Energimarknadsinspektionen (EI).

Projektet har haft ovärderligt stöd från Bixia som i sin egenskap av balansansvarig bidragit med access till Svenska kraftnäts marknad för FCR-D.

Stockholm 29 maj 2020

Mattias Ganslandt

## Innehållsförteckning

Förord.....	1
Innehållsförteckning .....	2
Sammanfattning .....	3
Summary .....	3
Inledning/Bakgrund .....	4
Genomförande .....	5
Design och konceptutveckling (dec 2018-feb 2019) .....	6
Utveckling av affärsgränssnitt (feb-apr 2019) .....	6
Teknisk design (feb-mar 2019).....	7
Installationer (mar-aug 2019) .....	7
Drift (aug 2019-apr 2020).....	8
Utvärdering och avslutning (apr-maj 2020).....	10
Resultat .....	10
Verifiering av färdigutvecklat system för energilager som tjänst.....	10
Teknisk utveckling av automatiserad multifunktionalitet .....	11
Utveckling av gränssnitt mot stamnät, lokalnät och lokal förbrukare .....	12
Förlitning vid multifunktionell användning .....	12
Diskussion.....	13
Publikationslista.....	13
Bilagor .....	13

## Sammanfattning

Under projektperioden fick Projekt Delaktig som första leverantör sitt innovativa, multifunktionella system för energilager-som-tjänst godkänt för leverans av balanstjänster till Svenska kraftnät i slutet av 2019.

Projekt Delaktig har visat att det finns ekonomisk lönsamhet och en betydande potential för att tillhandahålla kapacitet och elkvalitet från distribuerade energilager i ett förnyelsebart energisystem. Genom en omfattande expansion av projektets tekniska lösning och koncept kan elsystemet tillföras omfattande utbudsflexibilitet och större reserver för att hantera störningar samtidigt som det leder till ett bättre utnyttjande av befintlig distributionskapacitet. På så sätt kan projektets innovativa affärsmodell och multifunktionella design möta ett ökande behov av snabb och tillförlitlig kapacitet att tillhandahålla effekt både för existerande och framtida behov till följd av digitalisering, e-mobilitet och introduktion av autonoma industriprocesser.

Projekt Delaktig har genomförts som ett experimentellt utvecklingsprojekt under perioden december 2018 till och med maj 2020 med syfte att validera ett multifunktionellt system och en affärsmodell för tillhandahållande av flera tjänster från ett distribuerat batterienergilagrar ("BESS-as-a-Service") i ett förnyelsebart energisystem. Projektet har identifierat, utvecklat och verifierat ett antal tekniska och kommersiella lösningar som hanterar principiella, informationsmässiga och tekniska hinder som tidigare motverkade ett storskaligt kommersiellt införande av distribuerade, multifunktionella energilager i det förnyelsebara elsystemet.

## Summary

Project Delaktig was the first distributed battery energy storage system to be formally approved by Svenska kraftnät, the Swedish TSO, for the provision of balancing services in the form of FCR-D by the end of 2019.

The project has demonstrated that there is sufficient profitability and a substantial potential to provide capacity and power quality as a service from distributed battery energy storage systems in a renewable energy system. An extensive and wide deployment of the technical system and the business model developed by the project would contribute to much needed supply flexibility and more capacity to mitigate the consequences of severe disturbances while permitting a higher utilization of distribution assets in the power system. The unique business model and unique multifunctional design developed and verified by the project can potentially meet the expanding needs for fast and reliable power for existing and future applications, following from digitalization, e-mobility, and autonomous industrial processes.

The project has identified, developed, and verified technical and commercial solutions to tackle conceptual, informational, and technical hurdles that previously obstructed an extensive commercial introduction of distributed, multi-functional, battery energy storage systems in the renewable energy system.

## Inledning/Bakgrund

Det svenska elsystemet genomgår en betydande förändring till följd av en ökande produktion av främst vindkraft, som flyttar produktionen norrut och gör utbudet mer intermitterant, samtidigt som behoven ökar i takt med digitalisering av arbets-, produktions- och distributionsprocesserna i såväl privat som offentlig sektor och en pågående omställning till en elektrifierad transportsektor. I denna omställning krävs nya lösningar och ny kapacitet som kan bidra med stabilitet, flexibilitet och tillförlitlighet. Vidare är det önskvärt att produktionsresurser som är geografiskt bundna till platser långt från förbrukarna kan kompletteras med utbudsflexibilitet som finns närmare kunderna och därmed är mindre beroende av transmissionkapacitet och mindre känslig för transmissionsstörningar.

Distribuerade energilagrar kan bidra med lokal kapacitet för att tillgodose effektbehov och förbättrad elkvalitet. Genom att kombinera långsam laddning med kapacitet att tillhandahålla hög effekt när behov uppstår kan dessa system tillföra både stabilitet och utbudsflexibilitet som underlättar övergången till mer intermitterant generering och elanvändning på nya områden, exempelvis elfordon, datahallar och autonoma industriprocesser.

Det har tidigare visats i demonstrationsprojekt att delsystem bestående av växelriktare och batterisystem kan tillhandahålla frekvenstjänster samtidigt som det tillhandahåller oavbruten kraft till en lokal användare. Samtidigt har det inte funnits verifierade lösningar som är färdigutvecklade för att användas i verklig drift. Det har saknats färdigutvecklade gränssnitt och erfarenhet av batterilagrar som ansluts till lokalnät och tillhandahåller balanstjänster till stamnätet. Det har också saknats tekniska lösningar för att skapa en koppling mellan marknaderna för balanstjänster och distribuerade energilagrar som styrs med decentraliserad mätning. Sist men inte minst har det saknats en affärsmodell som ger distribuerade energilagrar tillräckliga intäkter för att avkastningen ska kunna täcka en riskjusterad, marknadsmässig finansieringskostnad.

Projekt Delaktig har verifierat att ett multifunktionellt distribuerat system kan tillhandahålla balanstjänster till Svenska kraftnät under verkliga driftsförhållanden. Projektet har färdigutvecklat systemet så att det kan lanseras kommersiellt.

Projektet har lagt grunden för en omfattande kommersiell utbyggnad av distribuerade energilagrar i det svenska elsystemet. På så vis kan ny kapacitet för flexibilitet, stabilitet och elkvalitet tillföras snabbare och i större omfattning och till lägre kostnad och med bättre prestanda än traditionella nätförstärkningar.

Projektet har finansierats av Multigrid Data Centers AB med ekonomiskt stöd från Energimyndigheten. Projektet har pågått från december 2018 till och med maj 2020. Projektet har bedrivits under ledning av Dr Mattias Ganslandt med bistånd från Gustav Bergquist som fungerat som biträdande projektledare.

## Genomförande

Projektet har genom en praktisk implementation av ett multifunktionellt distribuerat energilager i lokalnät syftat till att identifiera brister i tekniska och affärsmässiga gränssnitt till stamnät, lokalnät samt datahallar. I de fall brister identifierats har projektet vidare haft som målbild att bidra till att kunskapsutveckling på båda sidor om aktuellt gränssnitt, detta arbete har genom projektets praktiska karaktär skapat en känsla hos samtliga inblandade aktörer att bristerna behöver hanteras skyndsamt och effektivt - något som troligt inte varit möjligt i ett teoretiskt projekt.

Projektet har anordnat två referensgruppsmöten (den 3 september 2019 samt den 6 november 2019) under vilka projektets framsteg och utmaningar diskuterats. I tillägg till detta har flertalet enskilda bilaterala kontakter med referensgruppsdeltagarna hjälpt projektet att utvecklas och framgångsrikt navigera i representanternas respektive organisationer.

Presentation av projektet och dess resultat har genomförts vid ett antal arrangemang, däribland nedanstående.

Arrangemang	Datum	Plats	Form
SampEL arena #3	2019-05-20	Johanneberg science park, Göteborg	Presentation av projektet
Workshop SampEL	2019-10-08	Gothia Towers, Göteborg	Presentation av projektet samt workshop
CoordiNet-forum/SampEL arena	2019-12-05	Hotell Birger Jarl, Stockholm	Workshop
IEA Power System Flexibility Expert Workshop	2020-02-06	IEA Headquarters, Paris	Workshop
EI – regeringsuppdrag angående flexibilitetsmarknader	2020-04-20	Webbinar	Presentation av projektet
CoordiNet-forum #4	2020-04-22	Webbinar	Presentation av projektet samt workshop

Projektet har arbetat i sex tydligt definierade steg vilka motsvarar separata stycken i genomförandebeskrivningen nedan.

### **Design och konceptutveckling (dec 2018-feb 2019)**

Efter att projektet begärt och beviljats förlängning av Energimyndigheten i december 2018 pga. svårigheter att finna en plats för projektets praktiska installation påbörjades genomförandet i inledningen av 2019.

Den 15 januari 2019 togs första kontakterna med representanter för lokalnätägaren och den 15 februari 2019 avtalades om en förhyrd lokal i vilken projektet kunde genomföra den praktiska installationen.

Konceptutveckling och design av projektets praktiska genomförande detaljplanerades under de två sista veckorna i februari 2019.

### **Utveckling av affärsgränssnitt (feb-apr 2019)**

Delvis parallellt med momentet Design och konceptutveckling påbörjades utveckling av affärsgränssnitt och kontakter etablerades med både Svenska kraftnät och Ellevio i egenskap av stamnät respektive lokalnät. Från Svenska kraftnäts representanter fick projektet information om och hänvisades till Svenska kraftnäts skriftliga krav för leverans till marknaden för FCR-D, varvid dessa studerades i detalj. Baserat på den dokumentation som fanns tillgänglig gjorde projektet bedömningen att detta gränssnitt föreföll välutvecklat och redo för att tillämpas i praktiken (något som dock vid inledningen av 2019 ännu ej skett av Svenska kraftnät).

I kontakterna med lokalnätägaren framhövdes beskedet att det inte förelåg någon anledning till att hantera denna anslutning till elnätet annorlunda än en normal anslutning och projektet hänvisades till den ordinarie anslutningsprocessen. Efter ett antal dialogmöten med elnätägaren rörande förutsättningarna för projektet att tekniskt integreras mot elnätet kunde det konstateras att det förelåg en brist i att det aktuella elnätet inte är anpassat för dubbelriktade strömflöden. I tillägg till detta var kunskapen påtagligt bristfällig vilket tidvis gjorde dialogen mycket utmanande och svårhanterad trots projektets praktiska karaktär. Viljan att från lokalnätägaren göra de anpassningar som de själva hävdade var nödvändiga för att uppfylla anslutningskraven var pga. projektets tidsbegränsade karaktär obefintlig. Detta föranledde att projektet fick ägna väsentligt mer tid än planerat både under perioden feb-apr 2019 men även fortsättningsvis under projektets gång till att utforska bakgrund och motiv till de ställda anslutningsvillkoren. Trots ett gediget och mycket omfattande utredningsarbete och dialog med bland annat Elsäkerhetsverket, Svenska kraftnät, Energimyndigheten, Ellevio och Svensk Elstandard (TK.8) kunde projektet konstatera att det i sin helhet saknas motiv och bakgrund för det svenska särkravet på skydd för ofrivillig ö-drift (eng. Loss-Of-Mains).

I tillägg till de gränssnitt som beskrivits ovan har projektet avtalat med Bixia AB för tillgång till marknaden för FCR-D.

Både tekniska och affärsmässiga gränssnitt mot en lokal kritisk last (datahall) och mot en lokal icke-kritisk last har utvecklats men har av praktiska begränsningar inte kunnat valideras med en kund.

### **Teknisk design (feb-mar 2019)**

I momentet Teknisk design genomfördes omfattande granskning av olika alternativ för växelriktare och batterier. Metoden för detta steg har varit iterativt där design förbättrats i ett flertal steg med målbilden att komma så nära ett tekniskt och ekonomiskt optimalt system som möjligt.

Vad gäller batterier så genomfördes ett stort antal försök att etablera direktkontakt med några av världens ledande tillverkare av litiumjonbatterier för att reda ut tekniska egenskaper hos moduler och celler. I de fall kontakt etablerades hänvisades projektet till återförsäljarledet med hänvisning till att volymkravet för direktkontakt spände mellan 1MWh och 4-5MWh. Återförsäljarledet erbjuder både mindre fördelaktiga priser och en påtaglig brist av teknisk kompetens, vilket försvårade projektets tekniska design.

För växelriktare etablerades ett antal direktkontakter med tillverkare för att utröna förutsättningar och krav på omkringliggande system. Här identifierar projektet en diskrepans mellan vad som marknadsförs som en färdig funktion och den tekniska funktion som faktiskt erbjuds. Ett konkret exempel på hur detta påverkat projektet är att återladdning inte kunnat styras med önskvärd noggrannhet.

Handlingar för det praktiska genomförandet arbetades fram till slutversion under slutet av februari varvid den praktiska installationen, enligt plan, kunde påbörjas den 1 mars 2019. Teknisk design av styrsystem med tillhörande logik genomfördes under mars 2019 då leveranstider för sådan utrustning är väsentligt kortare än för både växelriktare och batterier.

### **Installationer (mar-aug 2019)**

Den praktiska installationen har genomförts med olika underleverantörer för sammankoppling och driftsättning av systemets beståndsdelar. Projektet har agerat byggherre och rent praktiskt projektlett de olika underleverantörerna för att på så sätt maximera kunskapsinhämtning och även för att säkerställa att projektets ekonomiska och tekniska avvägningar realiseras samt för att undvika informationsläckage.

Vad gäller den praktiska anslutningen av demonstrationsanläggningen till elnätet har projektet stött på ett märkbart hinder i elnätsbolagens bristande förberedelse för att ansluta decentraliserade produktionsresurser. Rent tekniska frågor, så som reläskyddsinställningar, och administrativ hantering av dubbelriktad mätning med tillhörande abonnemang visade sig avsevärt svårarbetat. Slutligen meddelades projektet anläggnings-ID för förbrukning den 25 juni 2019 respektive produktion under september 2019. Föranmälan tillsändes Ellevio den 12 mars 2019.

Som ett moment i installationen genomfördes den 8 augusti 2019 pre-kvalificeringen av resursen till marknaden för FCR-D. Svenska kraftnät erbjuds

att fysiskt delta men valde att inte utnyttja möjligheten. Pre-kvalificeringen genomfördes i enlighet med Svenska kraftnäts testprotokoll för FCR-D mellan kl. 13:30-14:00 den 8 augusti av Gustav Bergquist samt Mattias Ganslandt. Pre-kvalificeringen genomfördes efter separat godkännande av inmatning till elnätet av Ellevio (vilket var nödvändigt då Ellevio vid denna tidpunkt ännu inte meddelat anläggnings-ID avseende produktion). Vid analys av testresultaten kunde projektet preliminärt bedöma att Svenska kraftnäts krav var uppfyllda och att det sammanhängande systemets prestanda överträffat teknisk design både i termer av noggrannhet och snabbhet. En ansökan om att tillhandahålla reserver till marknaden för FCR-D skickades in till Svenska kraftnät den 12 augusti 2019. Projektet ansökte redan 7 juli 2019 om undantag från kravet att installera realtidsrapportering av mätvärden till Svenska kraftnät med anledning av projektets karaktär som demonstrationsanläggning. Undantag från krav på realtidsrapportering beviljades den 3 september 2019, något som sedermera förlängts då Svenska kraftnät ännu inte beslutat hur en sådan kommunikationslösning skall fungera.

Under Installationsfasen utvecklades stödverktyg för kommunikation av bud/accept med Bixia för att strukturera informationsutbytet i gränssnittet samt för att undvika fel. En sofistikerad modell togs även fram för att prediktera på marknaden rådande priser både D-2 och D-1.

Svenska kraftnäts process för att handlägga ansökan inleddes med att projektet skickade in sin ansökan den 12 augusti 2019. Svenska kraftnät begärde kompletteringar av ansökan den 29 augusti 2019 (besvarades den 29 augusti 2019), den 2 oktober 2019 (besvarades den 7 oktober 2019), den 14 oktober 2019 (besvarades den 8 november 2019) samt den 21 november 2019 (besvarades den 21 november 2019). I tillägg till den formella skriftväxlingen företogs ett antal telefonmöten med representanter från Svenska kraftnät under handläggningen av ansökan för att utveckla förståelse för kompletteringsbehovet och för att diskutera tänkbara lösningar och alternativ. Den 29 november fattade Svenska kraftnät beslut att godkänna anläggningen för leverans av 0.6MW FCR-D. Det bör noteras att inte någon av Svenska kraftnäts begäran om kompletteringar krävt förändringar i anläggningens tekniska design eller i dess praktiska genomförande. Direkt påföljande Svenska kraftnäts godkännande av anläggningen för leveranser av FCR-D vidtog en process hos Svenska kraftnät och Bixia för att klarlägga att Bixia kunde lägga bud på marknaden för FCR-D samt att de var godkända för detta. Denna process slutfördes den 9 januari 2020.

### **Drift (aug 2019-apr 2020)**

Anläggningen togs formellt i drift i s.k. test-läge efter pre-kvalificeringstestet den 8 augusti 2019. Vid denna tidpunkt påbörjades insamling av mätdata från anläggningen dock med blockerad leveransförmåga då systemet inte tilläts inmatning i elnätet förrän under september 2019 och inte tilläts delta i marknaden för FCR-D förrän under januari 2020.

Den 9 januari 2020 lämnades anläggningens första bud för leverans den 11 januari 2020 av Multigrid till Bixia och vidareförmedlas till Svenska kraftnät. Svenska



kraftnät återkom dock omgående efter avropen och upplyste att bud från anläggningen ej tilläts lämnas varje timme eftersom anläggningen kräver en återladdningstid på strax under 120 minuter efter en full aktivering. Svenska kraftnät kunde därför endast medge att bud lämnades för var tredje timme. Efter att projektet fördjupat granskningen av frekvensstatistik mellan 2009 och 2019 kunde det konstateras finnas mycket starka och goda skäl för Svenska kraftnät att ta hänsyn till den empiriska sannolikheten för två direkt efter varandra påföljande fulla aktiveringar inte motiverar en permanent reduktion av leveransmöjligheterna från ett energilager.

Anläggningens kapacitet (0.6MW) bjöds under leveransperioden 11 januari till 25 januari 2020 in under var tredje timme. För att förbättra leveransförmågan under Svenska kraftnäts krav att systemet inte kunde erbjudas marknaden de timmar då återladdning potentiellt kunde krävas utvecklade projektet ett alternativt driftläge med vilket Svenska kraftnät kunde medge leverans av halva anläggningens kapacitet (0.3MW) under dygnets samtliga timmar. I praktiken ställdes ett av systemets växelriktare och batterier rent logiskt som reserv inför varje driftstimme och beslutet om vilket system som skulle vara aktivt under aktuell driftstimme fattades baserat på State-of-Charge.

Efter att projektet tillhandahållit Svenska kraftnät med omfattande analytiskt underlag och detaljstudier av hur anläggningens State-of-Charge teoretiskt sett ut vid de största frekvensavvikelserna under den senaste 10-årsperioden nåddes ett genombrott då Svenska kraftnät den 24 januari 2020, som vi uppfattar det, som ett direkt svar på projektets arbete och analys, meddelade sin avsikt med start den 3 februari 2020 inleda ett omfattande pilotprojekt där resurser med begränsad energimängd (s.k. LER) skulle tillåtas att leverera sin fulla kapacitet samtliga timmar under dygnet. Svenska kraftnät bekräftade den 31 januari 2020 att anläggningen från 3 februari 2020 kunde bjuda in sin fulla kapacitet (0.6MW) under dygnets samtliga timmar.

Under projektets driftsperiod har ett antal ytterligare experiment genomfört, ett av dessa med syftet att utreda förutsättningarna för samtidig leverans av FCR-D och FFR (Fast Frequency Reserve) och ett annat för att samla mer data från hur batterierna beter sig vid högre urladdningsströmmar än vad systemet ursprungligen avsågs för. Vad gäller experimentet med samtidig leverans av FCR-D och FFR så kunde projektet den 24 januari 2020 tillhandahålla Svenska kraftnät med testdata vilka enligt projektets uppfattning bevisar systemets förmåga att leverera dessa tjänster parallellt, samtidigt och utan konflikt. Svenska kraftnät har efter att projektet tillhandahållit dessa konfidentiella testdata inom ramen för sin pilot avseende FFR meddelat att de inte ser några principiella problem med samtidig leverans av dessa tjänster. Projektet har på grund av den av Svenska kraftnät valda tillfälliga upphandlingsformen för FFR under 2020 valt att inte delta. Projektet har dock genom de tester som genomförts skapat tekniska förutsättningar för att systemet kan leverera dessa tjänster parallellt och är på så sätt redo för leveranser från den tid när Svenska kraftnät lanserar en mer permanent marknad för FFR (vilket preliminärt kan ske från 2021).

## Utvärdering och avslutning (apr-maj 2020)

För att utvärdera projektet har ett flertal analyser av insamlade data gjorts både under driftsperioden och under utvärderingsfasen. Totalt förfogar projektet i skrivande stund över c:a 10GB rådata som samlats in. Denna data har analyserats både i detalj och som en lång tidsserie. För analyser av detaljföreteelser har projektets driftsfas varit tillräckligt lång för att medge validering genom jämförelser med andra tidsserier. Vad gäller analyser av slitage är dock dessa behäftade med viss osäkerhet då driftsfasen ur detta perspektiv får anses kort.

Analysområden som särskilt fångat projektets uppmärksamhet är:

- De aktuella batterimodulernas termiska egenskaper under varierande omgivnings- och driftsförhållanden
- Det sammansatta systemets svarsförmåga och vilka faktorer som inverkar på denna
- Slitage på växelriktare och batterisystem
- Arkitektur för att medge icke-begränsande styrlogik

Samtliga analyser har med grund i insamlade data kunnat analyseras iterativt som empiriskt underlag med kompletterande tidsserier för validering.

Projektet har även avrapporterats i ett konfidentiellt och internt faktabaserat underlag vilket fungerat som beslutsunderlag för Multigrid's beslut att inleda en kommersialisering av projektets resultat i form av ett fristående, helägt dotterbolag från maj 2020.

## Resultat

### Verifiering av färdigutvecklat system för energilager som tjänst

Projekt Delaktig har utvecklat och validerat ett multifunktionellt system för att tillhandahålla balans- och kapacitetstjänster från en distribuerat energilager i det förnyelsebara elsystemet. Projektet har visat att systemet har teknisk förmåga att leverera frekvenstjänster till stamnätet utan märkbar ökad förslitning på den tekniska utrustningen bestående främst i ställverk, växelriktare och batterisystem med litiumjonbatterier jämfört med om systemet enbart används för att tillgodose ett lokalt behov av oavbruten kraft. Genom projektet har konceptet att tillhandahålla distribuerat energilager som tjänst (BESS-as-a-Service) färdigutvecklats från prototyp till färdigt system och funktionaliteten har verifierats i verklig drift, vilket motsvarar nivå 8 på TRL-skalan, och lösningen är därmed redo för kommersiell lansering (TRL nivå 9).

Projektet har visat att systemets installationskostnader och driftskostnader i kombination med de förväntade intäkter och täckningsbidrag som systemet i förväntan kan generera genom tillhandahållande av flera tjänster ger en acceptabel avkastning i ett kommersiellt och tekniskt relevant tidsperspektiv. Projektet har därmed demonstrerat att distribuerat energilager som tjänst har tillräcklig

kommersiell potential för att på marknadsmässiga villkor tillföra det förnyelsebara energisystemet kompletterande kapacitet för balanshållning, lokal utbudsflexibilitet och lokalt förbättrad elkvalitet (oavbruten kraft).

### **Teknisk utveckling av automatiserad multifunktionalitet**

Projektet har vidareutvecklat den tekniska lösningen för distribuerat energilager som tjänst på flera väsentliga punkter för att färdigställa systemet för kommersiell lansering. De systemkomponenter som projektet använt och som tidigare validerats som delsystem i en simulerad miljö (TRL nivå 5) har integrerats med kompletterande komponenter främst för mätning, kommunikation och anslutning samt kompletterats med ett styrsystem med egenutvecklad mjukvara.

Projektet har utvecklat mätning, kommunikation och mjukvara som gör att det tekniska systemet baserat på decentraliserad mätning och styrning kan tillhandahålla frekvenstjänster till stamnätet. Projektet har verifierat att den utvecklade funktionaliteten för leverans av frekvensåterställning vid störning (FCR-D) uppfyller stamnätets krav på leverans av den aktuella tjänsten. Projektet har resulterat i ett formellt godkännande från Svenska kraftnät för leverans av FCR-D från projektets tekniska system.

Vidare har projektet utvecklat och verifierat att anläggningen kan leverera kapacitet till en snabb frekvensåterställningsreserv (FFR). Projektet har resulterat i ett principiellt medgivande från Svenska kraftnät att samma anläggning kan tillhandahålla kapacitet såväl till den traditionella reserven för frekvensstörningar (FCR-D) som den kommande, snabbare resursen för frekvensåterställning vid stora störningar (FFR).

Projektet har dessutom utvecklat en mjukvara som omfattar funktion för att stamnätets köp av kapacitet för frekvensåterställning kan schemaläggas efter avrop två dagar före (D-2) och en dag före (D-1) leveransdygnet och därefter aktiveras automatiskt av systemet under leveransdygnet i enlighet med Svenska kraftnäts villkor för leverans. Den tekniska funktionaliteten för schemaläggning och aktivering i enlighet med Svenska kraftnäts krav har verifierats i verklig drift.

För övervakning, uppföljning och analys har projektet också utvecklat mjukvara för att kommunicera med anläggningen på distans och att decentraliserat samla in och lagra mätdata från anläggningen. Det har verifierats att den decentraliserade mätvärdesplattformen fungerar samt att systemet därmed inte är beroende av kontinuerlig extern kommunikation utan kan fungera autonomt med den lokala mätning och styrning som den tekniska lösningen bygger på. Mätningen har godkänts av Svenska kraftnät.

Sammanfattningsvis har det färdigutvecklade systemets funktioner verifierats under förväntade driftsförhållanden och det tekniska systemet har godkänts för leverans av FCR-D av Svenska kraftnät. Systemets löpande prestanda har därefter validerats genom kontinuerlig drift under verkliga förhållanden.

## Utveckling av gränssnitt mot stamnät, lokalnät och lokal förbrukare

Projektet har utvecklat gränssnitt mot externa system, dels för att möjliggöra en sammankoppling av anläggningen med det koncessionpliktiga elnätet, dels för att möjliggöra leverans av kapacitet för tre separata användningsområden.

Projektet har identifierat behov av utveckling av lokalnätens tekniska villkor, tariffer och rutiner för anslutning av distribuerade energilager. Projektet har genomfört en omfattande analys som påvisat att det saknas empiriskt stöd för svenska lokalnätens krav på skydd inom 150 ms mot ofrivillig ödrift samt att kravet delvis står i strid med det övergripande intresset av systemstabilitet.

Projektet har utvecklat en lösning som ger ändamålsenligt skydd mot ödrift samtidigt som systemet uppfyller kraven på tollerans mot störningar i det synkrona elsystemet. Projektet har vidare identifierat behov av och en elnätstariff som ger asymmetriska energilager, med låg laddningseffekt och hög leveranskapacitet, riktiga incitament att överta utbudsflexibilitet på kort och lång sikt samt utjämning av last mellan faserna. Detta analytiska resultat har kommunicerats till Energimarknadsinspektionen. Projektet har vidare identifierat behov av kompetensutveckling och processutveckling hos lokalnätsbolagen som medger en snabb och förutsägbar anslutning av distribuerade produktionsresurser och energilager.

Projektet har bidragit till Svenska kraftnäts gränssnitt och villkor för distribuerade anläggningar som tillhandahåller kapacitet på frekvensmarknaden FCR-D. Mer specifikt har projektet bidragit med en analys som visar att energilager med en uthållighet på 20 minuter kontinuerligt kan delta med kapacitet på marknaden för FCR-D utan att risken för oförmåga att leverera på grund av uttömt lager blir empiriskt märkbar. Denna analys har resulterat i att Svenska kraftnät, i väntan på en permanent reglering, har introducerat en pilot som under en övergångsperiod medger att batterilager kan bjudas in kontinuerligt på marknaden för FCR-D.

Projektet har i relation till potentiella lokala kunder utvecklat ett koncept för ett tekniskt och affärsmässigt gränssnitt för effektleverans och oavbruten kraft. De två tjänstekoncepten omfattar en teknisk lösning för inkoppling, en prioriteringsprincip samt en prismodell. Projektet har överlämnat de utvecklade koncepten till fortsatt affärsutveckling.

## Förslitning vid multifunktionell användning

Projektet har preliminärt visat att en multifunktionell användning som innebär att ett system för oavbruten lokal kraft också används till frekvensreglering genom tillhandahållande av FCR-D inte märkbart påverkar underhåll och förslitning jämfört med ett konventionellt system som enbart används för oanvändbar kraft. Systemet har under den begränsade testperioden inte haft några driftstörningar, den mätbara påverkan på batterisystemets kapacitet är mycket liten och planerad serviceåtgärd efter ett års drift kunde ske med enbart preventiva åtgärder och utan

att någon förslitning eller några defekter kunde identifieras. Mer definitiva empiriska slutsatser om systemets åldrande, underhållsbehov och förslitning kommer att kunna dras efter en längre period av drift under verkliga driftsförhållanden. Projektets förväntan (hypotes) är emellertid att merkostnaderna för förslitning och underhåll till följd av att ett multifunktionellt system tillhandahåller FCR-D och FFR i tillägg till andra funktioner är mycket begränsad.

## Diskussion

Projektet har resulterat i en teknisk och affärsmässig validering av konceptet ”distribuerat energilager som tjänst” och lagt grunden för en kommersialisering av konceptet. Sökanden har valt att starta ett helägt dotterbolag som under våren 2020 förberett en kommersiell expansion av kapacitet för leverans av effektjänster från multifunktionella, distribuerade energilager från och med hösten 2020. Projektets resultat kommer därmed att spridas genom en marknads lansering av den tekniska lösning som projektet har utvecklat.

Projektet har visat att det är tekniskt och kommersiellt möjligt att tillföra det förnyelsebara energisystemet med distribuerade energilager som bidrar med flera funktioner som ger ökad stabilitet, bättre utnyttjande av transmissions- och distributionssystemen och större lokal utbudsflexibilitet som kan tillgodose behov som varierar på kort och lång sikt. Genom att anläggningarna kan tillhandahålla flera samtidiga tjänster kan produktiviteten höjas jämfört med installation av flera separata system som enbart tillgodoser ett behov per system.

Distribuerade energilager som tillhandahåller lokal kapacitet och frekvenstjänster kan underlätta elsystemets omställning till en större andel vindkraft och en elektrifiering av transportsektorn genom att anläggningarna geografiskt kan placeras så att transmissions- och distributionsbehoven minskar, systemets motståndskraft mot störningar ökar och marknadens förmåga att på ett adekvat sätt och inom rimlig tid tillgodose tillkommande effektbehov från exempelvis elfordon blir bättre.

## Publikationslista

Projektets resultat har presenterats vid konferenser och seminarium där innehållet spridits som presentationer och inspelad video (se ovan under genomförande).

## Bilagor

Administrativ bilaga till Slutrapport (Delaktig, Energimyndighetens projektnummer 46302-1)