

Slutrapport

Energimyndighetens titel på projektet – svenska
Högtemperaturvärmepumpar för termobatterier

Energimyndighetens titel på projektet – engelska
High Temperature Heat Pumps for Thermal Batteries

Organisation
K-mit AB, 556981-1432
% Kindblad, Edelundavägen 14, 165 70 Hässelby

Namn på projektledare
Susanne Kindblad

Namn på eventuella övriga projektdeltagare
Pontus Kindblad, Christoffer Möckelind, Maria Olsson

Nyckelord
Energilagring, högtemperaturvärmeteknik, sandbatteriteknologi, termisk energilagring, värmelagring, resilient energilagring, energiflexibilitet, lokal och långsiktig energilagring.

Förord

Det är med stor glädje vi presenterar slutrapporten för projektet *Högtemperaturvärmepumpar för termobatterier*. Detta projekt har haft som mål att utforska och utveckla banbrytande lösningar för att integrera högtemperaturvärmepumpar med termobatterier, och därigenom bidra till energieffektiva och hållbara värmelagringssystem.

Vi vill rikta ett varmt tack till Energimyndigheten, vars generösa finansiering har gjort detta arbete möjligt. Deras stöd har varit avgörande för projektets genomförande och för att driva utvecklingen av innovativa energiteknologier framåt.

En särskild uppskattning går till vår referensgrupp, som har bestått av ett stort antal privatpersoner med expertkunskaper inom bland annat elektronik, termodynamik, el och luftflödesanalys. Därtill har vi haft stor hjälp av experter vid institutionen för tillämpad fysik och elektronik vid Umeå universitet, Greenco Tech AB vid Chalmers Teknikpark, Södertälje Science Park, Vattenfall AB, Eskilstuna kommun, Kfast - Eskilstuna Kommunfastigheter AB, samt verkstadsföretaget Sprintline i Tranås. Deras värdefulla insikter, feedback och engagemang har varit en stor tillgång under projektets gång och bidragit till dess framgång.

Vi vill även tacka alla samarbetspartners och medarbetare som har arbetat med stor hängivenhet och expertis för att driva projektet framåt. Ert arbete har inte bara resulterat i viktiga forsknings- och utvecklingsinsatser, utan också lagt grunden för framtida innovationer inom energilagring och högtemperaturteknik. En förteckning över de privatpersoner som har bidragit mest till projektet finns på <https://sandbatteri.se/sv/om>

Vi hoppas att denna rapport inte bara speglar de resultat vi uppnått utan även kan inspirera till fortsatt forskning, utveckling och samarbete inom området.

Hässelby 2024-11-26
Susanne Kindblad
Projektledare, K-mit AB

Innehållsförteckning

Sammanfattning	4
Summary	5
Inledning/bakgrund	6
Genomförande	8
Resultat	12
Diskussion	16
Publikationslista	18
Referenser, källor	19
Bilagor	23

Sammanfattning

Projektet syftade till att utveckla och utvärdera en innovativ lösning där högtemperaturvärmepumpar integreras med termobatterier för att förbättra uppvärmning och energilagring. Målet att förbättra energieffektiviteten i termobatterier nåddes delvis. Simuleringar visade en potentiell förbättring på 15 %, men de faktiska vinsterna var mindre än förväntat. Den ökade systemkomplexiteten och kostnaderna gjorde tekniken mindre robust och svårare att underhålla, vilket ledde till att fokus skiftades till andra förbättringar, såsom optimering av värmeöverföring, isolering och förbättrade fläktlösningar.

Under projektet har projektteamet också etablerat en lovande kontakt med ett företag som utvecklar värmepumpar drivna av värme istället för elektricitet. Denna innovativa teknik har potential att förbättra kostnadskalkylen avsevärt och öka energieffektiviteten i sandbatteriet ytterligare. Vi planerar för närvarande gemensamma projekt för att utforska och implementera denna lösning i våra sandbatterier.

Projektet har också utarbetat en detaljerad finansieringsplan och affärsmodell som underbygger teknologins kommersialisering, samtidigt som täta samarbeten med användare och samarbetspartners har säkerställt att tekniken möter marknadens krav. Genom att framgångsrikt hantera tekniska utmaningar från föregående projekt och optimera styr- och värmereglering, har projektet skapat en pålitlig och miljövänlig lösning. Resultaten bidrar till ett mer hållbart energisystem, med stor potential för framtida forskning och industriell tillämpning.

I projektet har projektteamet utgått från den prototyp för ett sandbatteri som utvecklades inom ramen för projektet "*Mikronät med sandbatteri*" (P2023-00243). Denna innovation har optimerats och vidareutvecklats med målet att ta fram en helt ny och mer effektiv teknik för att värma den luft som cirkulerar i sandbatteriet och därigenom förbättra värmelagringsystemets prestanda.

Genom att optimera värmelagring och uttag av termisk energi har projektet haft som syfte att bidra till minskad energiförbrukning och främja en hållbar energianvändning. Resultaten förväntas ha en betydande påverkan på energisektorn och öppna dörrar för innovativa lösningar inom energilagring och uppvärmning.

Summary

The project aimed to develop and evaluate an innovative solution where high-temperature heat pumps are integrated with thermal batteries to enhance heating and energy storage performance. The goal of improving the energy efficiency of thermal batteries was partially achieved. Simulations indicated a potential improvement of 15%, but the actual gains were lower than expected. Increased system complexity and costs made the technology less robust and harder to maintain, leading to a shift in focus toward other improvements, such as optimizing heat transfer, insulation, and enhanced fan solutions.

During the project, the team also established a promising collaboration with a company developing heat-driven heat pumps instead of electric ones. This innovative technology has the potential to significantly improve cost efficiency and further enhance the energy efficiency of the sand battery. Joint projects are currently being planned to explore and implement this solution in the sand batteries.

The project has also produced a detailed financing plan and business model to support the technology's commercialization. Close collaborations with users and partners have ensured that the technology meets market demands. By successfully addressing technical challenges from previous projects and optimizing control and heat regulation, the project has delivered a reliable and environmentally friendly solution. The results contribute to a more sustainable energy system, with significant potential for future research and industrial applications.

The project built upon the sand battery prototype developed in the "*Microgrid with Sand Battery*" project (P2023-00243). This innovation has been optimized and further developed to create a new, more efficient technology for heating the air circulating within the sand battery, thereby improving the performance of the thermal energy storage system.

By optimizing heat storage and thermal energy extraction, the project aimed to reduce energy consumption and promote sustainable energy use. The results are expected to have a significant impact on the energy sector and pave the way for innovative solutions in energy storage and heating.

Inledning/bakgrund

Projektet "Högtemperaturvärmepumpar för termobatterier" har genomförts som ett svar på ett växande behov av mer energieffektiva och hållbara energilagringssystem, särskilt inom områden med höga krav på värmeproduktion. Den globala energiomställningen, med fokus på förnybara energikällor som vind och sol, har skapat nya utmaningar när det gäller att lagra och utnyttja överskottsenergi. Termobatterier, som lagrar energi i form av värme, har stor potential att bidra till en mer flexibel och pålitlig energiförsörjning.

Högtemperaturvärmepumpar har visat sig vara en lovande teknik för att förbättra verkningsgraden hos termobatterier genom att omvandla el till värme på ett effektivt sätt. Detta är särskilt viktigt i industrier som kräver höga temperaturer, där dagens energilagringssystem inte alltid är tillräckligt kostnadseffektiva eller skalbara. Genom att använda högtemperaturvärmepumpar kan man inte bara optimera lagringen av överskottsenergi utan även förbättra den övergripande energieffektiviteten i system som behöver höga värmenivåer.

Projektet syftar därmed till att utveckla och demonstrera hur högtemperaturvärmepumpar kan integreras i termobatterisystem för att förbättra lagringskapaciteten och energieffektiviteten, samt minska beroendet av fossila bränslen och bidra till ett mer hållbart energisystem.

Projektet "*Högtemperaturvärmepumpar för termobatterier*" (P2024-00238) har genomförts av flera viktiga skäl:

1. Ökad energieffektivitet

Den nuvarande energianvändningen och uppvärmningen av byggnader är ineffektiv och resurskrävande. Genom att utveckla termobatterier vars effektivitet förstärks av vår nya, innovativa högtemperaturvärmepump kan vi maximera användningen av förnybar energi och därigenom öka energieffektiviteten avsevärt.

2. Minskad klimatpåverkan

Genom att optimera värmelagring och -uttag med högtemperaturvärmepumpar minskar vi konsumenternas behov av att köpa el för uppvärmning vid höga elpriser. Detta bidrar direkt till minskade växthusgasutsläpp och stöder klimatmålen.

3. Förbättrad energilagring

Termobatterier är en lovande teknologi för att lagra stora mängder energi över längre perioder. Projektet möjliggör en bättre förståelse av dess potential och effektivitet, vilket är avgörande inför marknadsintroduktionen.

4. Innovationsdriven konkurrenskraft

Genom att vara i framkant av utvecklingen inom högtemperaturvärmepumpar kan vi stärka vår konkurrenskraft på marknaden. Detta ger företaget en fördel och ökar möjligheterna att erbjuda innovativa lösningar som svarar på marknadens behov.

5. Krisberedskap

Vår första potentiella kund, som är en svensk kommun, har visat intresse för sandbatteriet som en del av sin krisberedskapsplan. Genom att erbjuda effektiv och långsiktig lagring av termisk energi kan sandbatteriet spela en viktig roll i samhällets arbete med förberedelse inför krigs- och andra krissituationer.

6. Samhällsnytta

Med lösningen kan man flytta användningen av el från när det är hög efterfrågan till när det är låg efterfrågan, vilket minskar belastningen på det allmänna elnätet. Projektet har en tydlig samhällsnytta genom att förbättra energieffektiviteten, minska klimatpåverkan och främja användningen av förnybar energi. Detta gynnar både enskilda konsumenter och samhället som helhet.

Sammanfattningsvis är projektet en viktig satsning för att möta de utmaningar och möjligheter som energisektorn står inför. Det bidrar till en mer hållbar och effektiv energianvändning samtidigt som det främjar teknologisk innovation och konkurrenskraft i Sverige.

Genomförande

Projektet "*Högtemperaturvärmepumpar för termobatterier*" har delats upp i flera arbetspaket, var och en med specifika mål och aktiviteter för att driva utvecklingen framåt. Nedan följer en beskrivning av de huvudsakliga delmomenten och metoderna som har använts, samt vilka personer som har medverkat i respektive delmoment.

Arbetspaket 1: Projektledning

Projektledningen har bland annat innefattat planering, projektadministration, och löpande dokumentation. I projektledarens arbete har även ingått att ta fram en finansieringsplan, en produktplan samt att etablera samarbeten med nya kunder och samarbetspartners.

Syfte: Det huvudsakliga syftet har varit att säkerställa att projektet genomförs enligt plan, inom budget och satta tidsramar, samt att alla delmål uppnås. Projektledningen har ansvarat för att koordinera arbetet mellan de olika arbetspaketen, hantera resurser och kommunikation mellan projektdeltagare, samt se till att riskhantering och kvalitetssäkring följs. Projektledningen har också fungerat som en länk mellan projektets interna team och externa intressenter för att upprätthålla transparens och säkerställa att projektet följer uppsatta mål.

- **Metod:** Projektledningen har använt sig av etablerade projektstyrningsmetoder för tidsplanering, regelbundna avstämningar med projektteamet och riskhanteringsstrategier för att hantera potentiella utmaningar. Kommunikationen inom projektet har skett genom veckovisa möten, progressrapporter och de digitala plattformarna Slack och Mattermost som möjliggör transparent och uppdaterad information om projektets status. På www.sandbatteri.se har utvalda inlägg publicerats om framskridandet av projektet.
- **Deltagare:** Susanne Kindblad har varit ansvarig projektledare och till sin hjälp har hon haft Maria Olsson som bland annat har bistått med riskhanteringsstrategier.

Arbetspaket 2: Optimering av sandbatteriets uppvärmningssystem

I detta arbetspaket ingick framtagande av en ny innovativ metod där sandbatteritekniken kombineras med högtemperaturvärmepumpsteknik samt optimering och testning av detta uppvärmningssystem i syfte att öka prestanda och energieffektivitet med ca 15 %.

Simuleringar visade en potentiell förbättring på 15 %, men de faktiska vinsterna var mindre än förväntat. Den ökade systemkomplexiteten och kostnaderna gjorde tekniken mindre robust och svårare att underhålla, vilket ledde till att fokus skiftades till andra förbättringar, såsom optimering av värmeöverföring, förbättrad styr- och reglerteknik samt förbättrade fläktlösningar.

Under projektet har projektteamet också etablerat en lovande kontakt med ett företag som utvecklar värmepumpar drivna av värme istället för elektricitet. Denna innovativa teknik har potential att förbättra kostnadskalkylen avsevärt och öka energieffektiviteten i sandbatteriet ytterligare. Vi planerar för närvarande gemensamma projekt för att utforska och implementera denna lösning i våra sandbatterier.

Som en del av helhetslösningen har även en vidareutveckling av sandbatteriets styr- och reglerteknik för uppvärmning genomförts. Identifierade utmaningar i projektet "*Mikronät med sandbatteri*" (P2023-00243), såsom energiförluster och materialval vid extrema temperaturer, har adresseras och åtgärder har vidtagits för att ytterligare förbättra sandbatteriets prestanda. Fläktsystemet har bytts ut och vidareutvecklats i flera iterationer för att övervinna tryckfall i systemet och för att klara av ett ökat slitage vid användning vid höga temperaturer. Fortsatta tester och mätningar av temperatur och fukt i sandbatteriet har löpande genomförts och dokumenterats.

Syfte: I detta delmoment har fokus legat på att förbättra och effektivisera den tekniska designen för uppvärmningen av sandbatteriet. Målet har varit att säkerställa att uppvärmningssystemet når önskade temperaturer på ett energisnålt och hållbart sätt, samtidigt som systemets prestanda maximeras. Optimeringen bidrar till att minska energiförluster, förbättrar värmeöverföring och ökar termobatteriets totala kapacitet att lagra och avge värme över längre tidsperioder. Detta inkluderar både en delvis förnyad hårdvarudesign och tekniska simuleringar av hur systemet kan fungera under olika förhållanden.

- **Metod:** Litteraturstudier och tekniska analyser har använts för att få en bred förståelse för existerande lösningar och teknikens potential. CAD-verktyg och simuleringsprogram har använts för att designa och optimera systemets prestanda. Experimentella tester har genomförts för att validera designval. Mätdata har samlats in och utvärderats för att förstå systemets styrkor och svagheter.
- **Deltagare:** Hela projektteamet har deltagit i arbetspaketet tillsammans med bl.a. en elektriker och en ingenjör med teknisk fysik som expertisområde. Experter från institutionen för tillämpad fysik och elektronik vid Umeå universitet och en f.d. professor i

fysik vid KTH har konsulterats och hjälpt projektteamet framåt i projektet. Experter på bl.a. ventilationsteknik och mekanisk konstruktionsteknik vid företaget Sprintline har mycket generöst delat med sig av både kunskaper och arbetstid. Under projektet har vi också etablerat en lovande kontakt med ett företag som utvecklar värmepumpar drivna av värme istället för elektricitet. Denna innovativa teknik har potential att förbättra kostnadskalkylen för sandbatteritekniken avsevärt och öka energieffektiviteten ytterligare. Vi planerar för närvarande gemensamma projekt för att utforska en integration med denna lösning i våra sandbatterier.

Arbetspaket 3: Framtagande av finansieringsplan

För att säkerställa den fortsatta utvecklingen av sandbatteriet efter projektets avslut genomfördes arbetspaket 3 där en detaljerad finansieringsplan togs fram. Finansieringsplanen omfattar försäljningsintäkter, investeringar, affärsutvecklingspartnerskap, intern generering från K-mits kassaflöde samt, om nödvändigt, lån och skuldfinansiering.

Syfte: Finansieringsplanen togs fram i syfte att skapa en robust ekonomisk plan som säkrar de nödvändiga resurserna för projektets fortlöpande utveckling och kommersialisering. Detta inkluderar att identifiera potentiella finansieringskällor, som offentliga stöd, investerare och andra partners, samt att skapa en hållbar ekonomisk strategi för hur medel ska användas på kort och lång sikt. Finansieringsplanen berör även risker och osäkerheter i projektets finansieringsbehov, såsom förändringar i marknaden eller teknikbehov.

- **Metod:** En detaljerad analys av projektets kostnadsstruktur, inklusive utveckling, produktion och marknadsintroduktion har genomförts. Vidare utfördes en kartläggning av möjliga finansieringsalternativ, både privata och offentliga, såsom riskkapital, bidrag från myndigheter och innovationsstöd. Budgetsimuleringar och scenarioplanering har använts för att säkerställa att planen är flexibel och realistisk.
- **Deltagare:** Projektledaren har ansvarat för nedtecknandet av finansieringsplanen men hela projektteamet har deltagit som bollplank i arbetspaketet.

Arbetspaket 4: Framtagande av produktplan och affärsmodell

Inom ramen för projektet ”Mikronät med sandbatteri” (P2023-00243) togs en marknadsanalys fram. Marknadsanalysen gav en omfattande förståelse av den externa miljön och marknaden för sandbatteriet. Denna kunskap har varit central för utvecklingen av den strategiska affärsmodell och produktplan som har framarbetats inom ramen för detta projekt.

Vi har utifrån marknadsanalysens resultat utarbetat en omfattande produktplan som tydligt definierar projektets produktmål, funktioner och tekniska specifikationer. Dessutom har vi tagit fram en affärsmodell som tydligt identifierar våra målgrupper, intäktströmmar, kostnadsstrukturer och strategier för att säkerställa projektets framgång på marknaden.

Syfte: Produktplanens och affärsmodellens syfte är i första hand att säkerställa att sandbatteriet kan kommersialiseras framgångsrikt. Produktplanen definierar hur sandbatteriet ska utvecklas från prototypstadiet till en marknadsfärdig produkt, medan affärsmodellen beskriver hur företaget kan generera intäkter och uppnå hållbar tillväxt. Detta arbetspaket syftar också till att identifiera kundsegment, marknadsstrategier och prissättningsmodeller som kan stötta en skalbar verksamhet.

- **Metod:** Utgångspunkten är den marknadsanalys som togs fram inom ramen för projektet ”Mikronät med sandbatteri” (P2023-00243) där målgrupper och konkurrenter identifierades, samt där kundernas behov och preferenser kartlades. Arbetspaketet inkluderade också en teknisk bedömning av produktutvecklingen för att definiera viktiga steg fram till kommersialisering, som produktionsprocesser, leveranskedjor och kvalitetskontroller. Affärsmodellen utformas genom att utforska olika intäktströmmar, såsom direktförsäljning, licensiering och strategiska samarbeten. Ekonomiska prognoser och lönsamhetsanalyser används för att säkerställa affärsmodellens hållbarhet.
- **Deltagare:** Projektledaren har ansvarat för nedtecknandet av finansieringsplanen men hela projektteamet har deltagit som bollplank i arbetspaketet.

Resultat

Projektet har uppnått flera betydelsefulla resultat som utgör viktiga milstolpar för utvecklingen och kommersialiseringen av sandbatteriteknologin. Genom omfattande teknisk utveckling och tester har vi kunnat optimera sandbatteriets värmelagringskapacitet och uppvärmningssystem, vilket har resulterat i en betydande förbättring av systemets effektivitet. Dessutom har vi utvecklat ett grundläggande mjukvarustöd för energihantering som gör det möjligt att optimera batteriets prestanda under olika driftförhållanden.

En viktig slutsats är att sandbatteriteknologin visar potential för storskalig tillämpning i både industriella och samhällsrelaterade sammanhang, särskilt för att lagra överskottsenergi under perioder med låg energiförbrukning. De genomförda testerna har visat att tekniken effektivt kan lagra värme under längre perioder och frigöra denna energi vid behov, vilket bidrar till energisystemets flexibilitet och stabilitet.

Vi har även identifierat områden för vidare förbättring, där särskilt vidareutveckling av uppvärmningssystemets fläktsystem och ytterligare optimering av kontrollsystemen framstår som nästa steg i projektet. Projektet har visat att fortsatt arbete inom dessa områden är avgörande för att nå kommersiell hållbarhet och kunna erbjuda en konkurrenskraftig produkt på marknaden.

Projektet har uppnått flera betydande resultat som sammanfaller med dess övergripande mål att utveckla och utvärdera en innovativ lösning där högtemperaturvärmepumpar integreras med termobatterier för att förbättra prestandan för uppvärmning och energilagring. Genom detta projekt har vi optimerat prototypen för ett sandbatteri, vilket utvecklades inom ramen för projektet "*Mikronät med sandbatteri*" (P2023-00243), med fokus på att förbättra effektiviteten i värmelagringsystemet. Genom att justera och optimera tekniken för uppvärmning av den luft som cirkulerar i sandbatteriet har projektet avsevärt förbättrat systemets effektivitet och energibesparing.

Projektet har genererat betydande resultat i linje med de mål som sattes upp för att optimera sandbatteriets prestanda genom integration med högtemperaturvärmepumpar och utveckling av en effektiv uppvärmningsteknik för termobatterier. Den genomförda optimeringen förväntas kunna öka energieffektiviteten i systemet med upp till 15 %, vilket överensstämmer med målet om att förbättra energieffektiviteten. De genomförda testerna har visat att detta mål är realistiskt, och de har lagt grunden för vidareutveckling och implementering i kommersiella applikationer. Dock har problem med fläktsystemet tillstött, vilket har medfört förseningar i uppvärmningen av sandbatteriet. Därigenom har vi ännu inte lyckats uppnå den uppsatta måltemperaturen på 600°C.

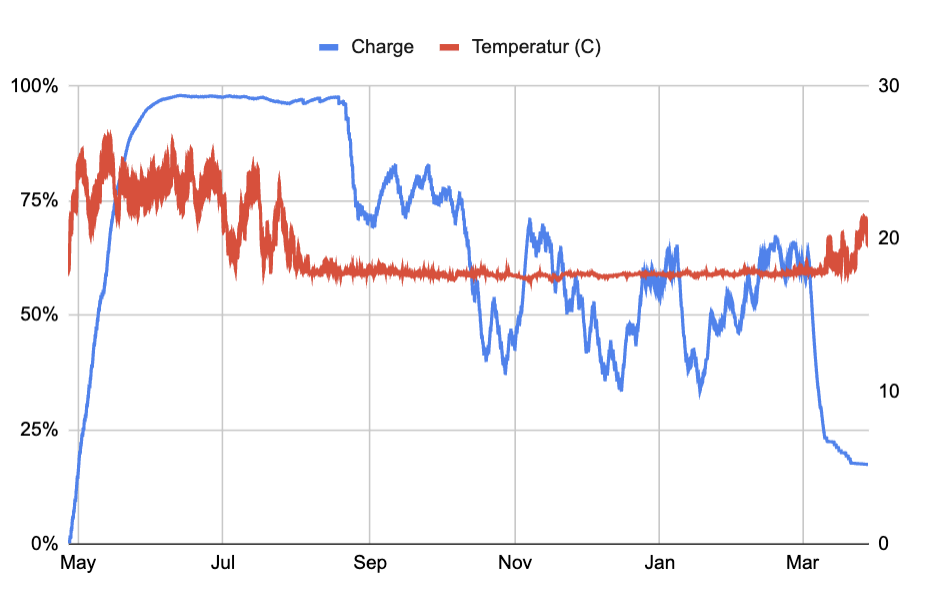
Under projektet har projektteamet etablerat en lovande kontakt med ett företag som utvecklar värmepumpar drivna av värme istället för elektricitet. Denna innovativa teknik har potential att öka energieffektiviteten i sandbatteriet ytterligare samt förbättra kostnadskalkylen för sandbatteritekniken avsevärt. Vi planerar för närvarande gemensamma projekt för att utforska en integration med denna lösning i våra sandbatterier.

De testresultat som uppnåtts indikerar att tekniken har stor potential att bidra till en övergång till renare och mer energieffektiva värmelagringssystem, med målsättningen att på längre sikt minska användningen av fossila bränslen och därmed de negativa klimatpåverkande utsläppen.

En annan viktig framgång inom projektet har varit integrationen av vårt styr- och reglersystem med elhandelsbolaget Tibber. Genom att koppla samman vårt system med Tibbers plattform kan vi nu basera våra prediktioner och styrstrategier på de faktiska elpriserna i realtid. Detta möjliggör att sandbatteriet kan laddas när elpriserna är låga och energibehovet i elnätet är mindre, samt att energi kan levereras tillbaka när priserna är högre och efterfrågan är större.

Denna integration har givit oss möjlighet att optimera energianvändningen ur både ett ekonomiskt perspektiv och ett hållbarhetsperspektiv. Genom att använda realtidsdata om elpriser kan vi maximera kostnadsbesparingar och samtidigt bidra till att balansera belastningen på elnätet. Detta är särskilt värdefullt i ett energisystem där förnybara energikällor utgör en växande andel, och där flexibilitet och responsivitet är avgörande för att upprätthålla stabilitet.

Implementeringen av denna funktion har också förbättrat systemets användarvänlighet och anpassningsförmåga. Användare kan nu dra nytta av automatiserad styrning som reagerar på marknadsförhållanden utan behov av ständig manuell övervakning. Detta representerar ett betydande steg framåt i vår strävan att erbjuda smarta och effektiva energilösningar som möter framtidens behov.



Simulering av sandbatteriets laddningsstatus baserad på SMHI:s väder och solinstrålningsdata, korsrefererad med Tibbers elprisdata.

Kommersiell innovation

En viktig slutsats är att projektet skapat en grund för framtida kommersiell innovation inom energilagringssektorn. Projektresultaten pekar på att sandbatteriteknologin, möjligen kompletterad med högtemperaturvärmepumpsteknik, kan vidareutvecklas till en kommersiellt gångbar produktlinje som kan differentiera sig på marknaden. Med sin potential att förbättra energilagringens effektivitet utgör tekniken ett nytt och relevant alternativ både för företag och privatpersoner som prioriterar hållbarhet och energieffektivitet.

Hållbarhet

Genom att optimera uppvärmningstekniken i termobatterier har projektet lyckats skapa en grund för att göra dessa system mer miljövänliga och energieffektiva. Den teknik som nu är utvecklad och testad visar sig kunna minska energiförbrukningen, vilket stärker projektets hållbarhetsmål. På sikt kan detta vara ett viktigt steg för att minska beroendet av fossila bränslen och de utsläpp som traditionella uppvärmningsmetoder genererar.

Forskningsgrund

Projektets resultat utgör en solid grund för fortsatt forskning inom integrationen av högtemperaturvärmepumpar med termiska energilagringssystem. De lärdomar och tekniska framsteg som har gjorts kan bana väg för nya innovationer och lösningar inom energibranschen. Genom detta projekt har vi skapat ett viktigt bidrag till framtida forskningsinitiativ och lagt grunden för nästa generation av värmelagringslösningar.

Sammanfattningsvis har projektet inte bara adresserat specifika tekniska utmaningar utan även främjat kommersiell innovation och hållbar utveckling. Med utgångspunkt i de resultat som uppnåtts kan vi förvänta oss att projektet bidrar till fortsatta framsteg inom energilagringsområdet och möter framtida energibehov på ett mer effektivt och hållbart sätt.

Finansieringsplan

För att stödja projektets framgång och säkra medel för kommersialisering har en omfattande finansieringsplan utarbetats. Denna plan beskriver hur resurser kommer att tillföras genom olika faser av projektet, från initial teknisk utveckling till marknadsintroduktion, och inkluderar interna medel, offentliga stöd samt potentiella investeringar från privata aktörer. Genom denna plan kan projektet upprätthålla kontinuitet och minska finansiella risker, vilket gör kommersialiseringen av tekniken mer förutsägbar.

Samarbete med användare och intressenter

Projektet har haft ett tiotal strategiska samarbetsmöten med potentiella användare och intressenter, där deras insikter och feedback har varit ovärderliga för utvecklingen av värmelagringslösningen. Vi har bland annat varit i kontakt med ett flertal villaägare, ett antal företag, bland annat ett gjuteri, ett antal forskare, en lantbrukare, en kommun och ett stort energibolag. Dessa samarbeten har inte bara säkerställt att tekniken utvecklas i linje med marknadens behov, utan också stärkt projektets relationer med nyckelaktörer inom energibranschen. Den användarinteraktion som genomförts har resulterat i förbättrade designlösningar och gett projektet en tydlig marknadsinriktning.

Bland intressenterna finns en av de stora svenska elleverantörerna, vilket öppnar upp för strategiska partnerskap inom energisektorn. Vi har även inlett ett samarbete med en forskningsgrupp vid Umeå universitet, som ser stor potential i att integrera deras forskning med vårt projekt för att främja innovation och teknikutveckling. Dessutom har vi en engagerad svensk kommun som har beslutat att bygga ett sandbatteri med vår teknik som grund, och ett flertal privata intressenter som aktivt visat intresse för vår teknik. Dessa samarbeten har gett oss värdefulla insikter och feedback, vilka har integrerats i utvecklingen av vår uppvärmningsteknik.

Produktplan och affärsmodell

En detaljerad produktplan och affärsmodell har tagits fram, med fokus på identifiering av de mest lovande marknadsmöjligheterna och potentiella intäktsströmmar. I detta arbete har marknadsanalys och kundundersökningar varit centrala och bidragit till en robust kommersialiseringstrategi. Affärsmodellen betonar intäktsmöjligheter kopplade till direkt försäljning av både system och tjänster, vilket stärker projektets långsiktiga lönsamhet.

Tekniska utmaningar från tidigare projekt

Som en del av projektmålen har teamet adresserat och löst flera av de utmaningar som identifierades i det föregående projektet "*Mikronät med sandbatteri.*" Särskilda insatser har gjorts för att hantera påverkan från extrema temperaturer på komponenter, förbättra styr- och regler tekniken samt reducera energiförluster i värmesystemet. Genom denna problemlösning har projektet förbättrat systemets pålitlighet och hållbarhet, vilket ökar dess lämplighet för långsiktig användning.

Sammanfattning

Sammanfattningsvis kan vi konstatera att projektet har bidragit med värdefulla insikter och konkreta tekniska framsteg som stärker potentialen för sandbatteriets roll i den framtida energiomställningen. De resultat som har uppnåtts har lagt grunden för fortsatta framsteg i utvecklingen av värmelagringslösningar och erbjuder på sikt en lösning för att möta framtida energibehov på ett effektivt och hållbart sätt. Vi är övertygade om att den grund som lagts genom detta projekt skapar gynnsamma förutsättningar för fortsatt utveckling mot en kommersiellt gångbar och hållbar produkt.

Diskussion

Projektet har på flera sätt visat potentialen i att integrera högtemperaturvärmepumpar med sandbatterier för att öka energieffektiviteten i termiska energilagringssystem. Genom de inledande testerna har vi kunnat bekräfta att värmepumpens kapacitet att höja temperaturen i sandbatteriet med ökad hastighet och effektivitet gör det möjligt att öka lagringseffektiviteten. Denna integration ger en förbättring av systemets prestanda, vilket visar på potentialen för sandbatterier att fungera som pålitliga och långvariga energilagringseenheter. Vi är övertygade om att med rätt typ av värmepump och anpassade användningsområden kan vi uppnå en effektivitetshöjning på minst 15 %, och potentiellt överträffa denna siffra.

Prestandaökningen i sandbatteriet genom integrationen av en den högtemperaturvärmepump som vi använde oss av visade sig dock vara relativt liten jämfört med förväntningarna, vilket gjorde att denna lösning inte bedömdes som optimal. Även om simuleringar och preliminära data indikerade en potentiell effektivitetshöjning på upp till 15 %, visade det sig i praktiken att vinsterna inte var tillräckligt betydande för att motivera den ökade komplexiteten som högtemperaturvärmepumpen medförde.

Att inkludera en traditionell högtemperaturvärmepump i systemet krävde omfattande anpassningar av styrsystem och komponentintegration, vilket

resulterade i ett mer komplicerat och mindre robust system. Den ökade komplexiteten innebar en högre risk för driftstörningar, svårigheter att underhålla systemet och ökade initiala investeringskostnader. Dessa faktorer motverkade den marginella prestandaökning som uppnåddes.

För ett system som sandbatteriet, som syftar till att erbjuda en robust, långsiktig och kostnadseffektiv lösning för energilagring, är enkelhet och tillförlitlighet centrala egenskaper. Därför valde vi att fortsätta utforska alternativa sätt att optimera energieffektiviteten, såsom förbättringar i värmeöverföring och isoleringslösningar, som bättre uppfyller kraven på både robusthet och kostnadseffektivitet.

Under projektets gång har vi identifierat flera kritiska faktorer för fortsatt utveckling. En av de största utmaningarna har varit att säkerställa systemets långsiktiga prestanda under höga temperaturer utan att komponenterna slits ut. Styr- och regler tekniken för värmeenheten visade sig vara mer komplex än förväntat, vilket kräver vidare optimering för att säkerställa ett stabilt flöde och en jämn temperatur. En annan viktig insikt är behovet av att vidareutveckla material och komponenter i fläktsystemet som kan stå emot de höga temperaturerna.

En viktig aspekt som diskuterats är marknadsanpassningen och användarvänligheten. Genom de samarbetsmöten vi haft med användare och intressenter har vi fått värdefull feedback om produktens potential och förbättringsmöjligheter. Användarnas input har stärkt behovet av att göra systemen skalbara och lätta att underhålla. Projektets affärsmodell och finansieringsplan har formats i ljuset av detta och visar att kommersiellt intresse finns, särskilt inom sektorer som jordbruk, industriell uppvärmning och fastighetsvärme i villor och kommunala byggnader.

Den utarbetade finansieringsstrategin har också visat på behovet av ytterligare kapital för att kunna utveckla teknologin för storskalig produktion och kommersialisering. På lång sikt är potentialen stor, men ytterligare investeringar behövs för att ta denna teknik från prototyp till marknad.

Slutligen kan vi konstatera att detta projekt har lyckats adressera de mål som sattes upp. Dock finns det flera viktiga områden för framtida forskning och utveckling, särskilt inom materialteknik, systemintegration och kommersiell anpassning. Diskussionen om projektets framsteg och utmaningar påvisar inte bara teknikens potential, utan också den betydande roll denna innovation kan spela i att bidra till en mer hållbar och energieffektiv framtid.

Publikationslista

Arbetet med konstruktionen av prototypen för sandbatteriet har löpande publicerats på webbplatsen <https://sandbatteri.se>

Sandbatteritekniken som utvecklas av K-mit AB och samarbetet med Eskilstuna kommun har beskrivits i papperstidningen Förnybar Energi (bifogas som bilaga till denna rapport) och delar av projektteamet har intervjuats av en reporter från tidningen Skärgården (<https://www.skargarden.se/>). Publiceringen av den artikeln kommer dock att ske efter projekttidens slut.

Referenser, källor

Alberg Østergaard, P., Connolly, D., Lund, H., Vad Mathiesen, B., “*Smart energy and smart energy systems*”, Aalborg University, Danmark, Februari 2017,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0360544217308812>, senast besökt 2024-11-27

Alva, G., Lin, Y., Fang, G. (2018). “*An overview of thermal energy storage systems.*” School of Physics, Nanjing University, Februari 2018,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S036054421732056X>

Andersen Pihl, M., Elmegaard, B., Poulsen Lundsted, J., Zühlsdorf, B., “*Developing a high-temperature heat pump technology concept using natural refrigerants*”, Hpt Magazine — 2023, Volume 41, Issue 1, pp. 21-24,

<https://findit.dtu.dk/en/catalog/64d290c9350fb41ea254242d>, senast besökt 2024-11-28

Arpagaus, C., Bless, F., Büchel, E., Frei, S., Uhlmann, M., “*High temperature heat pump using HFO and HCFO refrigerants - System design, simulation, and first experimental results*”, Purdue University, 2018,

<https://docs.lib.purdue.edu/cgi/viewcontent.cgi?article=2874&context=ira>, senast besökt 2024-11-11

Baloda, S., Islam Khan, N., Sharma, N., “*Thermal energy storage technologies and their applications*”, 2024,

<https://www.taylorfrancis.com/chapters/edit/10.1201/9781003472629-3/thermal-energy-storage-technologies-applications-naveen-sharma-sunil-baloda-nazrul-islam-khan>, senast besökt 2024-11-27

Beausoleil-Morrison, I., Cruickshank, C., Pinel, P., Wills, A., “*A review of available methods for seasonal storage of solar thermal energy in residential applications*”, Department of Mechanical and Aerospace Engineering, Carleton University, Ottawa, Ontario, Canada, 2011,

<https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S136403211100150X>

Chang, H., Kong, G., Wang, T., Yang, Q., “Review on the evaluation of ground-coupled heat pump and energy geostructures to exploit shallow geothermal energy with regional scale “ , Ministry of Education for Geomechanics and Embankment Engineering, Hohai University, China, 2024, https://www.sciopen.com/article_pdf/1815925914865397762.pdf, senast besökt 2024-11-28

Emilsson, E., Lindblom, E., & Mattsson, E., *Miljöeffekter av elnät och energilagring En förstudie av nyckelkomponenter i ett framtida fossilfritt energisystem*, Januari 2021, <https://ivl.diva-portal.org/smash/get/diva2:1549438/FULLTEXT01.pdf>, senast besökt 2024-11-11

Energimyndigheten, “Effektiv användning av energi, effekt och resurser”, 2024, <https://www.energimyndigheten.se/4afa39/globalassets/klimat--miljo/elektrofiering/effektiv-anvandning-av-energi-effekt-och-resurser.pdf>, senast besökt 2024-11-20

Fisher, D., Madani, H., KTH Royal Institute of Technology, “On Heat Pumps in Smart Grids: A Review”, April 2017 <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S1364032116309418>, senast besökt 2024-11-28

Heier, J., “Energy Efficiency through Thermal Energy Storage Possibilities for the Swedish Building Stock”, KTH School of Industrial Engineering and Management Department of Energy Technology Division of Heat and Power Technology, <https://www.diva-portal.org/smash/get/diva2:607704/FULLTEXT01.pdf>, senast besökt 2024-11-28

Hofmann, R., Jakubek, S., Pernsteiner, D., Schirrer, A., *Distributed state estimation in complex thermal systems*, Technische Universität Wien, 2020, https://www.tuwien.at/fileadmin/Assets/dienstleister/forschungs- und transfersupport/TO/1_Energy_Production_Storage/Dokumente/TUWien_2020-004_State-of-charge-observer.pdf, senast besökt 2024-11-11

Jouhara, H., “Waste heat recovery technologies and applications”, Brunel University, 2018, https://www.academia.edu/94379496/Waste_heat_recovery_technologies_and_applications, senast besökt 2024-11-20

Juul, G., Järvinen, M., Santasalo-Aarnio, A., Tetteh, S., *Improved effective thermal conductivity of sand bed in thermal energy storage systems*,

Journal of Energy Storage, Maj 2024,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X24009356>,
senast besökt 2024-11-11

Kluser, R., Wemhoener, C., “*Heat Pump Concepts for Nearly Zero Energy Buildings – Interim Results of IEA HPP Annex 40*”, University of Applied Sciences HSR Rapperswil, Switzerland,
<https://etkhpcorderapi.extweb.sp.se/api/file/1158>, senast besökt
2024-11-14

Naturvårdsverket, *Klimatklivet - Vägledning om beräkning av utsläppsminskning*, 2023-09-15
<https://www.naturvardsverket.se/4a6ac7/globalassets/amnen/klimat/klimatklivet/vagledning-berakna-utslappsminskning-230915.pdf>, senast besökt
2024-11-23

Nordell, B., “*Underground thermal energy storage (UTES)*”, Luleå University of Technology, Januari 2012,
https://www.researchgate.net/publication/288028431_Underground_thermal_energy_storage_UTES, senast besökt 2024-11-01

Nordic Energy Technology Perspectives, 2013, “*Nordic Energy Technology Perspectives - Pathways to a Carbon Neutral Energy Future*”,
<https://www.nordicenergy.org/wp-content/uploads/2012/03/Nordic-Energy-Technology-Perspectives.pdf>, senast besökt 2024-11-23

Roza Yazdani, M., Santasalo-Aarnio, A., Tetteh, S, *Cost-effective Electro-Thermal Energy Storage to balance small scale renewable energy systems*, Journal of Energy Storage, September 2021,
<https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2352152X21005557?via%3Dihub>, senast besökt 2024-11-11

Socaciu, L., “*Thermal Energy Storage: An Overview*”, Technical University of Cluj-Napoca, 2012,
https://www.researchgate.net/publication/272179305_Thermal_energy_storage_an_overview, senast besökt 2024-11-28

Statens energimyndighet, *Använd energi mer effektivt i ditt gjuteri*, 2017,
https://www.google.se/url?sa=t&rct=j&q=&esrc=s&source=web&cd=&cad=rja&uact=8&ved=2ahUKEwiz8p73od-JAxUUAXAIHf27A18QFnoECBgQAO&url=https%3A%2F%2Fenergimyndigheten.a-w2m.se%2FArkitekopia%2FGetTemplateResource%2F121%3Fid%3D2b71bd512b1c43b8b6f8d2d39e6d66d7%26res%3Dbea47ebc5d0a4d85bb759cddc504b545%26lr%3DFalse%26fn%3DET%25202017_25.pdf%26elp%3Dportal%26elt%3Dt%26eloid%3D2b71bd512b1c43b8b6f8d2d39e6d66d7&usg=AOvVa

w2MegoTbeONIGGZRbc8tSH4&opi=89978449, senast besökt
2024-11-11

Strømsør, A., *Seasonal Thermal Energy Storage Using Sand Batteries
Feasibility and Economic Analysis in Northern Norway*, UiT The Arctic
University of Norway, June 2024,
[https://munin.uit.no/bitstream/handle/10037/34198/thesis.pdf?sequence=2
&isAllowed=y](https://munin.uit.no/bitstream/handle/10037/34198/thesis.pdf?sequence=2&isAllowed=y), senast besökt 2024-11-11

Bilagor

Produktplan: Högtemperaturvärmepumpar för termobatterier_KÄNSLIG INFORMATION

Finansieringsplan: Högtemperaturvärmepumpar för termobatterier_KÄNSLIG INFORMATION

Bilaga-till-slutrapport--kommersialisering_Högtemperaturvärmepumpar för termobatterier_KÄNSLIG INFORMATION

Tidningen Förnybar Energi nr 3:2024