

Final report

1. Project details

Project title	EUDP 2022-I: GreenSite
File no.	64022-1048
Name of the funding scheme	EUDP
Project managing company / institution	Energy Cool Aps
CVR number (central business register)	33067135
Project partners	2operate, TT-Netværket, DTU Compute
Submission date	10 February 2025

2. Summary

Project summary

Telesites are critical infrastructure that, with expansion and new technology (5G), accounts for an increasing share of total energy consumption. The purpose of GreenSite was to reduce electricity consumption for tele-sites by 15% and reduce costs by another 2% through peak shaving with local battery storage, RE integration, and remote monitoring.

Main results of the project:

- Electricity consumption at telesites was reduced by 18%, which contributed to lower operating costs and increased energy efficiency.
- ECO-RAN currently saves around 8% of the mobile network's energy consumption and the tests carried out in the mobile network show that this saving can be increased to around 12%.
- Peak shaving was successfully demonstrated using local battery storage, which stabilized energy consumption during peak periods.
- An advanced system for operational monitoring was developed, reducing the need for manual maintenance and driving to telesites..

- Although RE integration was not fully tested due to delays related to cybersecurity, a robust framework was created for future implementation. However, calculations have been made on what the establishment of solar cells on the site could contribute to an additional saving of 1400 KW hours, however the ROI today not interesting to the operator.

The developed technology will be sold to telesite operators, where rapid deployment is expected due to a short payback time and immediate savings on CO2 emissions. The effect on reduced energy consumption and CO2 emissions will be proportional to the degree of deployment, with several thousand sites expected to be implemented within a short number of years. Reduction of CO2 emissions will depend on the size and type of site but is expected to be significant.

We expect that the project's experience with the development of the technology for peak shaving and battery storage can be scaled to other sectors and applications, however, it will require further development.

Projektræsumé :

Telesites er kritisk infrastruktur, der med udbygning og ny teknologi (5G) udgør en stigende andel af verdens samlede energiforbrug. Formålet med GreenSite var at reducere elforbruget til telesites med 15% og reducere omkostningerne med yderligere 2% gennem peak shaving med lokal batterilagring og VE-integration, samt intelligent fjernovervågning.

De vigtigste resultater af projektet:

- Elforbruget på telesites blev reduceret med 18%, hvilket bidrog til lavere driftsomkostninger og øget energieffektivitet.
- ECO-RAN sparer i dag omkring 8% af mobilnettets energiforbrug og de gennemførte test i mobilnettet at denne besparelse kan øges til omkring 12%.
- Peak shaving blev succesfuldt demonstreret ved hjælp af lokal batterilagring, hvilket stabiliserede energiforbruget i spidsbelastningsperioder.
- Et avanceret system til driftsovervågning blev udviklet, hvilket reducerede behovet for manuel vedligeholdelse og kørsel til telesites.
- Selvom VE-integration ikke blev testet fuldt ud på grund af forsinkelser relateret til cybersikkerhed, blev der skabt en robust ramme for fremtidig implementering. Der er dog foretaget beregninger på hvad etablering af solceller på siden ville kunne bidrage med at yderligere besparelse på 1400 KW timer, dog er ROI d.d. ikke interessant for operatøren.

Den udviklede teknologi vil blive solgt til teleoperatører, hvor der grundet hurtig tilbagebetalingstid og omgående besparelser på CO2-udledning forventes hurtig udbredelse. Effekten på reduceret energiforbrug og CO2-udledning vil være proportional med udbredelsesgraden, med forventeligt flere tusind sites implementeret indenfor en kort årrække. Reduktion af CO2-udledning vil afhænge af størrelse og type af site, men forventes signifikant.

Vi forventer, at projektets erfaringer med udarbejdelse af teknologien for peak shaving og batterilagring kan skaleres til andre sektorer og applikationer, dog vil det kræve yderligere udvikling.

3. Project objectives

GreenSite-projektet adresserede behovet for at reducere energiforbruget og omkostningerne ved drift af telesites samt fremme integrationen af vedvarende energi (VE). Projektet bidrog til at gøre telesites mere energieffektive og til at balancere elnettet i overgangen til en grønnere energiinfrastruktur.

GreenSite havde til formål at reducere elforbruget på telesites med 15 % og driftsomkostningerne med yderligere 2 % ved at implementere peak shaving via lokal batterilagring og VE-integration. Teknologien blev udviklet og demonstreret ved at optimere og reducere energiforbruget på telesites, integrere vedvarende energikilder som solceller og batterilagring, samt implementere avancerede overvågningsystemer til drift og vedligehold. Dette reducerer behovet for kørsel til telesites og manuel vedligeholdelse.

Konkret blev der i projektet udviklet tre energiteknologier, der tilsammen sikrede projektets formål indfriet:

Optimeringssoftware (AP2) der på baggrund af opsamlede data kan optimere på anvendelsen af tilgængelige energikilder. Softwaremodellen baseredes på allerede udviklet proof-of-concept (ECO-RAN), der kan opsamle visse RAN-data lokalt fra Nokia telesites, samt open source forecastingmodeller fra DTU.

Styringsenhed (AP3) blev udviklet, der kan opsamle og videresende data fra komponenterne i telesitet, samt anvendes til distribution af kommandoer til styringen i hver af komponenterne ud fra krav givet af optimeringsalgoritmen udviklet i AP2.

Ny køleteknologi til optimeret komponentkøl (AP4) blev udviklet, specielt målrettet køling af 5G-komponenter, der i dag udgør den største, enkeltstående kilde til energispild ved ineffektiv køling. Den udviklede løsning gør det endvidere langt lettere i fremtiden at udvikle komponentkøl integreret i- og optimeret i forhold til det samlede kølesystem. Designet udvikledes til anvendelse i alle relevante telesite designs (i første omgang hos TTN), med fokus på et så generisk design som overhovedet muligt, hvor tilpasning til forskellige telesite designs primært sker ved sitetypespecifikke integrationskits.

Endelig blev der i projektet udviklet VE-integration, der muliggør anvendelse af lokale VE-kilder, såsom solceller (se efterfølgende afsnit).

4. Project implementation

Projektet blev overordnet set gennemført med succes, hvor resultater fra simulationer indikerer overopfyldelse af de oprindelige mål, med en forventet opnået besparelse på 18% i energiomkostninger og reduceret CO₂-udledning.

Vi oplevede ikke væsentlige udfordringer i udviklingen af de i afsnit 3 beskrevne teknologier, men oplevede i forhold til driftstests betydelige udfordringer i forhold til at sikre og dokumentere tilstrækkelig resiliens i forhold til aktuelle cybersikkerhedstrusler.

Vi var fra projektets start opmærksomme på teleoperatørernes strenge krav til driftssikkerhed der også indgik i udviklingen af kravspecifikation og systemdesign i AP1, men den aktuelle sikkerhedssituation og den stærkt øgede risiko for cyberangreb ændrede disse forudsætninger markant undervejs i projektet. Ud over dette forhold, viste kravspecifikation og systemmodel udviklet i AP1 sig robuste igennem projektet.

I AP2 udvikledes dataopsamling og optimeringsmodel, hvor samspillet mellem den tunge forskningsindsigt ved DTU, dataindsigten fra 2operate og den dybe indsigt i teknikken i telesites fra Energy Cool og vores testkunder, viste sig optimalt i forhold til at udvikle operationelt anvendelige optimeringsmodeller.

I udvikling af styring i AP3 kom vi godt i mål med at udvikle den lokale styring i sitet, herunder styring af batterier under anvendelse af optimeringsalgoritmen udviklet i AP2. De nuværende risici for cyberangreb har medført stærkt øget fokus hos teleoperatørerne, hvilket har besværliggjort arbejdet med styring og særligt kommunikation ud af sitet. Der er endnu ikke et klart billede hos teleoperatørerne af, hvad den nye sikkerhedssituation betyder for de krav, de fremover vil stille til resiliens i styring og overvågning, så denne udviklingsopgave vil vi først nå helt i mål med efter projektet og i tæt samarbejde med teleoperatører.

I AP4 blev fundamentet lagt for VE-integration, men også her blev vi udfordret af, at løsningen skal imødekomme risikoen for cyberangreb og anden sabotage. Ligeledes viste vores resultater at med nuværende niveau for elpriser og etableringsomkostninger, er det svært at gøre drift baseret på lokale solceller omkostningseffektivt. Ved ændringer i elpriser, reducerede priser på solceller eller fremkomst af alternative VE-kilder til lokal produktion, vil vi med resultaterne fra AP4 hurtigt kunne integrere VE i et telesite, både teknisk og styringsmæssigt (herunder i optimeringsalgoritmen).

Udvikling af nyt køledesign i AP5 blev primært gennemført af EC og forløb uden væsentlige vanskeligheder, tæt koordineret med udviklingen i AP2 og AP3.

AP6 blev i væsentlig grad besværliggjort af cybersikkerhedshensyn, så de driftstests i et reelt driftsmiljø, samt den produktoptimering der typisk skal gennemføres på baggrund af erfaringer fra faktisk drift, blev ikke gennemført i det omfang vi havde forventet. I projektet blev der derfor i videst muligt omfang gjort brug af testning i simulationer, både rent datamæssige simulationer, men også simuleret drift, gennemført i en eksakt kopi i fuld skala af et telesite repræsentativt for målsegmentet (blot ikke forbundet til telenettet).

Vi havde i projektet valgt at udskille projektledelse i en særskilt arbejdsopgave (AP7), hvilket vi oplevede sikrede os fokus på den til tider vanskelige koordinering i et projekt udfordret af væsentlige ændringer i de oprindelige forudsætninger, samt med behov for meget tæt samarbejde på tværs af arbejdsopgaver på grund af gensidige afhængigheder.

Vi betragter projektet som værende gennemført med succes, trods aktiviteter vi ikke nåede igennem med i det forventede omfang. Grundet projektets overbevisende resultater, er der heldigvis fra alle projektets parter enighed om, at de aktiviteter der endnu udestår, bør og vil blive gennemført efterfølgende. Ligeledes kan vi konstatere, at de tilpasninger vi gennemførte undervejs, sikrede at vi kom igennem med den kerneudvikling der sikrede projektets formål realiseret.

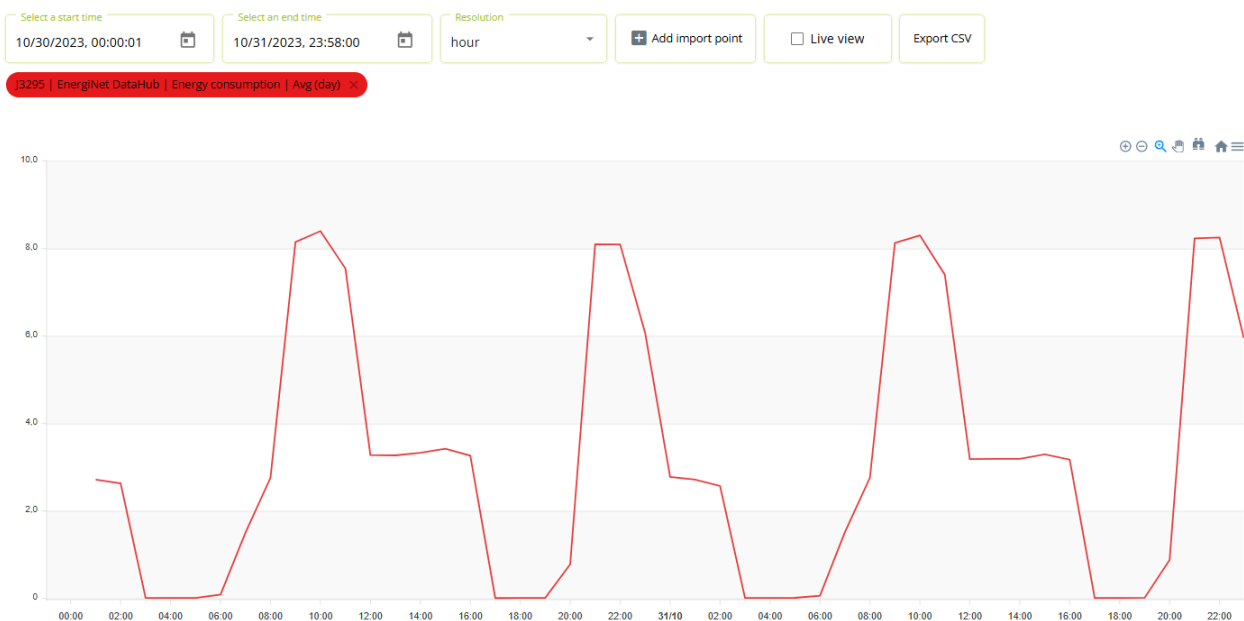
5. Project results

Teknologierne udviklet i GreenSite forventes jf. afsnit 4 fuldt ud at opfylde projektets mål i forhold til økonomisk besparelse på energi, samt CO₂-reduktion. Disse estimater er påvist i meget tydelige resultater både i datasimulationerne og vores simulerede driftstests. Besparellesseffekten fra driftsbesparelser ved reduceret behov for kørsel til sites ser ud til at holde, men er ikke validt påvist i projektet, da dette kræver omfattende driftstest i reelt driftsmiljø, hvilket vi jf. afsnit 4 var forhindret i at gennemføre i påtænkt omfang.

Business casen for de teleoperatører der er GreenSites målsegment er tydelig og positiv, da de kan forvente at indtjene investeringer i hard- og software på få år gennem reducerede energiomkostninger. Tilbagebetalingstiden forventes kort (~3 år), men varierende med det enkelte telesites aktuelle bestykning af bla. batterikapacitet.

I projektet blev der med succes udviklet en fungerende optimeringssoftware, der ikke blot vil kunne anvendes operationelt, men på sigt også vil kunne anvendes til at hjælpe teleoperatører med optimering af investeringer i batterikapacitet ved anlæg. Tests påviste, at der kan opnås den største besparelse, både økonomisk og miljømæssigt, ved en optimering af batterikapaciteten på hvert site (se bl.a. Hosseini *et al.* (i skrivende stund upubliceret), Optimization and Mathematical Modeling of Energy Management for Grid-Battery-Mast Systems).

Export Data



ECO-RAN sparer i dag strøm i mobilnettet ved at lukke kapacitet når trafikken tillader det. Dette sker ved hjælp af en optimeret algoritme ud fra store mængder malinger fra mobilnettet. I Greensite projektet er ECO-RAN udvidet til at kunne håndtere flere niveauer af kapacitetsnedlukning men stadig sådan at mobilkunderne ikke oplever forringet performance. Hvor ECO-RAN i dag implementerer styringerne gennem daglige eller ugentlige planer via interface til mobilnettet, sker styringerne i Greensite i realtime via API fra Energy-Cool. Herfra tilpasses konfigurationen via IoT device på mobil sites på Nokia FPFH styringsudstyr som installeres på sites.

ECO-RAN sparer i dag omkring 8% af mobilnettets energiforbrug og de gennemførte test i mobilnettet at denne besparelse kan øges til omkring 12%. Dette svarer til en effekt på ca. 300 kW eller et energiforbrug på 2500 MWh per år.

ECO-RAN er desuden i stand til at optimere anvendelsen af Li-Ion batterier på sites til peak-shaving af forbrug fra elnettet. Realtime behovet er især i forbindelse meget høje priser men der i normalscenariet kan høstes besparelser gennem en statisk konfiguration. Forventningen er at udrulningen af Li-Ion batterier bliver en løbende process efterhånden som eksisterende blybatterier skal skiftes grundet slitage.

Vi lykkedes med at udvikle et nyt komponentkølingskoncept, hvor en serie af lokale blæstkølere med egen styring, erstattes med systemkøling, der sikrer kølingen optimeret på systemniveau.

Styring med integreret mulighed for fjernovervågning blev ligeledes udviklet med succes, men før integration af VE vil det kræve tilpasning og videreudvikling i forhold til sikring mod cyberangreb, før den kan markedsintroduceres i fuldt omfang. Den lokale styring og optimering forventes imidlertid at kunne blive markedsført sammen med løsningen til optimeret systemkøling.

Vores tests og beregninger påviste, at det er teknisk muligt at integrere lokal VE (eksempelvis solceller), men at det for nuværende kræver bedre sikring mod cyberangreb, samt optimering af business casen. Vores anbefaling til kunderne vil derfor være at afvente yderligere udvikling på dette område og for nuværende investere i optimal batterikapacitet.

Dele af projektets teknologiske outputs vil være markedsmodne (bla. nyt køledesign) efter mindre optimeringer ifbm. driftstests, mens terrorsikring kræver yderligere udvikling og optimering før markedsintroduktion af VE-integration. Resultaterne har imidlertid været så overbevisende, at der både blandt teleoperatørerne og blandt projektets kommercielle partnere er en klar fælles forståelse og vilje til, at sikre den nødvendige videreudvikling, så vi kan gennemføre en endelig produktmodning gennem testinstallationer i et større antal telesites og videreudvikling af VE-integration i fremtidige projekter.

Om end med en forsinkelse, forventer projektets kommercielle partnere således, at projektet til fulde vil indfri de estimerede kommercielle resultater når den sidste produkttilpasning og markedsmodning er tilendebragt.

6. Utilisation of project results

Teknologien udviklet i GreenSite vil blive anvendt til to formål:

- 1) Optimeringssoftware, styring og køleteknologi vil blive solgt som produkt til teleoperatører globalt, opdelt i salg af køleløsning med styring og abonnementer på hhv. styring og overvågning.
- 2) Den udviklede optimeringssoftware og erfaringerne fra tests og simulationer vil ligeledes blive anvendt forskningsmæssigt af DTU, hvor resultaterne fra GreenSite har åbnet nye, oplagte muligheder for videre forskning i multi-objective optimering, hvor der optimeres i et kompleks ned flere gensidigt påvirkende hensyn (økonomi, miljø og driftssikkerhed) med behov for gensidig balancering i et system med skiftende forudsætninger. Resultaterne vil også blive anvendt aktivt bla. i publikationer, samt på konferencer.

Energy Cool og 2operate vil udbytte projektets resultater kommercielt gennem salg til teleoperatører i Danmark og udlandet, gennem allerede etablerede salgskanaler og i første omgang primært til eksisterende kunder. Energy Cool vil sælge hardwareløsningen, mens styrings- og overvågningssoftware vil blive solgt enten som samlet pakke eller opdelt på funktioner af henholdsvis Energy Cool (som del af Energy Cloud) eller 2operate (som del af ECO-RAN). Partnerskabet i projektet har givet anledning til, at projektdeltagerne efter projektet vil undersøge nye muligheder i afsætningsmæssigt samarbejde. Begge firmaer deltager i samarbejde med dansk industri på samme messe stand i MWC- Barcelona (3-6/-2025), som er verdens største teknik messe indenfor kommunikation branchen, hvor overstående løsninger vil fremføres.

Som anført i afsnit 5, forventer vi at projektet opnår det kommercielle resultat vi forventede og anførte i ansøgningen til EUDP, dog med en mindre tidsmæssig forskydning. Salgsarbejde målrettet de største danske, Europæiske, og nord amerikanske teleoperatører er allerede igangsat.

Vi vurderer ikke, at der er væsentlige barrierer udover cyber sikkerhed for at afsætte løsninger til de første kunder, men fra erfaring ved vi, at teleoperatørerne typisk først vil teste nye løsninger på eget udstyr og i egen organisation før indkøb i større skala. Dette for at sikre driftsstabilitet og anvendelighed.

Da teleoperatørerne udleder stadigt mere CO2 grundet løbende udbygning af infrastrukturen, med stadigt mere energikrævende udstyr, oplever de et væsentligt pres for at implementere energioptimerende løsninger. Teleoperatørerne er prisfølsomme, men da vi selv ved fortsat moderate energipriser kan påvise en posi-

tiv business case indenfor få år, hvor de fra dag et kan realisere besparelser på energiforbrug OG påvise reduceret CO₂-udledning, vurderes prisen i dette tilfælde ikke at udgøre en salgsbarriere, mens deres markedssituation giver incitament til at implementere løsninger som GreenSite så hurtigt som muligt. Dermed vil teleoperatørerne aktivt kunne tage del i den nødvendige balancering af nettet, i stedet for at bidrage aktivt til at udfordre nettet, hvormed de vil understøtte den igangværende transition mod et bæredygtigt energisystem, baseret på vedvarende energi.

Projektets kommercielle partnere vil investere i en hurtig markedsudbredelse, da vi som first movere uden direkte konkurrence, håber at placere os solidt på dette nye marked, inden der udvikles konkurrerende løsninger.

7. Project conclusion and perspective

Efter projektet kan vi konkludere, at de forventninger vi havde forud for projektet, er mere end indfriet, med et resultat både på energibesparelsessiden og i forhold til den samlede business case der har levet mere end op til det forventede.

Undervejs i projektet er vi blevet ramt af, at risikoen for cyber angreb af kritisk infrastruktur er blevet langt større og langt mere alvorlig, hvilket har skærpet slutbrugernes krav til sikring mod sådanne angreb. Denne udfordring har påvirket fokus i udviklingsarbejdet og forsinket processen på delområder. Men da vores resultater i øvrigt har været særdeles robuste, vurderes denne udfordring kun at få forsinkende konsekvenser på projektets kommercielle og energipolitiske outcome.

GreenSite har styrket samarbejdet mellem projektets partnere. Samtidig har vi afdækket hver vores områder med yderligere potentiale for udvikling af- og forskning i løsninger, der vil bidrage til fortsat optimering af energiforbrug og minimering af miljøaftryk. Projektets resultater vil ligge til grund for både yderligere udvikling af løsninger til telesites, men vi vil også afdække, hvordan vi kan bruge resultaterne til at levere lige så markante resultater til beslægtede områder, såsom andre typer tekniske sites og datacentre.

TT-N: De indkøbte batterier til projektet, blev installeret på sites på Sjælland og de har i projekt perioden været brugt til tests i forbindelse med GreenSite projektet.

Efter nogle opstarts udfordringer, lykkedes det at få hver enkelt site til at reagere på eksterne signaler fra den overordnede styringsplatform,

Samt samspillet med besparelser via ECO RAN, nedlukning af sektorer har været meget lærerigt.

Som bruger af disse tekniske løsninger, har vi nu fået mulighed for at gøre de ellers stationære installationer til fleksible strømforbrugere.

Med hjælp fra det nye kølesystem, som kun bruger 20% strøm, sammenlignet med ældre systemer, kan vi forsynes køling fra samme batterier,

Så vi også kan bruge sitens samlede fleksibilitet de dage hvor der er varmt udenfor.

Vi testet og brugt systemerne til peak shavings test, hvor vi oplader batterierne om natten mellem 00 og 04 og derefter anvender strømmen i peak perioden mellem 17 og 21.

Elpriserne har i testperioden være meget fluktuerende, men vi har opnået en besparelse er ca. 1 kr per KWh i testperioden.

De sidste par måneder har vi set ekstrem høje strømpriser, og dette kan vi nu reagere på, samtidig at vi kan aflaste belastning på det overordnede net,

Samt medvirke til at flytte strømforbruget fra et tidsrum, hvor en stor del af strømmen kommer fra fossile brændsler til et andet tidsrum, hvor der er en større andel af vedvarende energi.

Selv om vi arbejder med kritisk infrastruktur, har vi kunnet gennemføre projektet, med et netværk i drift, og vi har faktisk via de data vi får fra systemet,

Mulighed for bedre at overvåge vores systemer, samtidig med at vi har fået et mindre, men mere fleksibelt strømforbrug.

Fleksibiliteten kan samtidig styres og løbende tilpasses fra eksternt system, så vi ikke behøver at køre ud til de enkelte installationer.

8. Appendices

- Bilag A - Optimization and Mathematical Modeling of Energy Management for Grid-Battery-Mast Systems
- Bilag B - Greensite Arkitektur
- Bilag C – Branding