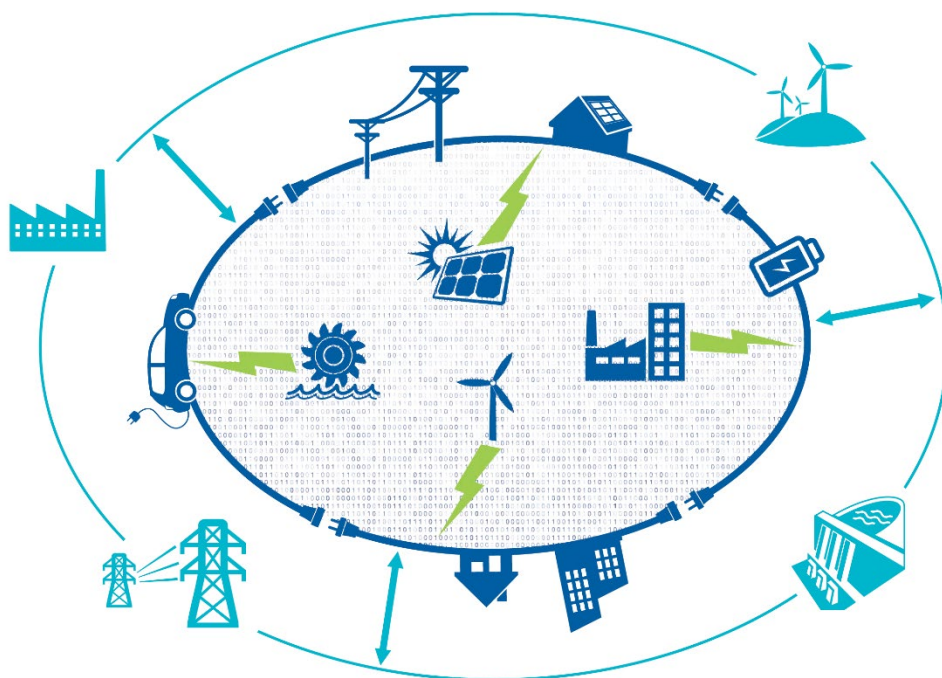


Oppsummering av pilotprosjekter i CINELDI

Authors: Silje J. Monstad og Maren Istad




CINELDI - Centre for intelligent electricity distribution

SINTEF and NTNU are the main research partners, with grid operators, technology providers, public authorities and international R&D institutes and universities as partners.


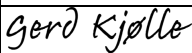

The research centre is financed by the Research Council of Norway and the Norwegian partners through the Centre for Environment-friendly Energy Research (FME) scheme. The FME scheme consists of research centres of limited duration that conduct concentrated, focused and long-term research on a high international level to solve specific challenges related to energy and the environment.



Centres for
Environment-friendly
Energy Research

TITLE
Oppsummering av pilotprosjekter i CINELDI
AUTHOR(S)
<p>Silje J. Monstad og Maren Istad</p> <p>Beskrivelse av piloter er utdrag fra sluttrapporter. Se linker i «Tabell 1: Oversikt over pilotprosjekter i CINELDI» for å finne forfatter(e) for hver sluttrapport.</p> 
EXECUTIVE SUMMARY
<p>Denne rapporten oppsummerer pilotprosjektene i FME CINELDI. Det er også gitt en kort oppsummering i denne bloggen: https://blogg.sintef.no/energi/pilotprosjekter-i-cineldi/</p>

CINELDI REPORT NUMBER	03:2025
ISBN NUMBER	978-82-594-3808-9
WORK PACKAGE	WP Pilot
CLASSIFICATION	Open

QUALITY ASSURANCE		
Main author	Silje Monstad og Maren Istad	 <small>Maren Istad (Apr 3, 2025 12:15 GMT+2)</small>
WP leader	Maren Istad	
Centre director	Gerd Kjølle	
Scientific coordinator	Vijay Venu Vadlamudi	

VERSION NO	DATE	VERSION DESCRIPTION
1.0	2025-03-31	Final version

Innholdsfortegnelse

1	Introduksjon	6
2	Sensing and Digital Monitoring	9
2.1	Smart Cable Guard (Elvia).....	9
2.2	Digital Inspection (Elvia)	10
2.3	Machine learning in grid inspection (Glitre Nett).....	11
2.4	Digital inspection (Glitre Nett).....	12
2.5	Flexible power grid by dynamic operation (Heimdall Power)	13
3	Application of AMR/Grid Data	16
3.1	Risk-Based Distribution Network Planning (Glitre Nett)	16
3.2	Probabilistic Planning Methodology (Norgesnett)	18
3.3	Development Area Molobyen (Arva)	19
3.4	Data Driven Failure Risk Assessment for Predicting Maintenance (Elvia).....	20
3.5	Creation and Use of Management Data in 3D in the field (Elvia)	20
3.6	Added value from smart meters (Aidon).....	21
3.7	Predicting peak load in secondary substations (Glitre Nett).....	22
3.8	Detection of earth fault based on data from smart meters (Elvia)	23
3.9	Condition based maintenance of substations (Glitre Nett)	24
4	Fault Handling and Self-Healing	26
4.1	New relay concept (Elvia)	26
4.2	An algorithm for self-healing (Lede).....	27
4.3	Fault indicators (Lede)	28
4.4	Fault handling and self-healing (Elvia).....	29
4.5	AGI - Artificial grid intelligence for detecting earth faults in HSP distribution networks (Glitre Nett)	30
4.6	Automated protection and contingency analysis for dynamic grid operation (Glitre Nett)	31
4.7	Production plans available for the control center (Glitre Nett)	32
5	Flexibility	34
5.1	Batteries as Voltage Support (Lnett)	34
5.2	Optimization of Local Balancing with Battery (Lede)	35
5.3	Transition To and From Island Mode (Lede)	35
5.4	Active Homes (Elvia)	36
5.5	iFleks (Statnett).....	37
5.6	Fast Frequency Reserve (Lede).....	38
5.7	NODES flexibility platform (Linja)	38

5.8	Flexibility market (Fagne)	40
5.9	Utsira: An islanded grid on an island (Fagne)	41
5.10	System for use of flexible resources (BKK)	41
5.11	Transmission and distribution coordination vis hierarchical clearing (Statnett)	42
6	Innovasjoner, konklusjoner og anbefalinger	44
6.1	Innovasjoner fra piloter	44
6.2	Konklusjoner og anbefalinger til nye pilot prosjekter	46
7	Referanser	48

1 Introduksjon

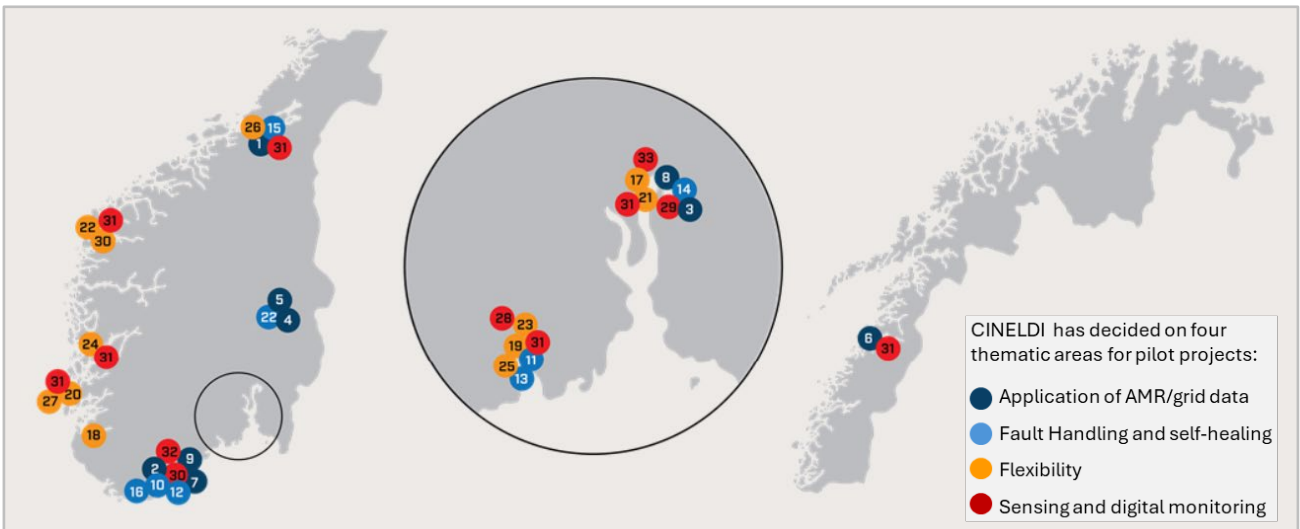
Gjennom forskningscenteret CINELDI er det gjennomført 33 pilotprosjekter i perioden 2016-2024. Pilotprosjektene har vært viktige for å utvikle og teste nye metoder og teknologi, og spre denne kunnskapen og erfaringen ut til nettselskaper og andre aktører. Erfaringene fra pilotprosjektene har blitt delt i ekspertgruppemøter, workshops, og andre forum som har vært i CINELDI.

Denne rapporten gir en oppsummering av hva som er oppnådd i pilotprosjektene, inkludert en kort oppsummering av hvert enkelt pilotprosjekt (kap. 2-5). Kapittel 6 gir en oppsummering av innovasjoner fra piloter i CINELDI, generell konklusjon fra pilotene og anbefalinger til fremtidige piloter.

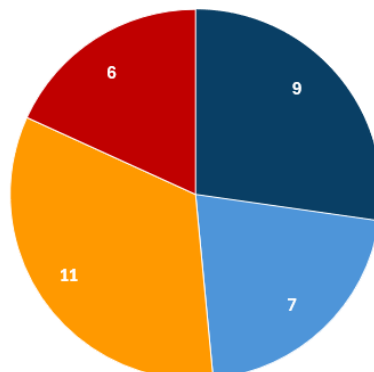
Pilotprosjektene har vært innenfor følgende tema:

- Sensing and Digital Monitoring
- Application of AMR/grid data
- Fault Handling and Self-Healing
- Flexibility

Figur 1 og Figur 2 viser henholdsvis geografisk og tematisk spredning for pilotene.



Figur 1: CINELDI-piloter med fargekoder for de ulike temaområdene.



Figur 2: Antall CINELDI-piloter innenfor hvert tema.

Oppsummeringene av pilotprosjektene er basert på tilgjengelige sluttrapporter, tilknyttede resultat- og innovasjonsark, publiserte artikler, i tillegg til presentasjoner som har vært delt i CINELDI workshops, ekspertgruppemøter, etc.

Tabell 1 gir en oversikt over alle pilotprosjektene som har vært i CINELDI, samt hvilket selskap som har ledet piloten. Diverse lenker til publisert materiell på cineldi.no eller andre åpne kilder er også lagt til i tabellen. Det er, av ulike grunner, dessverre ikke alle pilotene som har publisert dokumentasjon, og denne rapporten har videre kun informasjon om piloter med dokumentasjon.

Tabell 1: Oversikt over pilotprosjekter i CINELDI.

Kategori	Nr. i Figur 1	Pilotnavn	Selskap	Linker til publisert materiell
Application of AMR/grid data	1	Added value from smart meters	Aidon	Sluttrapport, innovasjonsark
	9	Risk-based distribution network planning	Glitre Nett	Sluttrapport, innovasjonark
	7	Predicting peak load in secondary substations	Glitre Nett	Sluttrapport, innovasjonsark
	8	Probabilistic planning methodology	Norgesnett	D. Bjerkehagen, S. Sandell, E. Haugen, I. B. Sperstad: " Flexible Load Analysis ", software, 2022. S. Sandell, D. Bjerkehagen, I. B. Sperstad: " Load analysis for evaluating flexibility needs in the planning of an industrial distribution grid ", Published in 2022 International Conference on Smart Energy Systems and Technologies (SEST), Eindhoven, Netherlands. S. Sandell, D. Bjerkehagen, B. Birkeland, I.B. Sperstad: " Dataset for a Norwegian medium and low voltage power distribution system with industrial loads ", Zenodo, 2022.
	6	Development area Molobyen	Arva	E. Øye: " A Practical Application of an Active Distribution Grid Planning Framework in Relation to a Pilot Area for New Energy Solutions ", Master Thesis, NTNU, 2021.
	4	Data driven failure risk assessment for predicting maintenance	Elvia	Sluttrapport, resultatark
	5	Detection of earth faults based on data from smart meters	Elvia	Sluttrapport, innovasjonsark
	3	Creation and use of management data in 3D in the field	Elvia	Sluttrapport
	2	Condition-based maintenance of substations	Glitre Nett	Sluttrapport, innovasjonsark
Fault handling and self-healing	15	New relay concept	Elvia	Sluttrapport , SINTEFblog: " One step closer to a self-healing grid ", T. Zerihun et al: " Two novel current-based methods for locating earth faults in unearthed ring operating MV networks ", Electric Power systems Research, vol. 213, 2022.
	14	Fault indicators and self-healing	Elvia	Sluttrapport
	11	An algorithm for self-healing	Lede	Sluttrapport (internt – link til e-room)
	13	Fault indicators	Lede	Sluttrapport (internt – link til e-room)
	10	AGI – Artificial grid intelligence for detecting earth faults in HSP distribution networks	Glitre Nett	Sluttrapport, innovasjonsark
	12	Automated protection and contingency analysis for dynamic grid operation	Glitre Nett	Sluttrapport
	16	Production Plans available for the Control Center	Glitre Nett	Sluttrapport
Flexibility	22	NODES flexibility platform	Linja	Sluttrapport, resultatark, innovasjonsark
	20	Flexibility market	Fagne	Sluttrapport
	27	Utsira: An islanded grid on an island	Fagne	Sluttrapport

	18	Batteries as voltage support	Lnett	Sluttrapport, innovasjonsark
	23	Optimization of local balancing with battery	Lede	Link til publikasjoner, Innovasjonsark (1), innovasjonsark (2)
	25	Transition to and from island mode	Lede	Sluttrapport, resultatark, innovasjonsark
	17	Active homes	Elvia	Sluttrapport, resultatark, innovasjonsark
	21	iFleks	Statnett	Sluttrapport, resultatark, PhD-thesis
	19	Fast frequency reserve	Lede	Sluttrapport, resultatark, innovasjonsark
	24	System of use of flexible resources	BKK	Sluttrapport, innovasjonsark
	26	Transmission and distribution coordination via hierarchical clearing	Statnett	Sluttrapport, Statnett rapport
Sensing and Digital Monitoring	32	Machine learning in grid inspection	Glitre Nett	Sluttrapport, innovasjonsark
	30	Digital inspection	Glitre Nett	Sluttrapport, innovasjonsark
	28	Digital inspection	ABB Electrification	Link til informasjon om prosjektet fra Pilot-E , Artikkel i Energiteknikk om prosjektet og fra Switchgear Magazine (in english).
	33	Smart cable guard	Elvia	Sluttrapport, resultatark, innovasjonsark
	29	Digital inspection	Elvia	Sluttrapport, resultatark, innovasjonsark
	31	Flexible power grid by dynamic operation	Heimdall Power	Sluttrapport, innovasjonsark 1, innovasjonsark 2

2 Sensing and Digital Monitoring

2.1 Smart Cable Guard (Elvia)

Piloten ble utført i perioden 2018-2021. Opprinnelig planlagt testperiode var kortere, men grunnet lite datagrunnlag ble testperioden utvidet flere ganger.

2.1.1 Bakgrunn for piloten

Kabelnettverket i Oslo består av flere eldre papir-isolerte kabler. Det er vanlig praksis i Norge at det ikke er overvåkning av kabler i regional- og distribusjonsnettet og eneste indikator for teknisk tilstand er derfor levealder. Dette fører til at kablene driftes etter en «operate-to-fail»-praksis. Videre er det utfordrende å lokalisere feil på kabler og det er gjerne derfor lang avbruddstid dersom feil inntreffer.

Hensikten med denne piloten var å teste konseptet [Smart Cable Guard \(SCG\)](#) som kan detektere og lokalisere feil på kabler. Teknologien er kommersielt tilgjengelig og går ut på å detektere Partial discharge (PD). PD er en indikator for svake punkt på kabler og teknologien baserer seg på å detektere høy-frekvens elektriske pulser som følge av utladning.

SCG har to hovedanvendelser:

1. Drift: Detektering og lokalisering av feil for å redusere avbruddstid.
2. Vedlikeholdsstrategi: Tilstandsovervåkning av kabler som potensielt kan bedre reinvesteringsstrategi, og derav potensielt redusere avbruddstid ved å unngå feil.

Seks systemer ble plassert ut på kabler og kabelsegmenter i Elvia sitt spenningsnett (11 kV).

2.1.2 Resultat og diskusjon

I løpet av testperioden indikerte SCG fem feil, hvorav tre av dem faktisk var feil, mens de to siste var grunnet planlagt vedlikehold. Feilene oppstod grunnet punktert kabel, skadet kabel i forbindelse med gravearbeid, og en feil med ukjent årsak. Feillokaliseringen hadde en nøyaktighet med usikkerhet på 1 %.

Det var ingen utslag på svake punkt på kablene gjennom testperioden som kunne brukes til tilstandsovervåkning (punkt 2 over). Etter piloten var det fortsatt et åpent spørsmål om dette skyldes god tilstand eller bare var uflaks, da det var svært få feil og dermed lite datagrunnlag generelt.

Ettersom kun ett aspekt ved teknologien ble verifisert, ble det vurdert at det ikke var lønnsomt å investere i teknologien på det tidspunktet. Aktuelle spin-offs som kunne bedre lønnsomheten ble vurdert, for eksempel dersom dataene kunne gi verdifull tilleggsinformasjon og brukes til dynamisk linjedimensjonering.

Elvia rapporterte også om utfordringer knyttet til hvilken avdeling internt som burde ha ansvar for systemene (vedlikehold eller driftssentralen). Dette burde vært bedre avklart internt. Av positive erfaringer var utstyret enkelt å installere og flytte. Datasystemet ble ikke integrert med SCADA i løpet av testperioden, og var derfor kun tilgjengelig via DNV-GL sin web-løsning. Systemet var også avhengig av 4G-signal, noe som kunne bli en utfordring blant annet i transformatorstasjoner.

2.1.3 Innovasjon

Nye og forbedrede prosesser knyttet til mer tilgjengelig informasjon om tilstanden i nettet. Informasjonen kan lede til redusert avbruddstid.

2.1.4 Konklusjon

Det ble verifisert gjennom piloten at SCG kan brukes til å detektere og lokalisere feil med høy nøyaktighet. Dette indikerer at teknologien kan brukes til å redusere avbruddstid i nettet. Det ble derimot ikke verifisert at SCG kan brukes som overvåkning av kablene for å gi grunnlag til bedre reinvesteringsstrategi og potensielt unngå feil. For å få et positivt kost-nytte case må sistnevnte potensial for SCG verifiseres. Ved videre bruk av systemet bør det integreres med SCADA. Etter pilotperioden ble avsluttet valgte Elvia å beholde de eksisterende systemene og overførte ansvaret for systemene internt til driftssentralen fremfor vedlikehold.

2.2 Digital Inspection (Elvia)

Piloten ble utført i tidsrommet Q3 2019-Q4 2021.

2.2.1 Bakgrunn for piloten

Det er utfordrende å vurdere tilstanden i nettet og avvik oppdages derfor ved feil eller manuell inspeksjon. Vanlig praksis ved feil er at driftssentralen får beskjed fra vern i overliggende nett, og etter normal praksis blir mannskap sendt ut til «en og en» nettstasjon for å lete etter feilen. Dette er gjerne en tidkrevende øvelse. Manuell inspeksjon av nettstasjoner utføres en gang hvert år, etter anbefalt praksis av REN.

Hensikten med denne piloten var å teste om bruk av sensorer kunne føre til en betydelig bedre overvåkning av nettutstyret og samtidig redusere behovet for manuell befarings. Det var ønskelig å samle inn data for temperatur, samt sensorer som kunne bidra til økt nærhet (proximity) til nettstasjonen ved å for eksempel fange opp bryterposisjon, åpen/lukket/låst dør, deteksjon av vann, etc.

Hovedpotensialet til bruk av sensorene:

1. **Temperaturmåling:** Kan bidra til raskere feillokalisering ved å gi signal om unormalt høy temperatur og dermed bidra til effektiv feilretting. I tillegg kan det gi bedre grunnlag for å detektere avvik, og gi bedre beslutningsgrunnlag for vedlikehold.
2. **Nærhet:** Kan gi et bedre grunnlag for å vurdere behov for inspeksjon av nettstasjonen.

Totalt ble det installert sensorer på 39 nettstasjoner, samt noen enkelte caser. 47 sensorer på dør, 21 på nullpunktsikring, 43 vannsensorer, 10 låsesensorer, 11 for støv, 6 for fuktighet, og 179 for temperatur. Sammenlagt ble det plassert ut 325 sensorer.

2.2.2 Resultat og diskusjon

Gjennom piloten ble det verifisert at sensorene fungerte bra, men enkelte sluttet å fungere uten noen klar årsak, og det ble antatt at de ikke tålte å stå i miljøet. Det var positive erfaring knyttet til å installere sensorene og sette opp kommunikasjon.

Aspektet med behov for manuell inspeksjon ble tatt ut tidlig i testperioden, da det ble vurdert at man måtte validere sensorene før en i det hele tatt kunne si noe om hvordan de kunne erstatte manuell inspeksjon.

Potensialet for bruk av sensorene ble ikke oppnådd gjennom piloten. Det ble tydelig at det å overvåke nettutstyr ikke bare handlet om å samle inn data, man måtte også ha både kunnskap og systemer for hvordan man skulle tolke og respondere på informasjonen. For eksempel må det settes havarigrenser eller varslingsgrenser i forhold til temperaturnivå for de ulike komponentene. Hvordan de interne prosessene skulle foregå var heller ikke avklart da testperioden startet, hvor det ikke var klart om det var vedlikehold eller driftssentralen som skulle vurdere den nye informasjonen.

2.2.3 Innovasjon

Det ble utviklet en applikasjon for å fremvise dataene på dashbord. Applikasjonen kan gjenbrukes for andre typer sensorer. Informasjonen kan potensielt brukes som beslutningsstøtte for å drifte nettet.

2.2.4 Konklusjon

Gjennom piloten ble det verifisert at det var enkelt å installere sensorer og fremvise informasjonen. Grenseverdier for temperaturnivå må utvikles og implementeres med varslingssystem dersom dataene skal kunne bidra til drift av nettet. Om sensorene på sikt kan erstatte manuell inspeksjon er fortsatt ubesvart.

2.3 Machine learning in grid inspection (Glitre Nett)

Piloten ble utført i tidsrommet Q3 2021- Q4 2024.

2.3.1 Bakgrunn for piloten

Glitre Nett drifter et stort nett. Master, stolper og påmontert utstyr er en del av vedlikeholdsprosessen hvor feil og mulige farer vurderes basert på visuell inspeksjon. Dette gjøres per i dag ved at vedlikeholdsingeniører/sommerstudenter ser på dronebilder av mastene. Dette er et manuelt arbeid som både er tidkrevende og ressurskrevende. I tillegg kan menneskelige feil føre til feilaktige konklusjoner og dermed redusert kvalitet i arbeidet. Bildeanalyse ved hjelp av maskinlæring kan automatisk detektere og kategorisere feil. Dette kan redusere mengden bilder inspektørene må se gjennom og kunne prioritere hvilke feil som bør behandles først. På denne måten kan kritiske feil detekteres tidlig.

I denne piloten har Glitre Nett hatt to pilotpartnere for å prøve ut eksisterende løsninger i markedet. Vi har undersøkt hvordan de lar seg integrere med Glitre Nett sine IT-systemer og vedlikeholdsprosesser. Samt å evaluere nytteverdien av bildeanalyse i anleggsforvaltning. Bildeanalysen må fungere slik at man får et akseptabelt nivå av feilklassifisering og det må samtidig være lett å ta i bruk i vedlikeholds prosessen. Hypotesene som ligger til grunn, er at bildeanalyse i anleggsforvaltning skal bidra til:

- Lavere kostnader i vedlikeholdsprosessen
- Bedre forsyningssikkerhet, og dermed redusert KILE-kostnad
- Forbedret HMS (reduert risiko for skade)

Inspektørene ser etter mange forskjellige feil. Da piloten ble gjennomført var ikke algoritmene modne for alle feilene. I samråd med pilotpartnere og våre inspeksjonsingeniører ble man enige om å prøve å automatisk detektere følgende feil:

Isolator: Skade / Sprekk / Avskalling
Travers: Skadet / Skjev / Råte / Rust
Stolpe: Manglende Topphatt
Stolpe: Hakkespett hull
Stolpe: Råte / Maur / Sopp / Skadet

Det ble valgt ut bilder i områder hvor man hadde en høy forekomst av disse feilene.

2.3.2 Resultat og diskusjon

Piloten hadde tre delaktiviteter. Delaktivitet 1 var test og integrasjon og vedlikeholdsprogramvare. Testen av programvaren ble gjort av to vedlikeholdsingeniører. De brukte programvaren med forslag fra KI-algoritmen. Tilbakemeldingen fra disse var at KI kunne finne topphettene på en god måte i et datasett med 400 bilder. Og at det var lett å legge til avvik og sortere avvikene i programvaren. KI algoritmen gjorde en del logiske feil. Blant annet ble linjer fanget opp som sprekker og det ble funnet sprekker i ståltraverser hvor dette ikke gir mening. KI-algoritmen foreslo avvik på sprekker i master som ikke ble ansett som

problematiske sprekker. Dermed ble det unødvendige mange annoteringer fra KI. KI-algoritmen klarte ikke alltid å skille mellom hakkespetthull og sprekk, disse kom om hverandre. Det var også litt funksjonalitet i programvaren som kunne vært forbedret, blant annet med kartfunksjonaliteten og hvordan KI-forslagene beveger seg etter hvert som man avkrefter feilen. Generelt gjorde ikke de tilgjengelige KI-algortimene på dette tidspunktet jobben til ingeniørene noe lettere. Delaktivitet 2 var test av KI-modeller med 4000 master fra to ulike leverandører, mens delaktivitet 3 var tilsvarende test med oppdaterte modeller. Manglende topphette var greit å finne, mens andre feiltyper var vanskeligere.

2.3.3 Innovasjon

Gjennom pilotperioden utviklet de to leverandørene enda bedre algoritmer. Det er innført en ny arbeidsprosess hos Glitre Nett. Leverandør som leverer dronetjenester og data (bilde, LiDAR, termografering), bruker KI som del av jobben de utfører. Dette fører til at Glitre Nett har endret sine prosesser ettersom det ikke lengre er behov for å leite igjennom underlaget på samme måten som tidligere.

2.3.4 Konklusjon

Gjennom denne piloten er det testet om KI-algoritmer kan brukes for å spare tid, kost og minske HMS risiko i vedlikeholdsprosessen. Algortimene som ble utviklet i pilotprosessen er enkle å implementere i vedlikeholdsprosessen. Det lot seg teknisk gjøre med den dataarkitekturen som Glitre Nett har. Gjennom pilotprosjektet er det skjedd en forbedring av algortimene. Algortimene viser potensiale for å kunne spare tid, kost og minske HMS risiko i vedlikeholdsprosessen. Glitre Nett ser at KI baserte annoteringer gir mulighet for å finne feil raskt. Dette vil minske risiko for alvorlige feil og risiko knyttet til HMS. Samtidig vil ikke dette erstatte manuelt arbeid, heller støtte og effektivisere det.

2.4 Digital inspection (Glitre Nett)

Piloten ble utført i tidsrommet Q2 2020 – Q4 2024.

2.4.1 Bakgrunn for piloten

Glitre Nett har i dag (2020) ingen overvåking av komponenter eller miljø i nettstasjoner. Sjekking av dører, temperatur, luftfuktighet og annet krever fysisk besøk. Hovedmålet er å teste og evaluere hvilken nytteverdi overvåking med ulike sensorer i nettstasjon vil gi. Et annet mål er å avklare om teknologi fra Disruptive Technologies er egnet for overvåking av komponenter i nettstasjon. 39 nettstasjoner ble utstyrt med sensorer som måler temperatur, dørovervåking, overvåking av luftfuktighet og vannivå. Virtuell temperatursensor er basert på en AI-modell som estimerer temperatur på transformatorelement. Modellen tar flere inputverdier, blant annet elektrisk belastning (kVA), merkeytelse (kVA), type nettstasjon (mast/kiosk/bygg) og omgivelsestemperatur (grader).

2.4.2 Resultat og diskusjon

Erfaring med sensorer:

- Sensorer og nettverk for innsamling av data har vist seg å være relativt stabilt. Det har vært noen utfordringer med dataleveranse underveis: Avbrudd i strøm eller kommunikasjon kan føre til at lengre perioder blir uten data. Sensorer kan bli skadet og slutte å fungere underveis, dette har blant annet skjedd med temperatursensorer. Sensorer kan forsvinne ved ombygging av nettstasjon.
- Korrekt montasje av sensorer er viktig for å få pålitelige data.
- Veksling mellom sol og skygge vil kunne ha stor påvirkning på temperaturmålinger, og kan føre til støy eller feilaktig grunnlag for trening av ML-algoritmer.

Erfaring fra utvikling av ML-algoritmer:

- Kjennskap til det fysiske anlegget er sentralt for å forstå hvilke «features» (input-verdier) som må tas med.
- Trening av modeller er tidkrevende, og feil/mangler i dataunderlaget påvirker resultatene merkbart.

2.4.3 Innovasjon

Bruk av temperaturmåling til oppfølging av vedlikehold er innført hos Glitre Nett og det er utviklet ML-metode for virtuell temperatursensor. Det er også laget 3 stk. PowerBI-løsninger for visning og analyse av data.

2.4.4 Konklusjon

Nytteverdi av ulike sensorer:

Type	Nytteverdi	Kommentar
Temperatursensor	Høy	Viser termisk kapasitet for en komponent, som er en vital indikator på komponentens evne til å levere energi.
Dørsensor	Lav	Mange falske positive. Dørsensor viser kun åpen/stengt dør, ikke om døren er låst eller ikke.
Vannsensor	Lav	Gir utslag når vannet har trengt inn, som er noe sent.
Luftfuktighetssensor	Lav	Gir ikke sikker indikasjon på uønsket situasjon.
Virtuell temperatursensor	Middels	ML-modell for virtuell temperatursensor er ikke robust nok. Arbeidet har imidlertid gitt viktig læring.

Det er ønskelig å videreføre sensorer på et utvalg av nettstasjoner. Dette er delvis for å overvåke spesielt utsatte komponenter i nettet, samt delvis for å samle data som kan brukes til utvikling av virtuelle sensorer. Det er ikke planlagt fullskala implementering av sensorer i nettstasjoner. Dette skyldes først og fremst at det kun er et fåtall nettstasjoner (noen få prosent) som trenger instrumentering, samt at det er vesentlige kostnader med instrumentering og drift av et sensor-nettverk.

2.5 Flexible power grid by dynamic operation (Heimdall Power)

Piloten ble utført i tidsrommet Q3 2021 til Q4 2024.

2.5.1 Bakgrunn for piloten

I dag er de fleste strømnnett driftet basert på statiske driftsgrenser og erfaringsbaserte modeller og prognoser, med relativt få kilder til sanntidsdata. Overføringskapasiteten i det norske strømnettet er presset og med økt elektrifisering fremover vil det være behov for å øke kapasitet for å tillate tilknytninger av nytt forbruk. Bygging av nytt nett tar tid, samtidig som antall søknader for nye tilknytninger har økt drastisk de seneste årene. Det er nødvendig å utnytte det eksisterende strømnettet mer effektivt for å møte det store behovet for elektrifisering. Bedre utnyttelse av eksisterende strømnnett kan gjøres gjennom digitalisering så nettselskapene får sanntidsdata om tilstanden til nettet og bedre utnytte kapasiteten i nettet ved å drifte det tettere opp mot de reelle kapasitetsgrensene. Et digitalisert nett vil også gi nettselskap mulighet til å drifte nettet mer dynamisk og med mer automatiserte prosesser, som vil være viktig i et fremtidig kraftsystem som blir mer og mer komplekst.

Prosjektet har vært organisert i 6 forskjellige delpiloter der hvert nettselskap har hatt sin delpilot. Totalt har 102 linjesensorer fra Heimdall Power kalt Neuroner, blitt installert på totalt 19 linjer og 325 km nett, på spenningsnivå fra 22 kV til 132 kV. De 6 norske DSOene som har vært med er Arva, BKK, Fagne, Linja, Lede og Tensio TN. Statnett som systemansvarlig var også med i piloten.

2.5.2 Resultat og diskusjon

For nettselskapene har piloten gitt verdifull innsikt i potensialet for økt kapasitetsutnyttelse ved bruk av DLR, noe som også var målet for piloten. De konkluderer videre med at det gjenstår arbeid for å kartlegge hvordan de skal kunne utnytte denne ekstra kapasiteten. DLR varierer mer sammenlignet med statiske grenser, noe som er forventet, og nettselskap må endre måten de både drifter og planlegger nettutbygging for å hente ut dette potensialet. Får de dette til vil det lede til reduserte kostnader, potensielt utsatte eller unngåtte investeringer, raskere tilknytning av kunder og mer fornybar kraft inn på nettet. Teknologi og avanserte systemer vil støtte nettselskap til å få til denne omstillingen og være bedre rustet på fremtidens utfordringer.

Forutsetning for måloppnåelse for prosjektet var at man fikk et mangfold av nettselskaper med ulike problemstillinger og behov. Dette ville gi en innsikt i hvordan instrumentering i stor skala med sensorer fra Heimdall Power kunne fungere på ulike type nett, forskjellige spenningsnivåer, hvordan det løser ulike problemstillinger og hvordan det passer inn i ulike måter å drifte nettet på.

2.5.3 Innovasjon

Det var mye innovasjon i denne piloten. Her er noen eksempler. Heimdall-klienten (utviklet av Linja i forbindelse med prosjektet) er en tjeneste som fungerer som et mellomledd mellom Heimdall Power API og SCADA-systemer. Den kjører på en Windows Server og henter sanntidsdata om strøm og spenning fra Heimdall Power Cloud API. Dataene overføres til SCADA-systemet ved hjelp av IEC 60870-5-104-protokollen. Heimdall-klienten integreres med HeimdallPower.CloudApi.Client og bruker lib60870.NET-biblioteket for å kommunisere i sanntid med SCADA-systemet. Kode skrevet for Linjas Heimdall-klienten og metodikk for integrasjon er delt med BKK og tilpasset for integrasjon mot deres SCADA system.

I samarbeid med Arva utviklet Heimdall Power en ny type funksjonalitet for N-1 overvåkning. På kort tid hadde partene iterert seg frem til en god løsning som ble implementert i Heimdall Cloud. Denne ble testet av Arva over en periode og brukt som underlag i diskusjoner med Statnett, som er driftsansvarlig i området..

Heimdall Power har basert på tilbakemelding fra kunder, deriblant Lede, utviklet funksjonalitet i Heimdall Cloud som gir muligheten til å sette temperaturgrenser på individuelle spenn. Pga. lav klaring til bakken kan linjer ha individuelle spenn med annen maksimal temperaturgrense enn linjens dimensjon. Disse spennene vil derfor være begrensende for kapasiteten i hele linjen. Med denne funksjonaliteten i Heimdall Cloud kan nettselskap ta hensyn til dette og drifte etter riktige grenser uten å overskride klaringskrav. Denne funksjonaliteten ble brukt av Lede i prosjektet og er også aktivt tatt i bruk av 5 andre nettselskaper internasjonalt både i Europa og USA.

Som følge av erfaringene gjort med droneinstallasjon i prosjektet, har Heimdall Power videreutviklet dette til en tjeneste de leverer for installasjon av Neuroner. Utenfor CINELDI prosjektet som fullførte 5 installasjoner, er nesten 200 Neuroner installert med drone opp til 380 kV og internasjonalt. Droneinstallasjon representerer nå hovedmetoden for installasjon av Neuron.

2.5.4 Konklusjon

Målsetningene med piloten ble i varierende grad oppnådd, ettersom et fåtall av pilotene dekket et større nettområde med tilstøtende linjer som driftes i sammenheng. Dette har nok sammenheng med at nettselskapene hadde i ulik grad av erfaring med bruk av DLR og at mange derfor hadde behov for først å teste i mindre skala på enkeltlinjer før en større utrulling ville være hensiktsmessig for dem. Innsikten fra disse pilotene har likevel gitt nyttig innsikt også inn i et systemperspektiv. De pilotene som dekket større deler av regionalnettet og over flere regionalnettsnitt avdekket tydelige gevinster i form av dokumentert redusert behov for spesialregulering og helhetlig nytte for nettselskapet.

Som følge av denne innsikten blir overvåkning av kapasitet på et systemnivå tatt videre i nye forskningsprosjekter som NextGrid der dette systemperspektivet er løftet videre inn i et samspill med andre kapasitetsøkende løsninger og konsepter. Fagne har blant annet tatt prosjektet videre med en storskala instrumentering av hele regionalnettet som del av NextGrid. Videre tas lærdommen av en storskala pilot med i SecurEL, der man har sett verdien av å ha mange partnere med i en felles pilot som del av et forskningssenter som CINELDI har vært.

3 Application of AMR/Grid Data

3.1 Risk-Based Distribution Network Planning (Glitre Nett)

Piloten ble utført av i Q12020-Q42022.

3.1.1 Bakgrunn for piloten

For fremtidig dimensjonering av strømnettet er det viktig å anvende gode metoder ved effektanalyse. I dag blir det i hovedsak tatt utgangspunkt i Velanders formel og brukstid som grunnlag for dimensjonering av nettet. Dette er en deterministisk metode, og tar ikke høyde for sannsynlighet for ulike hendessscenarier, og gir for eksempel ikke informasjon om når maks-effektuttak er forventet å skje. Utrullingen av AMS-målerne har gjort at nettselskap har mulighet til å analysere enkeltkunders faktiske forbruk med høy oppløsning. Ved å bruke denne informasjonen kan det være mulig å etablere nye metoder for beregningene av datagrunnlaget som brukes for dimensjonering av strømnettet. Det har blitt gjennomført analyser av effektvariasjon som gir grunnlag for å utvikle ny modell for dimensjonering. Utvikling av selve modellen har ikke vært målsetning for pilotprosjektet. Det har blitt fokusert på følgende fire problemstillinger/tema:

1. Analyse av stokastisk modell for lastmodellering
2. Analyse av effektvariasjon innenfor en time
3. Estimering av maksforbruk hos husholdningskunder i Glitre Nett via maskinlæringsmodeller og andre algoritmer
4. Vurdering av verdi av 30-sek data (mot 5-min data) fra nettstasjon

Det har blitt brukt statistiske metoder og maskinlæring i gjennomføring av arbeidet. Piloten gir innsikt i variasjon for elektrisk effektuttak på ulike punkt i nettet; for sluttbrukere og i nettstasjoner.

I lengre tid har Velanders metode vært rådende standard for estimering av maks effektuttak, men en stokastisk metode har blitt foreslått i Erling Tønne sin doktorgradsavhandling fra 2017 [1]. I første del av dette pilotarbeidet har denne metoden blitt undersøkt, analysert og forbedret. Konklusjonen er at det er tidkrevende å finne en tilpasset sannsynlighetsmodell per kunde, og resultatene i våre analyser fant ingen sannsynlighetsmodell som utpreget seg som «en god tilpasning» for alle.

Videre har ulike andre metoder for estimering av maksimalt effektuttak (timesverdier) har blitt analysert, her fremstår lineær regresjon som den beste metoden. Videre viser piloten hvordan momentant effektpådrag varierer innenfor en klokkeperiode, og at timesverdier her skjuler vesentlige variasjoner. Det demonstreres også at 5-minuttsverdier gir vesentlig mer innsikt i effektvariasjoner enn timesverdier, men at 30-sekundsverdier kun gir marginal gevinst over 5-minuttsverdier.

3.1.2 Resultat og diskusjon

1) Analyse av stokastisk modell for lastmodellering: Etter fremstilling av modellert forbruk ved bruk av stokastisk lastestimering og Velanders formel, sammenlignet med faktisk forbruk, viste resultatene at den stokastiske metoden traff bedre enn Velanders metode. Den stokastiske metoden over-estimerte derimot ofte. I piloten ble det derfor testet ulike kombinasjoner av tilnærminger til den stokastiske lastmodellingsmetoden for å se om disse estimerte bedre. I den forbindelse ble det laget forslag til forbedringer og ny metodikk ved bruk av modellen som ble utviklet i doktorgradsarbeidet til Erling Tønne. Konklusjonen er at det er tidkrevende å finne en tilpasset sannsynlighetsmodell per kunde, og resultatene i våre analyser fant ingen sannsynlighetsmodell som utpreget seg som «en god tilpasning» for alle. En løsning kan derfor være å trekke justeringsverdier til den stokastiske modellen direkte fra et histogram i stedet for fra en sannsynlighetsmodell. En periodeinndeling for de stokastiske justeringene viste seg å være nyttig, hvor man f. eks gjør en to-inndeling av året, og trekker stokastiske justeringer fra avvik som er basert på fra og med april til oktober (sommer) for timesverdier i det intervallet, og gjør tilsvarende for

timesverdier fra og med november til april (vinter). Resultat av arbeidet er oppsummert form av rapport [2] og presentasjon [3].

2) Analyse av effektvariasjon innenfor en time. Følgende hypoteser ble undersøkt i arbeidet med å se på effektvariasjon innenfor en time:

Hypotese 1: Husholdnings- og fritidskunder har relativt lik effektvariasjon innenfor en time.

Konklusjon: NEI, mer variasjon hos fritidskunde

Hypotese 2: Husholdnings- og næringskunder har relativt lik effektvariasjon innenfor en time.

Konklusjon: JA, dette viser seg å stemme.

Hypotese 3: Det er ulik variasjon i høylast-, lavlast-, og normallasttimene.

Konklusjon: JA, mindre variasjon ved høy last

Regel: Sikring hos kunde bør tåle 2x maks timesverdi

FoU-spørsmål: Hvilken verdi gir 10-sek effektdata ut over 5-min effektdata?

Konklusjon: $PC_{99}F_{10s} \sim PC_{99}F_{5m}$ i høylast og normallast: 99-prosent percentiler er tilnærmet like for 10-sek data og 5-min data i høylast og normallast. Dette betyr at behovet for å samle inn 10-sek data kun er til stede i spesielle situasjoner som for eksempel ved kundeklager.

Arbeidet er dokumentert i CINELDI-rapport [4] og har blitt presentert på webinar i CINELDI [5].

3) Estimering av maksforbruk hos husholdningskunder i Glitre Nett via maskinlæringsmodeller og andre algoritmer. Denne aktiviteten har som formål å vurdere ulike metoder for estimering av maks effekttuttak.

Følgende metoder blir vurdert:

- Velanders formel (historisk maks)
- Lineær regresjon (Lin.Reg.OLS og Lin.Reg.SGD)
- Maskinlæring (beslutningstre, CATBoost og XGBoost)

Estimater fra de ulike metodene sammenlignes med målte verdier, der MSE (Means Square Error) og ME (Mean Error) brukes som mål for avvik.

Resultat:

- Lineær regresjon viser seg å gi best resultat, med lavest verdi både for MSE og ME. Dette er positivt da dette er en enklere metode enn maskinlæringsmetodene (krever mindre dataunderlag, forarbeid og regnekraft).
- Maskinlæringsmetoder treffer gjennomsnittlig bra (lav ME), men har stor variasjon i avvikene (forholdsvis høy MSE)
- Velanders metode (historisk maks) har ME på hele 0,608. Dette betyr at i gjennomsnitt estimerer denne metoden maksforbruket til å være 0,6 kWh/h lavere enn det faktiske maksforbruket. Dette kan forklares med at maksforbruket hos husholdninger har gått opp de siste årene som følge av mer effektkrevende utstyr, men parameterverdiene i Velanders modell har ikke blitt justert tilsvarende.

Arbeidet er dokumentert i CINELDI-rapport [6] og har blitt presentert på webinar i CINELDI [5].

4) Vurdering av verdi av 30-sek data (mot 5-min data) fra nettstasjon. Glitre Nett henter inn 5-min data (strøm og spenning) fra nettstasjoner. Dette gir uvurderlig innsikt i dynamiske egenskaper i strømforbruket, og er godt egnet til å fange opp variasjoner som ellers vil gå tapt dersom man baserer seg på timesmåling. Spørsmålet er om 5-min oppløsning er godt nok, eller om man også går glipp av variasjoner (topper/dipper i strøm og spenning) som man ville ha fanget opp basert på målinger med høyere frekvens.

I dette arbeidet er 5-min verdier sammenlignet med 30-sek verdier for å undersøke hvor mye mer man kan oppdage og avdekke. Resultater viser at 30-sek verdier bidrar med marginalt mer innsikt, men ikke så mye at det vil være kostnadseffektivt å oppgradere alle målinger til 30-sek verdier. Årsaken til dette ligger i dynamiske egenskaper til den underliggende energiflyten; variasjonen i spenning- og strømverdier er ikke

så stor at man får vesentlig innsikt ved å gå fra 5-min til 30 sek måleintervall. Dersom man ønsker å gå til høyere dataoppløsning vil det kreve installasjon av utstyr for måling og datainnsamling, og gevinsten med høyere tidsoppløsning er ikke stor nok til å forsvare kostnaden. Arbeidet er dokumentert CINELDI-rapport [7].

3.1.3 Innovasjon

Piloten gir vesentlig ny innsikt i variasjon og dynamikk i elektrisk effektpådrag. Dette gir grunnlag for å utvikle nye modeller som kan erstatte Velanders formel som metode for estimering av maks effektuttak. Videre gir piloten innspill og underlag til nye prosjekt som for eksempel [FORSEL](#).

3.1.4 Konklusjon

Det ble vurdert at stokastisk lastmodellering er et interessant spor videre, men at mer arbeid med metodikken, analyser og tilpasning av modellen må gjøres før metoden kan tas i bruk og bidra til fremtidig dimensjonering av strømmettet. Nytt fra piloten kommer i form av ny innsikt:

- Statistiske metoder er best for estimering av maks effektuttak for enkeltkunder
- Velanders formel underestimerer faktisk kapasitet
- Det momentane effektuttaket er rundt regnet 2x timesgjennomsnitt i høylastperioder
- 30-sekundsverdier gir marginal ekstra nytte i forhold til 5- minuttverdier, og oppgradering til 30 sek måleintervall vil ikke være en aktuell investering for Glitre Nett.

Den direkte nytten av dette er bedre grunnlag for kapasitetsvurderinger ved analyse og planlegging av nye tilknytninger i eksisterende nett og ved bygging av nye nett.

3.2 Probabilistic Planning Methodology (Norgesnett)

Piloten ble utført i tidsperioden 2020-2022.

3.2.1 Bakgrunn for piloten

Nettselskap bruker typisk tradisjonelle metoder slik som brukstid og varighetskurver for å modellere lastbehov som legges til grunn ved nettplanlegging. Med et stadig mer presset nett og økende etterspørsel etter tilknytning er det viktig å se på muligheter for å utnytte eksisterende nett bedre ved benytte fleksibilitet. Nettselskap må derfor identifisere behovet for fleksibilitet i deres nett.

Hensikten med denne piloten var å se om tilgjengelige AMS-data kunne brukes til å forbedre nettplanleggingen og lettere bidra til å identifisere behovet for fleksibilitet. For å undersøke problemstillingen ble timebaserte AMS-data fra Øra Industriområde i Norgesnett analysert.

3.2.2 Resultat og diskusjon

Gjennom piloten ble det foreslått en metodikk for å kvantitativt karakterisere behovet for fleksibilitet i distribusjonsnettet basert på AMS-data. Analysene viste at sammenlignet med tradisjonelle lastmodelleringsmetoder som nettselskapene gjerne bruker i dag, kunne timebasert AMS-data i større grad beskrive når fleksibilitet var nødvendig, samt hvor mye energi og effekt som var behovet og varigheten for behovet.

Koden som ble utviklet ble publisert åpent tilgjengelig på GitHub og kan brukes for å pre-prosessere og håndtere historiske forbruksdata i et område, analysere behovet for fleksibilitet, samt kjøre «what-if» analyser og sjekke mulig tilknytning av nye sluttbrukere.

3.2.3 Innovasjon

Nye og forbedrede prosesser for nettplassering ved probabilistiske beregningsmetoder.

3.2.4 Konklusjon

Piloten har bidratt til å etablere en ny metodikk for å kvantitativt karakterisere behovet for fleksibilitet i distribusjonsnett basert på AMS-data. Dette kan resultere i at nettplasseringen blir mer effektiv og at reinvesteringer utsettes.

3.3 Development Area Molobyen (Arva)

Piloten ble utført i perioden 2020-2021.

3.3.1 Bakgrunn for piloten

Tradisjonelt har nettet blitt dimensjonert basert på worst-case lastforhold (topplasttiden), som i Norge typisk er den maksimale lasten på en kald vinterdag. Med distribuert energiproduksjon og lokal energilagring, vil dette kunne utfordre den tradisjonelle nettplasseringen ved at de maksimale lastforholdene gjerne opptrer på andre tidspunkt enn tidligere og er av annen størrelsesorden.

Hensikten med denne piloten var å teste nye metoder for planlegging av aktive distribusjonsnett. Et nabolag i Bodø som var planlagt til å være et nullutslippsnabolag, kalt for Molobyen, ble brukt som case for piloten. Energibruken i nabolaget var planlagt basert på PV og fjernvarme.

Arbeidet ble utført i en masteroppgave på NTNU våren 2021.

3.3.2 Resultat og diskusjon

Gjennom piloten ble det etablert et rammeverk for nettplassering som inkluderer elementer fra tradisjonell nettplassering, men også planlegging av aktive distribusjonsnett i forskningslitteraturen. Rammeverket som ble utviklet inkluderer last og produksjon modellering fra FME ZEN, en modell for optimal drift av nabolagsbatterier, tidsserier for lastflytanalyse basert på det kommersielle NETBAS-verktøyet, og optimalisering av nettutviklingsplaner ved bruk av et tidligere utviklet SINTEF-verktøy, DYNKO.

Resultatene fra masteroppgaven viser at nettplasseringen, når distribusjonsnett inkluderer PV og fjernvarme, reduserer den dimensjonerende lasten drastisk (i dette tilfellet fra 3.93 MW til 0.61 MW). Ettersom oppvarming blir dekket av fjernvarmenettet, er det PV produksjonen som blir den dimensjonerende faktoren for distribusjonsnett.

3.3.3 Innovasjon

Nye og forbedrede prosesser for nettplassering i aktive distribusjonsnett

3.3.4 Konklusjon

Analysene utført i piloten viste at design og dimensjonering av elektriske distribusjonsnett bør hensynta designet av det interne energisystemet i nabolaget, og samspillet mellom energiforbruk og energikilder. Dimensjoneringen og designet av det elektriske og termiske nettet er avhengig av hverandre slik at ulike løsninger bør utformes i designfasen.

3.4 Data Driven Failure Risk Assessment for Predicting Maintenance (Elvia)

Piloten ble utført i perioden 2020-2022.

3.4.1 Bakgrunn for piloten

Hensikten med denne piloten var å teste en ren datadrevet tilnærming til prediktivt vedlikehold ved bruk av dataanalyse og risikobasert tilnærming for å avgrense og prioritere vedlikehold. Målet var å kunne forutsi feil basert på data som allerede var tilgjengelig, men som lå urørt i datasystemet. I piloten var det ønskelig å kunne forutsi hvilke komponenter som ville feile det neste året.

For å besvare spørsmålet skulle Elvia bruke FASIT-rapportene som en kilde til feil som de har hatt erfaring med i nettet. Videre var det interessant å hente inn informasjon om variabler som kunne ha potensial til å forklare feilene, slik som: NIS, vedlikeholdsstatistikk, SCADA-hendelser, AMS og andre mulige helseindekser eller tilstandsindikatorer. En maskinlæringsmodell skulle så trenes for å klassifisere forekomsten av feil.

3.4.2 Resultat og diskusjon

Målet om å forutsi hvilke komponenter som ville feile det neste året ved bruk av maskinlæring ble ikke oppnådd under pilotperioden. Et sentralt hinder var at nødvendige data ikke var tilgjengelig. FASIT-data var enkelt å få kontroll på, men data som var generert hos driftssentralen var ikke like lett å få tak i.

Det kom likevel verdifull erfaring ut av piloten, der Elvia fikk økt kunnskap om bruk av data for andre formål enn hva de i utgangspunktet ble samlet inn for. Blant annet har ansvarlige for FASIT-rapportering sett hvordan denne type data kan bli brukt til annet enn bare rapportering, noe som gir god motivasjon for å øke datakvaliteten.

3.4.3 Konklusjon

Piloten ble avsluttet før prosjektmål ble nådd på grunn av utfordringer med data, det ble likevel gjort gode erfaringer som kan forbedre prosesser ved at ansvarlige for FASIT-rapportering ser nytteverdien utover kun data til rapportering.

3.5 Creation and Use of Management Data in 3D in the field (Elvia)

Piloten ble gjennomført i perioden Q4 2022- Q1 2024.

3.5.1 Bakgrunn for piloten

Som følge av at mye nytt ledningsnett legges som kabel i bakken, trådte Ledningsregistreringsforskriften i kraft fra juli 2021. Forskriften skal sikre at ledninger som legges i bakken blir dokumentert på en måte som hindrer fremtidig skade, for eksempel ved gravearbeid, samt åpne for mer smidig samhandling mellom aktører som skal planlegge eller jobbe nær anlegg i bakken. Forskriften krever dokumentert geografisk plassering av ledning med en nøyaktighet på 20-40cm og tilhørende bilde som viser dokumentert ledning. Forskriftsmessig dokumentasjon er derfor kun mulig når grøft fortsatt er åpen, som gjerne er et tidsrom som skal være så lite som mulig.

Hensikten med piloten var å endre metode og prosess for å samle inn og presentere data fra/i felt. Piloten hadde som mål å teste og verifisere hypotesen om at en håndholdt enhet (som mobiltelefon/nettbrett/kamera med LiDAR-teknologi/360-bilde) kan erstatte behov for landmålingsutstyr, og dermed gjøre dokumentasjonsprosessen enklere og billigere ved at personell som allerede er på anleggsområdet når grøften er åpen kan dokumentere i henhold til Ledningsregistreringsforskriften. Et

annet mål med piloten var å visualisere den innsamlede informasjonen tilbake i felt, for eksempel gjennom AR (Augmented Reality) eller VR (Virtual Reality).

For å gjennomføre piloten ble det kjøpt inn en GNSS-rover av type Leica GS18i, to smarttelefoner med LiDAR-teknologi og ett nettbrett med LiDAR-teknologi.

3.5.2 Resultat og diskusjon

Gjennom piloten ble det erfart at bruk av mobile enheter som smarttelefoner og nettbrett med LiDAR-teknologi er et verdifullt alternativ til tradisjonelt og kostbart landmålingsutstyr. Enhetene tillater rask og fleksibel datainnsamling, som passer godt med aktuelle behov i feltet. Det er videre erfart at det krever god planlegging og gode metoder for å eliminere begrensninger knyttet til nøyaktighet.

Erfaring med bruk av 360-bildekamera for å dokumentere i felt har vist at dette er en effektiv metode som muliggjør omfattende og detasjert visuell dokumentasjon av feltforhold. Implementering av bildene inn i eksisterende bildedatabasesystem ble utført, som har ført til integrasjon av ny modul og utvikling av nye grensesnitt. Dette har ført til at brukerne får en mer intuitiv forståelse av feltforhold og økt effektivitet i prosjektplanlegging og gjennomføring.

I løpet av piloten ble det ikke implementert AR for visualisering i henhold til målet for piloten.

3.5.3 Innovasjon

Nye og forbedrede prosesser ved å integrere 360-bilder inn i eksisterende bildedatabasesystem, og dermed integrasjon av nye moduler og grensesnitt.

3.5.4 Konklusjon

Piloten har bidratt til å innhente informasjon som bidrar til økt forståelse av feltforhold og økt effektivitet i prosjektplanlegging og gjennomføring.

3.6 Added value from smart meters (Aidon)

Piloten ble utført i tidsrommet Q4 2021-Q4 2024.

3.6.1 Bakgrunn for piloten

Dagens prosess for å finne og påvise jordfeil er manuell, arbeidskrevende og man klarer ikke å finne alle jordfeil. Mange jordfeil er flyktige og kan ha kort varighet og piloten fokuserer dermed på jordfeil som lar seg finne og reparere.

3.6.2 Resultat og diskusjon

Det er definert og dokumentert en god prosess for dedikering av jordfeil hos kunde basert på jordfeilstrøm fra AMS måleren. Det ble også rigget et testsystem i SINTEF energi sitt SmartGrid laboratorium i Trondheim. Her er det etablert to nettstasjonskretser med laboratorieutstyr og AMS målere.

Det er opprette et begrep i AidonOne som kalles EFC-MP (Eart Fault Case Metering Point) for å samle alarmer fra samme målepunkt under en EFC. Det er også opprette EFC-TA (Eart Fault Case Trafo Area) for nettstasjon for å kunne sammenholde flere EFC under samme nettstasjon. Det er utarbeidet en algoritme som kalles StateMachine som setter status på de forskjellige EFC. StateMachine setter status automatisk basert på karakteristikker av jordfeil og har som hovedmål å finne ut hvilke jordfeil som man med stor sannsynlighet kan allokere til kundens anlegg og hvilke jordfeil som ligger i eget nett.

Selve pilotfase har blitt forsinket grunnet endringer som måtte gjøres i StateMachine og ble ikke startet opp før 11. november 2024. Siden piloten avsluttes i CINELDI i 2024, men fortsetter i Lnett ut 2025 er de fleste resultatene fra selve piloten ikke tilgjengelige enda. Men man kan fastslå at StateMachine oppretter et antall jordfeilsaker som er mulig å håndtere og det er avdekket at det finnes mange feilkoblede målere i hele området til Lnett. Dette er målere som ikke gir feil måleresultat, men som gir svært høy jordfeilstrom. Det har vært viktig å få identifisert de feilkoblede målerne og få isolert disse fra StateMachine slik at man ikke får falske jordfeilalarmer fra disse. I piloten blir disse målerne ekskludert inntil koblingsfeilen blir rettet. Eksempler på feilkoblede målere i skissene under.

3.6.3 Innovasjon

Statemachine, modell for utvelgelse av relevante jordfeil. Firmware på måler i nettstasjon som sender Real time alarmer. Programvare i Aidon One som støtter StateMachine logikk.

3.6.4 Konklusjon

Piloten har bidratt til å utvikle metodikk og helautomatisk system for overvåkning, feilsøking og utbedring av jordfeil. Dette inkluderer prosedyre for interaksjon og feilsøking, samt analyseverktøy av AMSdata og algoritmer som sporer, og tid- og stedfester jordfeil. Utviklet system skal implementeres og integreres opp mot øvrige systemer for pilotering i reelle omgivelser og økende funksjonalitet. Prosjektet er gjennomført som en kombinasjon av pilot i CINELDI prosjektet og som et eget skattefunn prosjekt i Lnett. Erfaringer fra CINELDI gjort i SINTEF sitt SmartGrid laboratorium i Trondheim og utvikling av firmware i måler er brukt videre inn i skattefunn prosjektet.

3.7 Predicting peak load in secondary substations (Glitre Nett)

Piloten ble utført i tidsrommet Q12020-Q4 2022.

3.7.1 Bakgrunn for piloten

Belastning på vitale komponenter i strømmettet varierer som følge av periodisk forbruksmønster (døgnsyklus, ukesyklus, sesongsyklus), trender (økonomisk utvikling, elektrifisering), spesielle hendelser (ferier, helligdager, arrangementer), og variasjon som følger av den stokastiske naturen som ligger i individuell oppførsel. I sum gir dette et bidrag som det er krevende å predikere på en god måte. Belastning kan måles på punkt i nettet der det finnes måleutstyr. For Glitre Nett sin del er dette transformatorstasjoner, nettstasjoner og hos enkeltkunder. På transformatorstasjoner er forbruket summert opp av flere tusen sluttbrukere, og den stokastiske andelen er dermed liten. Prediksjon er dermed lettere enn lenger "nede" i nett-topologien. På sluttkundenivå er den stokastiske andelen stor, og prediksjon dermed mindre treffsikkert. Samtidig er det mindre relevant å predikere forbruk for en enkelt kunde. Nettstasjoner er en nettressurs som vi er interessert i å unngå overlast på, både for å unngå overoppvarming / havari, og for å unngå avkortning i levetid. Dette er også et område det har vært fokusert lite på, delvis fordi måledata fra nettstasjoner ikke alltid er tilgjengelig. Vi ønsker å få mer innsikt i dette området, og vil derfor fokusere på prediksjon av belastning på nettstasjoner. Metoden som er utviklet er imidlertid anvendbar for andre områder også, dette må eventuelt vurderes fra tilfelle til tilfelle.

3.7.2 Resultat og diskusjon

God tilgang på data er viktig ved utvikling av ML-modeller. Piloten har nytt godt av at det eksisterte et omfattende og komplett datagrunnlag ved oppstart. Glitre Nett har montert måling på alle nettstasjoner (over 8000) i Agder, og har derfor et stort datasett som strekker seg flere år bakover i tid. Dette har gitt et solid grunnlag for å bygge ML-modeller. Selve utviklingen av egnede ML-modeller har vist seg å være krevende. Dette kommer delvis av at nettstasjoner kan ha svært ulike mønster og dynamikk for energiflyt.

Enkelte kan ha stabile, repetitive mønster basert på sesongvariasjon. Andre kan ha tilsynelatende stokastisk oppførsel. Nettstasjoner med mange kunder vil ha en mer stabil og forutsigbar kurve, mens en nettstasjon med få kunder (1-5) typisk vil ha en belastningskurve med tydelig stokastisk karakter.

Som konsekvens av dette ble det konkludert med at det ikke er mulig å lage en enkelt modell som kan trenes for å predikere belastning for alle nettstasjoner. Det ble derfor besluttet å trene en separat ML-modeller for hver enkelt nettstasjon. Alle modellene er basert på samme teknologi (XGBoost), men trening skjer separat basert på data for hver enkelt nettstasjon. Idriftsetting av pipeline (driftsmiljø) har også tatt en del tid. Dette har ikke vært spesielt komplisert, men ettersom dette var første gang vi satte opp denne typen infrastruktur, var det en del nye løyper som måtte gås opp. Selve prediksjonen går nå daglig for ca 130 nettstasjoner.

3.7.3 Innovasjon

Ny metode for prediksjon av belastning er utviklet og løsning for prediksjon av belastning er satt i operativ drift hos Glitre Nett.

3.7.4 Konklusjon

Det har blitt utviklet maskinlæringsmodeller for predikering av belastning på transformatorer i nettstasjoner. Modellene er basert på felles teknologi, men er trent opp separat for å predikere belastning for ca 130 nettstasjoner. Nytteten består i at man er i stand til å unngå overbelastning, og dermed unngå/reducere risiko for driftsavbrudd (og dermed avbruddskostnader), samt forlenge levetid på komponenter i nettet. Løsningen er i drift hos Glitre Nett. Utvikling av ML-modeller for prediksjon har gitt mye innsikt i arbeidsmetodikk og kompleksitet ved denne typen analyser.

3.8 Detection of earth fault based on data from smart meters (Elvia)

Piloten ble utført i tidsrommet 2021-2024.

3.8.1 Bakgrunn for piloten

Jordfeil skaper spenningsutfordringer som lager problemer for tilknyttede sluttbrukere. Dette forårsaker flere uheldige situasjoner. Eksempelvis at kundens elektriske apparater ikke fungerer eller at kunden opplever høy berøringsspenning, ved samtidig dårlig beskyttelsesjord i egen installasjon. Feilsøking uten verktøy for å se historiske hendelser, eller «live-situasjon» fører til at 50% av alle manuelle jordfeilsøk ender i at jordfeil ikke kan påvises. Dette fører igjen til at feilsituasjon ikke blir utbedret- eller at kunde må leve med utfordringer i lengere tid. Piloten vil benytte AMS-måler til deteksjon av jordfeil, utvikle regelverk for sikker påvisning, varslings- og støtteverktøy for utbedring av feil, både hos sluttbrukere og i eget nett.

3.8.2 Resultat og diskusjon

Systemutvikling for håndtering av jordfeil, kalt MSIJ, er utført som del av piloten. Dette systemet klassifiserer målepunkt i ulike kategorier, basert på hendelsesbildet til enhver tid. MSIJ er bygget som en tilstandsmotor for jordfeilsaker, der man har mulighet for manuell- eller automatisk triggering av kundevarsler eller arbeidsordre for feltsøk. Systemet har grensesnitt mot en rekke andre systemer i Elvias systemportefølje, for å sikre korrekt struktur- og hendelsesinformasjon, samt initiering av saker mot respektive fagsystem. Systemet beriker tilgrensende system med tilstrekkelig informasjon for saksoppfølging. Av tilgrensende systemer kan nevnes; IFS, Sales Force, Min Side og Cubit.

God kundekommunikasjon har vist seg som en kritisk nøkkelfaktor for effektiv håndtering og utbedring av jordfeilsaker, der vi kjører sak mot sluttbrukeres tilkoblede anlegg. Kundemassen er i stor grad varierende,

og det har vist seg å være utfordrende å gi tilstrekkelig informasjon til at kunde forstår budskapet og har tilstrekkelig hjelpemiddel til kostnadseffektiv løsning for identifisering- og utbedring av feil, samtidig med at den skal være kortfattet og forståelig. Prosjektet inkluderer Live-visning av feilsituasjonen, slik at kunde gis mulighet til å identifisere, og selv fjerne enkelte typer feilkilder (pluggbart utstyr). Mulighet for rimelig og enkel feilutbedring sees som en kritisk nøkkelfaktor for at slutt kunder skal være i stand til å håndtere pålegg om utbedring av jordfeil innen rimelig tid.

3.8.3 Innovasjon

Elvia har valgt å utvikle klassifisering av jordfeil basert på en maskinlæringsmodell, til fordel for regulære sql uttrekk, som ble forsøksvis benyttet i tidlig fase. Tidligere erfaringer viser at vi endte opp med å manuelt velge hvilke målepunkt vi turte å påstå hadde jordfeil, da resultat inneholdt mange usikkerheter. Denne type manuelt utvalg ble da tilstrebet utført av maskin, og maskinlæringsmodell. Modell som benyttes i MSIJ pr i dag, er en Random Forrest modell, benyttet fra Scikit-learn rammeverket i Phyton. Modellen klassifiserer pr i dag med følgende utfall; Varsle, Ignorer, Varsle_PE og Feilkobling. Fagressurser har pr rapporteringstidspunkt lagt inn 19.000 lærepunkt i modellen, fordelt på 600 målepunkt.

3.8.4 Konklusjon

Elvia har som et pilotprosjekt under CINELDI utviklet et system for påvisning og klassifisering av jordfeil i 230V IT- distribusjonsnett. Det nye systemet benytter lekkasjestrømmåling fra sum-strømtrafo i slutt kunders målepunkt, samt spenning fase-jord, fra nettanalysator og AMS, der dette er montert i Elvias nettstasjoner. Dette utgjør måleverdier samlet inn fra ca. 750.000 slutt kunder og 10.000 nettstasjoner. Gjennom erfaring fra tidlig fase (2021) avdekket Elvia at påvisning av jordfeil krever god treffsikkerhet, samt effektiv kundekommunikasjon. Utviklet løsning bygger på disse erfaringene og kjører nå ved bruk av en maskinlæringsmodell. Presisjon i påviste jordfeil ligger på ca. 97%, gitt både ved validering av maskinlæringsmodell, samt målt ved et antall lukkede saker vs antall saker avsluttet med verifisert feil. Det gjenstår beslutning fra Elvias ledergruppe hvorvidt applikasjon og ny arbeidsprosess skal benyttes videre i fast driftsorganisasjon.

3.9 Condition based maintenance of substations (Glitre Nett)

Piloten ble utført i tidsrommet Q3 2023-Q4 2024.

3.9.1 Bakgrunn for piloten

Vedlikeholdsarbeid er i dag basert på varierende og stykkevis informasjon fra stasjonene. Gjeldende praksis er dermed kalenderbasert vedlikehold. Dette er lite effektivt – mange besøk på transformatorstasjoner viser seg å være unødvendige. Samtidig kan det oppstå feil som ikke blir oppdaget før neste planlagte besøk, og dermed vil det oppstå avbrudd som kunne ha vært unngått med en mer proaktiv tilnærming. For optimalt vedlikehold av trafostasjoner er det behov for å få oversikt over tilstanden til komponenter i stasjonen, men dagens verktøy og rutiner støtter ikke dette. Eksempelvis viser SCADA øyeblikksbilde slik at de er optimale for operatørene på Nettsentralen. Dagens SCADA er ikke tilrettelagt for trendanalyse og aggregering over tid, og det er begrenset mulighet for å utnytte dataene. Dermed forsvinner viktig tilstandsinformasjon som er vital for proaktivt vedlikehold.

Et annet problem er at mange fagsystem holder på informasjon som hver for seg dekker spesifikke arbeidsprosesser. Denne informasjonen må sammenstilles for å få et godt nok tilstandsbilde. Eksempelvis må bruk av brytere (fra SCADA) aggregeres og sammenstilles med informasjon om tidligere vedlikehold (fra vedlikeholdssystem) for å ta stilling til behov for tilsyn.

Gjennom egnet strukturering, sammenstilling, aggregering og visualisering kan vi få oversikt over tilstand til komponenter og kan dermed gjøre vedlikeholdstiltak med bakgrunn i tilstand. Dette vil bidra til et stort steg fra dagens kalenderbaserte vedlikeholdsstrategi.

3.9.2 Resultat og diskusjon

Overføring av vedlikeholdsdata og alle bryterendringer til KDI utover nettmodell som de fra tidligere får, har gjort det mulig å sette opp regler for triggering av vedlikehold basert på koblingsmønstre som hensyntar antall, tid mellom hver kobling, kobling under spenning, koblinger siden forrige vedlikehold, type bryter, fabrikkat, m.m. Særlig god oppløsning på bryterdata er vesentlig i flere av reglene satt opp i Kognitwin Grid under piloten. De nye bryterdataene overføres til KDI i samme kodeløsning som tidligere har oversendt koblingsbilde, i en ny CSV fil side-om-side med den gamle. Vedlikeholds-dataene trekkes ut av en IFS-hurtigrapport ved funksjonalitet i applikasjonen som muliggjør eksport til CSV, og sendes til KDI per e-post eller deles over SFTP-server.

Glitre Nett har tidligere hatt et samarbeid med Kongsberg Digital (KDI) rundt deres digitale tvilling: Kognitwin Grid. I stedet for å utvikle vår egen MVP valgte vi å inngå samarbeid med KDI som allerede hadde en vedlikeholdsmodul i Kognitwin som var utviklet for olje og gass-bransjen. Denne modulen har vi i samarbeid videreutviklet, og tilpasset nett. KDI har fått nyttig erfaring for produktutvikling og Glitre Nett har fått en vedlikeholdsmodul ut ifra våre behov, som nå inngår i et allerede etablert og kjent verktøy. Vi har hatt stor påvirkning både i forhold til UX og definert innhold ut fra en liste over regler for hvilke kriterier som skal utløse tilstandsbasert vedlikehold. Det er lansert en versjon 0.1 som utvikles videre. Denne versjonen testes og evalueres, og rutiner for bruk utarbeides.

3.9.3 Innovasjon

Det er etablert en prototype som gir oss mulighet til å kjøre tilstandsbasert vedlikehold i stedet for kalenderbasert vedlikehold som tidligere. Kognitwin Grid har altså blitt utvidet til å kunne brukes i vedlikeholds-sammenheng. Vedlikeholdsprosessene er forbedret, det samme med dokumentasjonsprosessen.

3.9.4 Konklusjon

Piloten gir grunnlag for tilstandsbasert vedlikehold av transformatorstasjoner. Pr i dag er vedlikehold kalenderbasert. I denne piloten er tre trafostasjoner med: Langum, Mjøndalen og Hafsfjord. Glitre Nett har tidligere hatt et samarbeid med Kongsberg Digital (KDI) om deres digitale tvilling av strømmettet: Kognitwin Grid. Ved å nyttig-gjøre eksisterende og tilgjengelige data fra ulike fagsystemer satt i system gjennom Kognitwin Grid har vi sammen med KDI i denne piloten videreutviklet produktet med en vedlikeholdsmodul. Det er lansert en versjon 0.1 som utvikles videre. Denne versjonen testes og evalueres, og rutiner for bruk utarbeides.

I denne versjonen har overføring av vedlikeholdsdata og alle bryterendringer gjort det mulig å sette opp regler for triggering av vedlikehold basert på koblingsmønstre som blant annet tar hensyn til antall, tid mellom hver kobling, kobling under spenning, koblinger siden forrige vedlikehold, type bryter, fabrikkat mm. Disse reglene utløser en trafikklysmoell, slik at man på en enkel og oversiktlig måte kan se hvilke vedlikehold som bør utføres, samt grunnen til dette.

4 Fault Handling and Self-Healing

4.1 New relay concept (Elvia)

Piloten ble utført i tidsrommet 2017-2024.

4.1.1 Bakgrunn for piloten

På grunn av ukjente faktorer som bl.a overgangsmotstand er det vanskelig å estimere avstand til feil basert på målinger. Spesielt gjelder dette i nett som driftes radielt og som i tillegg er isolert eller spolejordet.

4.1.2 Resultat og diskusjon

Målsetting var å gjennomføre skarpe jordfeiltester for å verifisere metoder for mer nøyaktig feillokalisering ved bruk av ringdrift. Kort oppsummert klarte ikke testene å verifisere teorien om en relativ nøyaktig lokalisering av jordfeil under ringdrift. Estimert feilsted ble beregnet til omtrentlig samme sted uavhengig hvor det ble testet og kan antyde en systematisk feil. Det er pekt på ulike feilkilder som kan bidra til et unøyaktig resultat. Bla annet var det en begrensning i måleutstyret i tillegg til at referansemodellen for nettet har usikre parametere.

4.1.3 Innovasjon

Piloten fikk innovasjonspris i CINELDI i 2018. <https://blogg.sintef.no/energi/cineldi-prisen/>. Til tross for at de skarpe jordfeiltestene ikke verifiserte teorien, så har teorien som er utnyttet verdi og det kan testes videre, da det er påpekt flere feilkilder som kan bidra til unøyaktig resultat.

4.1.4 Konklusjon

Piloten omfatter skarpe jordfeiltester under Navestad transformatorstasjon og en gjennomgang av måleresultatene. Bakgrunnen er for å teste ut et nytt vernkonsept for raskere å kunne lokalisere feilsted ved bruk av ringdrift. Skarpe jordfeiltester innebærer at vi legger på en feil i nettet for å teste at vern fungerer som de skal ved å registrere feilforløpet. For å unngå avbrudd for sluttbrukere er varigheten til testen såpass kort at vern ikke rekker å løse ut. Testene er utført for å verifisere de teoretiske metodene som er beskrevet i tidligere og avdekke eventuelle praktiske utfordringer. Resultatene er beskrevet i:

Thomas Treider and Tesfaye Amare Zerihun: "Field Testing of Two Earth Fault Location Methods in Closed-Ring Networks" CINELDI memo, 2024.

Thomas Treider; Tesfaye Amare Zerihun; Lars B. Nordevall: "[Testing Two Methods for Earth Fault Location in Closed-Ring Operated Distribution Networks: Lessons Learned from Field Tests](#)", IEEE paper, 2024.

Tesfaye Amare Zerihun; Thomas Treider; Henning Taxt; Lars B. Nordevall; Thomas S. Haugan: "[Two novel current-based methods for locating earth faults in unearthed ring operating MV networks](#)", Electric Power Systems Research, Vol 213, 2022.

Testene klarte ikke å verifisere teorien om en relativ nøyaktig lokalisering av jordfeil under ringdrift. Det er pekt på ulike feilkilder som kan bidra til et unøyaktig resultat. Blant annet var det en begrensning i måleutstyret i tillegg til at referansemodellen for nettet har usikre parametere.

4.2 An algorithm for self-healing (Lede)

Piloten ble utført i tidsrommet 2017-2020.

4.2.1 Bakgrunn for piloten

Pilotprosjektet hadde som mål å utvikle og implementere en avansert algoritme for automatisk feildeteksjon, isolering og gjenoppretting i strømnettet. Prosjektet fokuserte på to avganger fra en transformatorstasjon med strategisk plasserte nettstasjoner utstyrt med bryteranlegg. Problemstilling: Hvordan kan vi utvikle en fleksibel og omfattende algoritme for self-healing som kan konfigureres med definerte nabo-nettstasjoner og tolke signaler fra feilindikatorer for å isolere feil og gjenopprette forsyning?

4.2.2 Resultat og diskusjon

Implementeringen av den egenutviklede algoritmen for self-healing lyktes dessverre ikke i pilotprosjektet. Algoritmen ble utviklet og testet i simuleringer ved Lede, men møtte betydelige utfordringer i implementeringsfasen. Selv om den avanserte self-healing algoritmen ikke ble implementert, ble nettstasjonene som skulle styres av denne algoritmen montert og satt i drift. Disse styres nå ved hjelp av ordinære feillokalisering- og isoleringsmetoder. Dette gir et grunnlag for fremtidige forbedringer og implementeringer av mer avanserte styringsalgoritmer.

4.2.3 Innovasjon

Til tross for utfordringene med implementering, representerer den utviklede algoritmen en potensiell innovasjon innen nettautomatisering. En egenutviklet algoritme for self-healing ble utviklet og testet i simuleringer, men ikke implementert i felt i piloten. Algoritmen ble designet for å:

1. Konfigureres med definerte nabo-nettstasjoner.
2. Tolke signaler fra feilindikatorer i nabostasjoner sammen med feilsignaler fra indikatorer i bryteranlegget i "egen" stasjon.
3. Avgjøre om bryterkobling for å isolere feilen skulle gjøres basert på denne informasjonen.
4. Utføre gjenoppretting ved å bruke spenningsindikering til å gjenkjenne stasjoner med spenningsløse samleskinner.

Denne tilnærmingen representerer en mer fleksibel og omfattende metode for feilhåndtering sammenlignet med tradisjonelle, forhåndsdefinerte scenarier.

4.2.4 Konklusjon

Hovedresultater:

- En egenutviklet algoritme ble utviklet og testet i simuleringer, men implementeringen i felt mislyktes.
- Nettstasjonene ble montert og satt i drift, men styres nå med ordinære feillokalisering- og isoleringsmetoder.

Viktige erfaringer:

- Prosjektet avdekket kompleksiteten i å implementere avanserte algoritmer i eksisterende nettinfrastruktur.
- Begrensninger i dagens utstyr og programvare for nettautomatisering ble identifisert.
- Behovet for tettere samarbeid mellom nettselskap og utstyrsleverandører ble understreket.

Til tross for at hovedmålet om utvikling av avansert algoritme ikke ble nådd, ga prosjektet verdifull innsikt i utfordringer og muligheter innen avansert nettautomatisering. Erfaringene danner grunnlag for fremtidige prosjekter og investeringsbeslutninger innen smart grid-teknologi.

4.3 Fault indicators (Lede)

Piloten ble utført i tidsrommet 2016-2024.

4.3.1 Bakgrunn for piloten

Feilindikatorer har i begrenset grad blitt knyttet opp mot DMS/Scada o.l. og har tidligere i hovedsak detektert kortslutning. Piloten ønsker å demonstrere om både bruk av mer avanserte indikatorer og kommunikasjon med DMS/Scada kan effektivisere feillokalisering. Derfor ble det gjort uttesting av feilindikatorer i distribusjonsnett for både kortslutning og jordfeil.

4.3.2 Resultat og diskusjon

Hovedfunn:

- Enkle indikatorer har begrenset nytte, spesielt for detektering av jordfeil.
- Feilindikering ved hjelp av DMS-funksjonalitet ga bedre resultater, men fortsatt med begrenset nytte (38% av undersøkte tilfeller).

Utfordringer:

- Montasje av ulike indikatorer var krevende.
- Avanserte feilindikatorer for jordfeildeteksjon ble ikke satt i drift grunnet ressursmangel.

Læringspunkt:

- Enkel kommunikasjonsløsning bør prioriteres over avanserte indikatorer ved implementering.

Anbefaling:

- Fokuser på å forbedre kommunikasjonsløsninger for eksisterende indikatorer før investering i mer avansert utstyr.

4.3.3 Innovasjon

Lede har innført innsamling via AMS konsentrator med indikering av feil i DMS som standard. Feilsøking med feilindikator er ny arbeidsprosess.

4.3.4 Konklusjon

Pilotprosjektet evaluerte bruken av feilindikatorer i strømmettet gjennom tre delaktiviteter og en tilstøtende studie. Hovedfunnene inkluderer:

- Enkle indikatorer viste begrenset nytte, spesielt for detektering av jordfeil.
- Av 33 aktuelle feil med ukjent feilsted, bidro indikatorene til lokalisering i kun 3 tilfeller.
- Feilindikering ved hjelp av DMS-funksjonalitet ga bedre resultater, men fortsatt med begrenset nytte (38% av undersøkte tilfeller).
- Montasje av ulike indikatorer var krevende, og avanserte feilindikatorer for jordfeildeteksjon ble ikke satt i drift grunnet ressursmangel.

Prosjektet konkluderte med at enkel kommunikasjonsløsning bør prioriteres over avanserte indikatorer ved implementering. Ingen fullstendig kost-nyttevurdering ble gjennomført grunnet begrensede resultater.

4.4 Fault handling and self-healing (Elvia)

Piloten ble utført i tidsrommet 2019-2024.

4.4.1 Bakgrunn for piloten

De fleste feilindikatorer som er installert i nettet er avhengig av visuell avlesning av personell på den enkelte lokasjonen. Ved å installere et antall feilindikatorer med fjernoverføring av signaler og evt. målinger til scada på driftssentralen er det forventet en gevinst knyttet til raskere lokalisering av feil i nettet, slik at det kan redusere avbruddstid for kunder og bedre utnyttelse av ressurser til feilrettingen i felt. Målet med piloten er å teste ut om fjernmeldte feilindikatorer vil gi en nytteverdi for nettdriften. Elvia ønsker et effektivt hjelpemiddel til å korte ned avbruddstiden vår ifm. kortslutning eller jordfeil i linjenett. I dag bruker Elvia mye tid på å feilsøke i større områder, men ved hjelp av indikatorer som sier noe om hvor feilen er, kan man raskere finne feilen som fører til at avbruddstiden begrenses både i område og i tid. Det er også ønskelig å få testet om feilindikatorer vil kunne gi en pålitelig deteksjon av retningsbestemt jordfeil i luftnettet.

4.4.2 Resultat og diskusjon

Etter å ha hatt denne piloten i nesten 4 måneder har Elvia hatt flere forbigående feil på linja, og har da fått signaler, men har ikke kunnet verifisere dem. Med de to avbruddene i testperioden hvor feilårsaken ble funnet, har det kommet inn signaler fra både Megger og Ensto Protrol som har vært korrekt i forhold til feillokasjonen. Begge typene oppleves som pålitelige og har rask responstid. Utover dette er det andre faktorer som spiller inn på hvilken av typene som er best til vår bruk; montasjetid, krav til last på linja, mulighetene for å hente data inn i SCADA og videreutvikling av sensorene.

4.4.3 Konklusjon

Elvia drifter store områder med utstrakt linjenett. Det byr på utfordringer da luftnettet er utsatt for eksterne påkjenninger som vær, vind, trær og dyr, som igjen fører til avbrudd av strømforsyningen. Det er tidkrevende å lete etter feil langs linjene til alle døgnets tider. Det er et potensiale for stor nytteverdi for den operative driften i Elvia ved å bruke fjernmeldte feilindikatorer/-senser i distribusjonsnettet til raskere og mer effektiv lokalisering av feilstedet. En økt mengde av sensorer i kombinasjon med flere fjernstyrte brytere vil kunne redusere avbruddstiden for majoriteten av de berørte kundene i feilsituasjoner.

Det mange forskjellige fabrikater og typer feilindikatorer som detekterer kortslutninger og jordfeil på luftnett og kabelnett i markedet. I Elvias luftnett er det spesielt jordfeil som gjentagende forbigående jordfeil som er veldig ressurskrevende å lokalisere. Derfor ønsket Elvia å få testet feilindikatorer som også har funksjon for detektering av jordfeil med retningsbasert anvisning. Pilotperioden startet i 2019 med 1 type feilindikator, men ble utvidet med ytterligere 2 typer i 2024, da hensikten var å kunne sammenstille data fra de tre typene for å se om det gav den ønskede nytteverdien.

Dessverre har framdriften gjennom hele pilotperioden ikke vært tilfredsstillende. Fusjonen mellom Eidsiva Nett og Hafslund Nett til Elvia, organisatoriske endringer som følge av dette, skifte av prosjektledelse, pandemi, intern kapasitet og prioritering av disse i forbindelse med nytt ADMS-system og langtidssjukmelding hos prosjektleder siste året, har ført til at målsettinger som vi satte oss ved oppstart ikke er oppnådd. Men de erfaringene som er gjort gjør at Elvia allikevel har konkludert med at det er stor nytteverdi av å innføre fjernmeldte feilindikatorer i distribusjonsnettet, spesielt i luftnett i grisgrendte områder med lange radialer og omkoblingsmuligheter med fjernstyrte brytere. Elvia vil derfor videreføre de to pilotområdene også etter at CINELDI-prosjektet er avsluttet, gjennomføre skarpe jordfeilstester til våren 2025 med mål om å konkludere på indikatorenes pålitelighet i retningsbestemt jordfeildetektering.

4.5 AGI - Artificial grid intelligence for detecting earth faults in HSP distribution networks (Glitre Nett)

Piloten ble utført i tidsrommet Q3 2023-Q4 2024.

4.5.1 Bakgrunn for piloten

Glitre Nett har i mange år forsøkt å få til verndeteksjon for høyohmige jordfeil i høyspent distribusjonsnett. Høyohmige jordfeil er når en ledning er ødelagt og noen ganger ligger på bakken og det er så dårlig jordingsforbindelse at tradisjonelle vernsystemer ikke registrerer feilen. Konsekvensen er at det fortsatt vil være spenning på ledningen og dette innebærer livsfare hvis personer eller dyr kommer i nærheten av ledningen. Disse feilene utgjør en HMS-risiko samt at denne feilsituasjonen kan starte branner som mange nettselskaper både i innland og utland har store utfordringer med. Disse feilsituasjonene vil utvikle seg til permanente feil med store reparasjon og KILE kostnader.

Etter flere store feilsituasjoner i 2018, hvor det var et ikke ubetydelig antall feil som viste seg å være vanskelig å oppdage begynte Glitre Nett arbeidet med å se om det fantes løsninger for å detektere såkalte høyohmige jordfeil. Høyohmige jordfeil er feil som har så stor overgangsmotstand i feilstedet at de ikke lar seg detektere med konvensjonelle vern, de er heller ikke mulig å detektere med å øke sensitiviteten til konvensjonelle vern, da dette vil resultere i driftsutfordringer. Glitre Nett har jobbet med denne problemstillingen over lang tid, og søkte etter hvert sammen med Siemens for å se på om det kunnes finnes nye muligheter for å avdekke denne type feil med metoder som hittil ikke var tilgjengelig på markedet.

4.5.2 Resultat og diskusjon

Gjennom det store antallet skarpe jordfeilstester som er gjennomført er det også oppdaget forbedringspotensial for eksisterende vernsystemer. Prosjektet har gitt større innsikt og bedre kompetanse på jordfeil i et høyspent distribusjonsnett. Glitre Nett har også sett og gjort mye erfaringer om hvordan anleggenes utforming er av betydning for høyohmige jordfeil. Eldre luftnett uten gjennomgående jord, og med dårlig jordingsforhold har naturlig høy risiko for høyohmige jordfeil. Det som er et mer overraskende funn er at med økt andel kabel i nettet, vil den resistive komponenten i nettet øke, noe som ved høyohmige jordfeil forverrer situasjonen ytterligere. Dermed kan man si at den mest uheldige kombinasjonen er et nett med stor geografisk utstrekning, uten gjennomgående jord, vanskelig jordingsforhold, lange avgreninger eller deler av linjen som blir bygget om til kabel med ny eller reinvestering. Distribuerte jordspoler som er veldig viktig for å håndtere lavohmige jordfeil på en korrekt måte, kan ha en negativ betydning ved høyohmige feil.

I løpet av prosjektet har også Siemens utviklet et dashboard, dette har vært et verktøy for å overvåke de resultater som AGI systemet kontinuerlig måler i nettet. AGI systemet har detektert alle jordfeil som har oppstått tilfeldig i nettet. Det jobbes nå med å kategorisere de ulike feilene, og klassifisere feiltypene, da de kan ulike oppfølgingsaksjoner.

Konseptene rundt å trene et AGI-system for å detektere feil er et konsept som vil ha overføringsgevinster til andre feiltyper i nettet. Der et tradisjonelt vernsystem er parameterbasert, vil et AGI-system være et dynamisk system. Det vil si at man kan få ulike kategorier og håndtere ulike faser av feil på ulike måter. Dette gir både muligheter og noen utfordringer.

Det gjenstår fortsatt behov for ytterligere testing i flere ulike miljøer, og mer komplekse nett for å eliminere falske positive. Dette arbeidet pågår kontinuerlig, Glitre Nett ser også behov for å knytte AGI funksjonen inn mot andre spenningsnivå i en mer sentralisert overvåkningsfunksjon.

4.5.3 Innovasjon

Siemens har fått bekreftet modellen og testet ut og forbedret løsningen. AGI tas frem som et produkt i løpet av 2025 av Siemens AG. I tillegg har Siemens registeret 3 patenter som del av arbeidet.

4.5.4 Konklusjon

Ved bruk av kunstig intelligens har Siemens sammen med Glitre Nett trent opp en modell til å kunne detektere høyohmige jordfeil i nettet. Det har blitt laget en datamodell som systemet ble trent opp på, deretter er det gjennomført mange fysiske tester og verifikasjonstester med feil ute i nettet. Modellen har så blitt testet ut på andre nettområder enn den opprinnelige modellen ble trent opp på, for å verifisere at modellen er generalisert. Resultatene fra testene er at AGI (Artificial Grid Intelligence) fungerer også på nett områder den ikke tidligere har blitt opplært på. AGI har en god deteksjon av høyohmige jordfeil, og vil kunne fungere som et varslingsystem.

4.6 Automated protection and contingency analysis for dynamic grid operation (Glitre Nett)

Piloten ble utført i tidsrommet Q3 2023-Q4 2024.

4.6.1 Bakgrunn for piloten

I det operative driftsmiljøet er det behov for å ta raske beslutninger om koblinger for å håndtere akutte situasjoner som oppstår. Dette kan være som reaksjon på en overbelastning eller en feilsituasjon. Dette lar seg håndtere på en manuell måte i dag, delvis fordi slike situasjoner oppstår relativt sjeldent og fordi nettet til en viss grad har iboende robusthet.

Behov for stadig mer elektrifisering medfører at det er nødvendig å akseptere mer forbruk og produksjon inn i nettet, dette til tross for at nettet ikke har nok kapasitet til å opprettholde krav om «driftsmessig forsvarlig» nettdrift. Blant annet vil man se stadig flere kunder benytte tilknytning på vilkår. Vi får også en kraftig endring av produksjonsegenskapene fra inverterbasert produksjon som kommer fra vind, sol, batterier og HVDC linjer. Dette kommer raskere enn vi har forutsett da negative kraftpriser medfører at store kraftstasjoner med stor roterende masse stoppes og kortslutningsytelsen i kraftsystemet endres. Dette er egenskaper som dagens vernsystem er stilt inn etter. Automatiske vernanalyser er nødvendig for å avdekke gråsoner i et mer komplekst kraftsystem.

Dette kan medføre at utfordrende situasjoner oppstår oftere og krever raskere respons. Videre vil feil valg og beslutninger ha mer alvorlige konsekvenser ettersom nettet driftes med stadig mindre margin. Aktiv nettdrift er et nøkkelbegrep i fremtidens nettdrift, som blant annet inkluderer evnen til å håndtere akutte situasjoner raskt og med stor presisjon. Overgangen for nettsentralen vil være dramatisk, fra gårsdagens situasjon med stabilitet, forutsigbarhet og trygge sikkerhetsmekanismer, til en situasjon med langt mer aktiv og dynamisk drift og større fallhøyde. Overgangen kan sammenlignes med å gå fra å kjøre «tog på skinner» til å kjøre «romskip gjennom et asteroidefelt». Automatisert vern- og utfallsanalyse gjør det mulig å raskt skaffe et vurderingsgrunnlag for en foreslått kobling/feil i nettet. I enkelte situasjoner kan det være nødvendig å foreta flere vurderinger før en akseptabel kobling er funnet. Da vil en automatisert prosess være kritisk for kunne reagere tidsnok.

4.6.2 Resultat og diskusjon

SCADA og ADMS er alt på plass og i bruk i dagens driftsmiljø. Sincal er i bruk til back-office analyser av systemstabilitet, men brukes i dag ikke som del av operativ nettdrift. En viktig del av arbeidet er derfor å integrere Sincal, samt tilpasse informasjonsflyt i løsningen.

Aktiviteter

1. Utvikle CIM-eksport fra ADMS. Ansvar: Volue (leverandør av ADMS). *Det har vært en del utfordringer med å få uttrekk av NIS data. Flere forsøk har vært prøvd for å tilpasse Sincal.*
2. Utvikle automatisk innhenting og verifisering av CIM-eksport i SINCAL. Ansvar: Siemens (leverandør av Sincal). *Det har vært en del utfordringer med å få uttrekk av NIS data. Flere forsøk har vært prøvd for å tilpasse Sincal.*
3. Teste at analyser i Sincal faktisk kan gjennomføres som forventet Ansvar: Glitre Nett. *Det har vært gjort noen verifikasjoner, men grunnet stort pådrag så er det ansatt en person som kommer inn til Glitre Nett 1/11 for å ivareta dette videre og legge inn verndata fra nettet i modellen.*
4. Utvikle visning av resultat fra Sincal slik at disse kan vises i operatørens driftsbilde på en egnet måte. Ansvar: Siemens. *Det har blitt besluttet å kjøre utvikling i Å energi med et eget utviklingsteam*
5. Verifisere hele verdikjeden og dens egnethet i operativ drift Ansvar: Glitre Nett. *Ikke gjennomført.*

4.6.3 Konklusjon

Kraftsystemet er under kraftig utvikling hvor anstrengt drift med overvåkning av flaskehals og snitt blir den nye hverdagen. I tillegg til dette endres mye av produksjonsegenskapene fra kraftstasjoner med svingmasse og kortslutningsytelser til inverterbasert produksjon fra vind, batteri, sol og HVDC anlegg som har andre egenskaper.

Automatisert vern- og utfallsanalyse vil gi en bedre beslutningstøtte og gjøre det mulig å vurdere og ta stilling til kompliserte koblingsbilder i en operativ drift. Dette vil muliggjør en mer dynamisk drift av nettet, og er dermed en viktig forutsetning for å kunne operere et presset kraftsystem på en sikker måte. Kombinasjon av data fra den operative driftsituasjonen (SCADA, ADMS) med løsninger for lastflytanalyse, utfallsanalyse og vern- og kortslutningsanalyse har vært sentralt i piloten, men arbeidet er ikke ferdigstilt i piloten og aktiviteten tas videre etter CINELDI.

4.7 Production plans available for the control center (Glitre Nett)

Piloten ble utført i tidsrommet Q3 2023-Q4 2024.

4.7.1 Bakgrunn for piloten

Nettet blir stadig presset hardere i takt med økende etterspørsel etter effekt og nettilknytning. Dersom man skal være i stand til å imøtekomme dette i daglig drift er operatørene på nettsentralen avhengig av å ha produksjonsplaner fra produsentene for å kunne ta gode avgjørelser slik at stabil forsyningsikkerhet opprettholdes. Problemstillingen i dag er at produksjonsplaner ikke blir delt med nettselskapene og på den måten sitter man litt i «Blinde». Dermed er risikobildet et helt annet og man tør ikke presse nettet så mye som man potensielt kunne ha gjort dersom produksjonsplanene ble sendt til nettsentralen. Produksjonsplaner vil med andre ord hjelpe oss med å prognosere lastflyt og flaskehals i kraftsystemet, og dermed gi bedre kontroll på risiko.

Målbildet er en mer dynamisk nettdrift hvor produksjonsplaner og andre virkemidler som fleksibilitetshandel, forbruksprognoser osv. er med på å drifte nettet på en smartere og mer effektiv måte.

4.7.2 Resultat og diskusjon

Siden Å Energi Vannkraft er den største aktøren i Glitre Nett sitt nettområde som også tidligere har vært med i DIGIN samarbeidet så var det her den største innsatsen har blitt lagt inn, men det har ikke lyktes til nå i piloten å få på plass en avtale for å hente ut alle produksjonsplanene til Å Energi Vannkraft. Noen av faktorene som har gjort dette utfordrende:

- Stor utskifting av ressurser fra tidligere utført arbeid i DIGIN, lite kontinuitet gjør at det blir liten fremdrift.
- Vanskelig å finne rett person/rolle å lage avtale med hos Å Energi Vannkraft.

Det ble opprettet dialog mot Lista Vind og det ble gitt innsyn i hva de kunne tilby for å gi informasjonsutveksling av produksjonsplaner, men å få disse inn til DMS vil kreve utvikling ref. aktivitet 2. Lista Vind var positive til å kunne utveksle disse dataene, men det er ikke laget en formell avtale og konkret plan for dette. Det har blitt jobbet med å lage en avtalemal som benyttes mellom nettselskapet og produsent.

Mindre aktører, deriblant Lista Vind har ikke satt opp systemer for innmelding av produksjonsplaner mot Statnett (ECP kanalen). Ut fra samtaler med fagpersoner rundt temaet så er det hovedsakelig de større produsentene der Statnett krever produksjonsplaner som har rigget systemene sine slik at metoden benyttet i DIGIN hadde fungert.

De mindre aktørene bruker ulike systemer og det kunne derfor vært behov for en større sammenstilling av blant annet systemer, muligheter for å svare på denne aktiviteten. Denne sammenligningen kunne godt ha blitt holdt på nasjonalt nivå, men det er ikke gjort noen videre undersøkelser mot dette.

Det har blitt diskutert en del rundt tematikken, men ikke blitt landet noe spesifikt format og kommunikasjonskanal i prosjektet.

Piloten har deltatt i Samarbeidsforum DSO/TSO der tematikken i piloten er tatt med. [Ny rapport drøfter håndtering av flaskehals i regionalnettet | Statnett](#). Piloten har også hatt møter mot EIBits om erfaringer i piloten og koordinering av FOU arbeid. Det er en mulighet for at EIBits vil ta tak i denne problemstillingen og se på hvordan produksjonsplaner kan utveksles nasjonalt.

4.7.3 Konklusjon

På grunn av flere forhold har det ikke lyktes i piloten å få tilgang på produksjonsplaner. Fokuset har vært på å utvide tidligere utført arbeid mot Å Energi Vannkraft til å gjelde samtlige produksjonsenheter i Glitre Nett sitt område. Det er også blitt etablert kontakt mot en mindre aktør der det ble sett på hvordan data fra denne aktøren kunne blitt utvekslet. Det har også blitt jobbet for å forsterke retten til å få hente ut produksjonsplaner, samt hvordan Glitre Nett og de andre DSO og TSO kan samhandle i fremtidens nett. Pga. at prosjektet har støtt på uventede utfordringer med å på nytt få tilgang til produksjonsplaner og har hatt færre ressurser til å følge dette opp, har Glitre Nett ikke kommet i mål med denne piloten.

5 Flexibility

5.1 Batteries as Voltage Support (Lnett)

Piloten ble utført i perioden Q3 2019-Q4 2022.

5.1.1 Bakgrunn for piloten

Enkelte områder i nettet er spesielt utsatt for redusert spenningskvalitet ved høyt forbruk. Dette er som følge av lang avstand fra nettstasjon til kunde, eller på grunn av underdimensjonerte linjer. Nettselskap har plikt til å levere strøm av en gitt kvalitet ifølge Forskrift for Leveringskvalitet, og disse områdene må derfor utbedres uten ugrunnet opphold for å kunne overholde gitte spenningskrav. Dette kan resultere i store investeringer og få kunder å dele kostnaden på.

Hensikten med denne piloten var å teste om batterier egner seg som spenningsstøtte i lavspentnett, og dermed være bidra til å unngå eller utsette reinvesteringer. En batteripakke ble installert i et lavspent grisgrendt område som opplevde redusert spenning (men ikke utenfor krav) ved høyt forbruk. Kost-nytteverdien av batteriet ble også vurdert.

5.1.2 Resultat og diskusjon

I løpet av testperioden ble det erfart at batteriet kunne kompensere for langsomme spenningsvariasjoner, og dermed bidra til å overholde krav i FoL §3-3. Resultatene viste derimot at batteriet ikke kunne motvirke raske spenningsvariasjoner (FoL §3-4 og 3-5).

Styringssystemet til batteriet var ikke optimalt gjennom testperioden, der styringsparameterne for opplading og innmating måtte justeres manuelt for at batteriet skulle fungere optimalt i hver lastsituasjon. Dette burde vært automatisert. Det oppstod også tilfeller der batteriet var utladet og det var utfordrende å starte opp styringssystemene igjen fra kontoret. Driftspersonell måtte dermed reise ut for å gjenstarte batteriet.

Kost-nytte analysen viste at å bruke det aktuelle batteriet som spenningsstøtte i nettet var dyrere, både som midlertidig og permanent løsning, enn å reinvestere i nettet. En av årsakene var at levetiden til batteriet er vesentlig kortere enn hva levetiden for oppgradering i nettet vil være, samt at batteriløsning medfører noe energitap (tomgangstap i batteriet, tap i invertere, etc.). Den samfunnsøkonomiske analysen vurderte også ikke-prissatte virkninger, hvor reinvestering i nettet også kommer bedre ut i forhold til drift og vedlikehold, samt fremtidig økt nettkapasitet for nye kunder i området.

5.1.3 Innovasjon

Det ble laget en prototype av et flyttbart anlegg med et tilknytningskapp med sikring, slik at det kunne kobles direkte mot lavspentnettet.

5.1.4 Konklusjon

Det ble verifisert gjennom piloten at et batteri kunne brukes som spenningsstøtte i lavspentnett, men at det kun kunne kompensere for langsomme spenningsvariasjoner. Det ble vurdert at batteriløsningen var for kostbar i forhold til å reinvestere i nettet.

Etter testperioden ble det besluttet å ikke videreføre batteriløsningen i området, og det ble investert i ny kabel for å bedre spenningskvaliteten.

5.2 Optimization of Local Balancing with Battery (Lede)

Piloten ble utført i perioden 2019-2021.

5.2.1 Bakgrunn for piloten

For å optimalisere nettdriften når både batteri og lokal energiproduksjon er tilknyttet, er det viktig med gode styringsystemer for når batteriet skal lade og utlade. Å implementere et Energy Management System (EMS), et system som skal optimalisere lokal lastflyt, på et virkelig system er utfordrende.

Hensikten med denne piloten var å demonstrere metoder for optimal styring av fleksible ressurser og mikronett for en ekte case. Metoder for optimal styring ved predikasjonsalgoritmer for last og solkraftproduksjon ble benyttet. Målet var å få innsikt i hvordan systemet kunne utnyttes best mulig som en fleksibel ressurs som både ga tjenester til nettet og til eksterne aktører.

Piloten ble utført ved Skagerak EnergiLab.

5.2.2 Resultat og diskusjon

I arbeidet ble det utviklet moduler som ble integrert i et software-rammeverk for modellering og testing av EMS. Modulene som ble utviklet var probabilistiske lastmodellerings modeller, EMS implementering basert på *stochastic model predictive control* (SMPC), og en kommuniseringsløsning som Skagerak EnergiLab kan bruke på tvers av ulike forskningsaktiviteter for å hente ut historiske data.

Resultatene viste at SMPC kan bruke load forecast probability informasjon for å foreslå strategi for batteri lading/utlading, som både reduserer forventede operasjonskostnader og kontrollerer sannsynligheten for brudd på sikkerhetsgrensene til batteriet til et akseptabelt nivå.

5.2.3 Innovasjon

Nye og forbedrede prosesser ved at et rammeverk for Energy Management System (EMS) ble etablert. Det ble også utviklet en API for datautveksling med tredjepartsaktører i tilknytning til Skagerak EnergiLab.

5.2.4 Konklusjon

EMS implementering basert på *stochastic model predictive control* (SMPC) er et verktøy som kan brukes for å foreslå opplading/utladings strategi for et batteri, og dermed reduserer forventede operasjonskostnader og kontrollerer sannsynligheten for brudd på sikkerhetsgrensene til batteriet til et akseptabelt nivå.

5.3 Transition To and From Island Mode (Lede)

Piloten ble gjennomført i perioden 2018-2020.

5.3.1 Bakgrunn for piloten

Fremtidens kraftnett vil trolig bestå av en større andel mikronett. Dette er avgrensede nett med et klart tilkoblingspunkt mot overliggende nett. Dersom mikronettet har tilkoblet energilager, kan det i noen tilfeller driftes uavhengig av hovednettet (øydriфт). I overgangen mellom driftssituasjonene er det forventet at spenningen vil endres og kunne påvirke sluttbrukerne i form av brudd på spenningskvalitet og lysflimrer.

Hensikten med denne piloten var å vurdere spenningskvaliteten opp mot Forskrift for Leveringskvalitet i overgangene mellom nettdrift og øydriфт.

En rekke ulike tester (planlagte og ikke planlagte) som innebar å veksle mellom nettdrift og øydrift ble utført av Lede ved Skagerak EnergiLab. Anlegget består av et mikronett med tilkoblet solcellepanel, batteri og ulike laster.

5.3.2 Resultat og diskusjon

I testperioden ble det ikke registrert brudd på spenningskrav hos sluttbrukerne, og dermed ble spenningskvaliteten opprettholdt i henhold til Forskrift for Leveringskvalitet.

5.3.3 Innovasjon

Et batteri som tar over driften av et mikronett kan overholde gitte spenningskrav i overgangen mellom nettdrift og øydrift. Dette har ført til at et batteri har erstattet et dieselaggregat og øydrift kan bli aktivert dersom det skulle bli strømbrudd under en fotballkamp.

5.3.4 Konklusjon

Det ble verifisert gjennom piloten at spenningskvaliteten i overgangen mellom nettdrift og øydrift kunne overholdes.

5.4 Active Homes (Elvia)

Piloten ble utført i perioden Q4 2019- Q4 2021.

5.4.1 Bakgrunn

I enkelte områder i enkelte timer kan nettet være presset som følge av at flere kunder tar ut mye effekt samtidig. Dette fremskynder investeringsbehov i nettet, og det er derfor ønskelig å jevne ut effekttoppene.

Hensikten med denne piloten var å undersøke om effekttariffer kunne påvirke sluttbrukerne til å endre forbruksmønster og dermed aktivere implisitt fleksibilitet.

Elvia gjennomførte en nettleiepilot på rundt 9000 kunder. Halvparten fikk en nettleiemodell med rushtidsprising, mens andre halvparten fikk billig nettleie på natt og helg, men dyr på dagtid i hverdager. Pilotkundene ble også delt inn i ulike «budskapsgrupper», med miljøbudskap, prisbudskap, konkurransebudskap og nøytralt budskap. SMS-varsling ved når rushtimer sammenfalt med høye strømpriser ble også testet ut.

5.4.2 Resultat og diskusjon

I løpet av testperioden ble det erfart at dynamisk nettleie ga kundene insentiv til å flytte strømforbruket sitt, og at de ønsket å være aktive dersom de kunne spare penger på det. Pris ble funnet til å være den største motivatoren for å endre forbruksmønster. De som mottok direkte budskap om at det var høy pris og høy nettleie reduserte forbruket sitt 8 prosent mer enn de som ikke mottok SMS-varslingen.

5.4.3 Innovasjon

Piloten ga grunnlag for hvordan ny nettleiemodell skulle utformes senere.

5.4.4 Konklusjon

Det ble verifisert gjennom piloten at sluttbrukers forbruksadferd er mulig å påvirke ved å ha dynamisk nettleie, såkalt effekttariff. Piloten ga verdifull kunnskap og grunnlag for den nye nettleiemodellen som senere ble lansert.

5.5 iFleks (Statnett)

Piloten ble utført i perioden 2020-2024.

5.5.1 Bakgrunn for piloten

Forbruksprognoser og estimer for fremtidig topplast modelleres i Statnett for å fange opp behov for investeringer i nettet. Det mangler derimot kunnskap om hvordan forbruket til alminnelig forsyning påvirkes av variable sluttbrukerpriser i fremtiden. God kunnskap om prisfølsomhet til sluttbrukerne vil kunne redusere forbruksprognosene og dermed unngå overinvesteringer i nettet.

Hensikten med denne piloten var å kvantifisere hvordan variable sluttbrukerpriser påvirket forbruket i topplastperioder i fremtiden. Gjennom prosjektet ble prisfølsomheten til fremtidens sluttbrukere i topplastperioder estimert, med søkelys på husholdninger og næringsbygg i byområder.

Piloten ble gjennomført vinteren 2020 og 2021. Det ble inngått avtale med Gudbrandsdal Energi, Ishavskraft og Bodø Energi/Balcoo, der disse selskapene selv skulle verve husholdningskunder til å delta i piloten. Videre ble det inngått avtale med Entelios og Ishavskraft Bedrift for å få med noen kontorbygg, varelager, hoteller og helseforetak med i piloten.

Ulike prissignaler ble testet i piloten. Prissignalene var kunstige timepriser for strøm over ett døgn. Husholdningene hadde ca. 20 eksperimentdager. Prosjektet testet både ulike prisprofiler og prisnivåer. Det ble også gjennomført spørreundersøkelser.

5.5.2 Resultat og diskusjon

Husholdningene reduserte i gjennomsnitt strømforbruket mellom 2 og 11 prosent i timene med høyest strømpris. Resultatene viste også at 50 prosent av de som mottok prissignaler reagerte på prisen, selv om det var basert på manuell respons. Prisnivå og varigheten på de dyre timene hadde bare en mindre effekt på responsen. Husholdningene som responderte brukte i størst grad oppvarming og strømkrevende apparater som fleksibilitet for å kunne redusere strømforbruket i timer med høye priser.

For næringsbygg og offentlige bygg var det kun enkelte bygg som reagerte på prissignalene.

5.5.3 Innovasjon

Piloten fremskaffet nyttig kunnskap om hvordan sluttbrukere i byområder endrer strømforbruk på grunn av variable og høye strømpriser.

5.5.4 Konklusjon

Piloten viste at det er mulig å endre forbrukeradferd med ulike prissignaler. Det var en større respons hos husholdningskunder enn for næringsbygg og offentlige bygg. For husholdninger var det oppvarming og flytting av krevende strømkrevende apparater som ble brukt som fleksibilitet. For næringskunder var forbruk som ble brukt som fleksibilitet var ventilasjon, oppvarming, varmtvannsberedere eller en alternativ energikilde som kunne erstatte strøm i noen timer.

Reduksjonen av strømforbruk som ble vist under piloten var for lav til å kunne endre forbruksprognoser og topplastprognoser, siden usikkerheten i prognosen var større enn den observerte prisfølsomheten. Forbruksreduksjonen i høypristimer må være større enn 10 prosent for å kunne anse implisitt forbruksfleksibilitet som et alternativ til nettutbygging.

5.6 Fast Frequency Reserve (Lede)

Piloten ble utført sommeren 2021. Hitachi ABB Powergrid, Skagerak Kraft og Statnett var også med på piloten.

5.6.1 Bakgrunn for piloten

Med en økende andel variabel fornybar kraftproduksjon i kraftsystemet er det behov for flere enheter som kan virke frekvensregulerende. Per i dag er det i hovedsak vannkraftprodusenter som tilbyr systemtjenester til Statnett.

Hensikten med denne piloten var å teste om et batteri også kan bidra med fleksibilitet i markedet. Potensialet for piloten var å bruke batterier for å stabilisere driften av nettet ved å gi tilgang på raske effektreserver. I tillegg ville nytteverdien av batterier generelt øke dersom førstnevnte potensial verifiseres.

Lede inngikk avtale med Statnett om å bidra i FFR-markedet (demo 2021) med sitt allerede installerte batteri i Skagerak EnergiLab. Batteriet er designet slik at det kan drifte stadionlyset og deler av Skagerak Arena under fotballkamper.

5.6.2 Resultat

Avtalen var å levere 800 kW ved frekvensfall under 49,6 Hz, med aktiveringstid under 0,7 sekund og 30 sekunds varighet på leveransen. Antall aktiveringer innenfor bestilte time var minimum fire ganger ved vedvarende lav frekvens. I løpet av testperioden ble det verifisert at batteriet tilfredstilte tekniske kravspesifikasjoner og kunne levere til FFR markedet.

Det ble utviklet en prototype av Hitachi ABB Powergrid med funksjonalitet for å aktivere og levere FFR Flex i henhold til ukentlig bestilling fra Statnett. Denne prototypen ble i etterkant av Demoprojektet tatt i videre bruk som fullverdig kommersiell løsning. Det ble også etablert rutiner for mottak og iverksetting av FFR bestillinger, og prosjektet bidro til økt erfaring og bevisstgjøring knyttet til FFR-markedet.

5.6.3 Innovasjon

Batteriet i Skagerak EnergiLab kan raskt og effektivt bidra med systemtjenester til Statnett.

5.6.4 Konklusjon

Det ble verifisert gjennom piloten at batteriet kan levere systemtjenester i FFR-markedet raskt og effektivt. Potensialet for piloten om å stabilisere driften av nettet, samt øke nytteverdien av batterier generelt er derfor oppnådd. Det ble inngått kontrakt med Statnett om videreføring av systemtjenester i etterkant av piloten.

5.7 NODES flexibility platform (Linja)

Piloten ble utført i tidsrommet høsten 2020 til våren 2021. Piloten kalles også *Fleksibilitetspiloten i Bremanger*.

5.7.1 Bakgrunn for piloten

I perioden høsten 2020 til våren 2021 gjennomførte Linja en pilot på kjøp av fleksibilitet i Kalvåg i Bremanger kommune. Dette området har nettutfordringer som er symptomatisk for Linja sitt nettområde, og derfor var godt eget for å pilotere et fleksibilitetshandelsmarked. Kalvåg er plassert ute ved kysten på

enden av en lang radial, med spenningsutfordringer som følge av periodevis høy last. Planar om en ny sjøkabel vil løse utfordringene på sikt, men på grunn av lange ledetider var det ønskelig å opprette et fleksibilitetsmarked for sjå om dette virkemiddelet kunne bedre spenningskvaliteten som en midlertidig løsning.

5.7.2 Resultat og diskusjon

Det vart sammen med to lokale aggregatorer og fleksibilitetskilder gjennomført 10 tester. I løpet av testperioden ble det realisert 1,4MW, med et snitt på 20kW per test. Prissignal varierte fra 5 000 kr til 18 000 kr per MW levert. Maksimalt leverte fleksibilitet var 565kW på en handel, heilt i underkant av det som var identifisert som nødvendig for å oppnå ønska spenning. En var altså ikke i stand å oppnå ønsket volum med næringskundene involvert i de ti første testene. Det ble derfor mot slutten av pilotperioden beslutta å utvide piloten til å også involvere privatkundemarkedet for å få opp volumet. Innledende arbeid knyttet til identifisering av tilgjengelig fleksibilitetspotensial i Kalvåg og omegn ble gjennomført, men en videre utviding av piloten vart ikke realisert grunna ressursknapphet internt, og påfølgende fusjonsaktivitet mellom Linja og Mørenett.

Det ble gjennomført 10 tester som ble planlagt og gjennomført manuelt. Hver test ble gjennomført som et Teamsmøte og prissignalet ble satt i hvert møte og registrert i NODES-plattformen. Alle utkoblinger ble gjort manuelt og målinger ble gjort vha AMS-måler. Baseline ble før hver test satt til å være gjennomsnittet av det 5 siste dagene for den aktuelle timen/perioden. Avvik fra baseline og målt forbruk ble definert som levert effekt og kompensasjon utbetalt påfølgende dag.

I CINELDI er det forskninga som får støtte, og i mindre grad pilotering og teknologiutvikling. Dette har lagt føringer for omfang og ambisjonsnivå for Flexibilitetspiloten i Bremanger. Det er tydelig at det er behov for større investeringer innen systemstøtte og styringssystem for å få ned kostnaden og forenkle aktivering av fleksibilitet, men det har det ikke vært rom for i denne piloten.

Det er derfor nødvendig å ta resultater fra slike piloter videre i større demonstrasjonsprosjekt som drar nytte av virkemiddelapparat mynta på demonstrering og teknologiutvikling. Et godt eksempel på dette er Euroflex som kan betraktes som en spinoff fra de ulike fleksibilitetspilotene under CINELDI-paraplyen.

5.7.3 Innovasjon

Deltakende strømselskap har etablert en satsning på fleksibilitetshandel og gjort organisatoriske tilpassinger for å imøtekomme dette i etterkant av piloten. Linja har oppnådd økt forståelse og en modning innenfor denne tematikken som følge av piloten.

5.7.4 Konklusjon

Det er behov for å automatisere flere aspekt knytt til handel med fleksibilitet før dette kan implementeres blant norske nettselskap. Det er behov for å automatisere løsninger for innmelding av baseline, registrering av bestilling, bud på bestilling, realisering/aktivering av fleksibilitet, verifisering av levert fleksibilitet og oppgjør i etterkant. Nettselskapet mangler også gode verktøy for flaskehalsprognoser (fleksibilitetsbehov) og oversikt over aktuelle fleksibilitetskilder i et gitt geografisk område.

Overnevnte tiltak har potensiale til å strømlinjeforme prosessen og dermed få ned kostnaden. Dette er derimot kostnadsdrivende tiltak som er vanskelig å regne hjem uten gode støtteordninger.

5.8 Flexibility market (Fagne)

Piloten ble utført i tidsrommet 2020-2024.

5.8.1 Bakgrunn for piloten

Piloten har testet forbrukerfleksibilitet som et verktøy for å løse last og spenningsproblematikk hos sluttbruker. Kombineres ved bruk av etablert nettanlegg bestående av batteri og EMS system for nettstabilisering.

5.8.2 Resultat og diskusjon

<i>Fase 1</i>	<i>Etablering av løsning for økt effektleveranse til Utsira og bedre utnyttelse av eksisterende lokal energiproduksjon. utfordringer blir sikring av spenningsstabilitet ved ulike driftsforhold, både for levert energi til Utsira og ved innfasing av lokalt produsert energi. Fasen inneholder utvikling av modeller for stabil effektoverføring ved å benytte kraftelektronikk / batteripakke til å regulere reaktiv effekt. Fullskala pilotering av kraftelektronikkpakke og batteriløsning er en del av fase 1. Inkluderer micro-grid pilot i CINELDI</i>
<i>Fase 2</i>	<i>Her vil ny fornybar energi i form av siste generasjons solceller m/batteri og eventuell annen produksjon integreres i nettet. Produksjon fra nye energikilder og eksisterende vind-produksjon vil bli optimalisert til kapasitet på kabel, evt. fremtidig produksjon av hydrogen,</i>
<i>Fase 3</i>	<i>Gjennom deltagelse i FME CINELDI, er det etablert en pilot for fleksibilitetsmarked på Utsira. Formålet er å se på utvikling av nye handelsplasser for fleksibilitet i nettet (oppnå balanse mellom forbruk og produksjon), med fokus på utfordringer i svake distribusjonsnett. Dette gjøres i samarbeid med NODES, som leverer plattform som muliggjør etablering av markeds plass for kjøp/salg av fleksibilitet i det lokale kraftsystemet.</i>
<i>Fase 4</i>	<i>Forprosjekt kjøres for å videreutvikle «Utsira Living Lab» til et kommersielt test-senter under SIVA Katapulten Sustainable Energy. Målet her er å tilby testinfrastruktur til aktører / leverandører innen fornybare / bærekraftige energiløsninger.</i>
<i>Fase 5</i>	<i>I totalkonseptet for prosjektet var det tatt med utredning for mulig hydrogen- og biogass produksjon. Dette for å kunne øke lokal fornybar produksjon samt å ha alternativt og fornybart energilager for å øke beredskapen på Utsira. Denne delen har vist seg å forutsette det landbaserte fiskeoppdrettet som fortsatt ikke er vedtatt utbygd. Denne delen er vil bli tatt frem igjen nå når landbasert fiskeoppdrett igjen blir aktuelt. Vi ser fortsatt klare synergier her og vil gå i dialog med de nye aktørene som nylig har meldt interesse for landbasert matfisk produksjonsanlegg.</i>

5.8.3 Konklusjon

Det har vært utført vellykkede tester med handel over markeds plass både for høy og lav spenningsproblematikk mot privatkunde samt kommunesenteret Siratun. Arbeidet har vist at alt har fungert teknisk med alle aktørene i fleksibilitetsprosessen. Det har vært stor velvilje fra alle parter til å få løsningen på plass, selv om det har vært tidkrevende. Nå er veien gått opp, og videre etablering av fleksibilitet vil være betydelig enklere. Siratun er i produksjon på Nodes i dag, og det sendes daglig inn tilbud på fleksibilitet til markeds plassen Nodes.

5.9 Utsira: An islanded grid on an island (Fagne)

Piloten ble utført i tidsrommet 2020-2024.

5.9.1 Bakgrunn for piloten

Utgangspunktet for piloten var ønske om økt kapasitet for strømforsyningen til Utsira Kommune, dette for etablering av landbasert fiskeoppdrett. Samtidig var det spenningsutfordringer ute på øyen på kalde vinterdager. Istedenfor å legge ny sjøkabel så bestemte vi oss for å etablere spenningstøtte med bruk av kraftelektronikk og batteri der teknologien ble hentet fra Wartsila som er ledende i elektrifiseringen av skip.

5.9.2 Resultat og diskusjon

Resultatet fra denne piloten har vist at det å bruke batteri og kraftelektronikk som spenningstøtte i svake 22kV nett kan utsette, eller erstatte dyre nett investeringer. En ekstra nytteverdi er muligheten til å drifte ett nett i øymodus. Dette er ett meget bra beredskapsverktøy i værutsatte øysamfunn.

Fagne har nå hatt batterisystemet i Utsira i drift i 3 år. Dette har vist seg å fungere utmerket. Batteri og kraftelektronikken driver konstant med spenningstøtte. Vi har også sett at når kablet detter ut tar batteriet over, og alt går i øydrift. Det er også blitt opparbeidet mye erfaringer rundt bruken av batteri i nett.

5.9.3 Konklusjon

Erfaringspunkter:

- Microgrid er etablert med kraftelektronikk / batteri i samspill eksisterende vindmøller
- Spenningskompensasjon til 22kV-nettet
- Automatisert overgang til øydrift ved utfall sjøkabel
- 3 års driftserfaring med meget gode resultater og god kompetansebygging
- Supplert produksjonen i micro-grid Utsira med flere solcelleanlegg med smartstyring
- Gjennomført fleksibilitetspilot med handel over NODES
- Som spinn off her har vi etablert flere batteripakker som spenningstøtte i Fagne sitt lavspent nett
- Klargjort / i oppstart av å etablere "Utsira Living Lab", et fysisk Katapult Test Senter

5.10 System for use of flexible resources (BKK)

Piloten ble utført i tidsrommet Q3 2022-Q4 2024.

5.10.1 Bakgrunn for piloten

Målet for pilotprosjektet er å bruke fleksible kilder i nettet som et standard virkemiddel i drift og planlegging, der dette er det mest hensiktsmessige tiltaket. Avvikle gammelt system (LeKey), og ivareta nødvendig funksjonalitet.

5.10.2 Resultat og diskusjon

BKK valgte å samarbeide med SafeBase i Trondheim. BKK monterte ut deres RTU (remote terminal unit), som styrte vårt rele (av og på) og som i tillegg kunne sende øyeblikks verdier fra kundens måler. Først ble systemet testet på 5 pilotanlegg. Disse 5 pilotanleggene gav oss fine testforhold der man fikk se at teknologien fungerte. Deretter fortsatte BKK med å implementere og teste løsningen for øvrige anlegg (til en total på 60 anlegg), samt utvikle hensiktsmessig dashboard-visning i programvaren. BKK fikk full kontroll over pilot-kjelene. BKK fikk gode, pålitelige avlesninger på anleggets forbruk, med 30 sekunders forsinkelse. BKK har påbegynt et arbeid for å utvide funksjonalitet for styring av laster til å kunne trinne/strupe laster.

Som et alternativ til av/på-styring. Videre vil løsningen kunne brukes for å få oversikt over og styre flere fleksible kundegrupper som kunder tilknyttet på vilkår.

5.10.3 Innovasjon

BKK sin FLS-modul er blitt et godt verktøy for å ha kontroll på forbruk og utkobling av utkoblbare laster.

5.10.4 Konklusjon

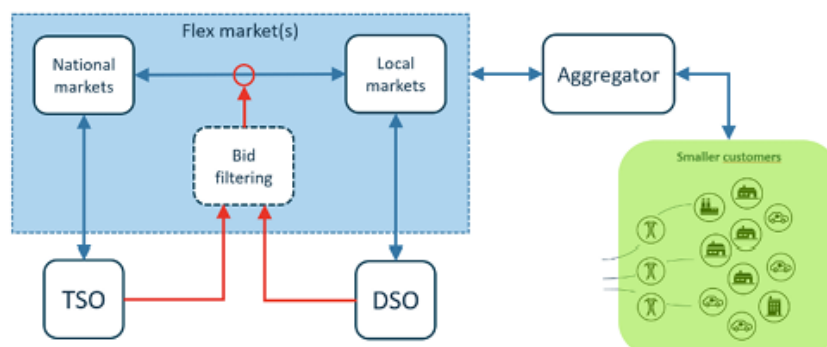
Målet for pilotprosjektet var å ta i bruk fleksible kilder i nettet som et standard virkemiddel i drift og planlegging, der dette er det mest hensiktsmessige tiltaket. For å få dette til var det behov for å utvikle et nytt verktøy. Pilotprosjektet har tatt i bruk Safebase sine RTU-er og Safemon (programvare/SW) for å få oversikt over og styre elkjeler og andre utkoblbare laster, slik at operatørene på Nettsentral til enhver tid ser hvor de fleksible kildene er lokalisert samt last i nåtid. Dette vil gjøre de fleksible kildene mer tilgjengelig i driften, ved behov i høylasttimer eller i feilsituasjoner. I prosjektet ble det også testet en varslingstjeneste mot kundene, med varsling på sms og/eller epost. Her ble kontaktpersoner informert om inn/ut-kobling med tidspunkt og varighet. Videre er det planer om å utvide funksjonaliteten i verktøyet til å kunne håndtere trinning av laster, som alternativ til full utkobling. Det vil også være aktuelt å vurdere om verktøyet kan brukes for andre kategorier av fleksible laster – som kunder tilknyttet på vilkår. Et tilleggsmål var å bruke fleksible kilder i planlegging av nettet og vurdere kildene som et alternativ til konvensjonell nettinvestering, enten for å utsette eller unngå nettinvestering.

5.11 Transmission and distribution coordination vis hierarchical clearing (Statnett)

Piloten ble utført i 2024.

5.11.1 Bakgrunn for piloten

Det er et økende behov for å ta i bruk fleksibilitet på ulike nettnivå i kraftsystemet – både for DSO og TSO. Fleksible ressurser lokalisert i distribusjonsnettet vil bidra til økt likviditet og reduserte kostnader, men det krever koordinering mellom DSO og TSO. Gjennom metodikk for hierarkisk klarering skal prosjektet undersøke hvordan fleksible ressurser lokalisert i distribusjonsnettet kan benyttes både av DSO og TSO. Nettbegrensninger knyttet til bruk av fleksibilitet lokalisert i distribusjonsnettet inkluderes i bud inn i reservemarkedene til TSO. Målsettingen er å bidra til et mer effektivt marked for omsetning av fleksibilitet, hvor både nettbegrensninger hos DSO og TSO er hensyntatt. Figur 3 viser et eksempel på hvordan en aggregator kan legge inn fleksibilitetsbud i et felles marked, og at man gjennom budfiltrering (hvor nettbegrensninger knyttet til fleksibilitetsbud blir evaluert), koordinerer hvordan budene sendes videre til nasjonale reservemarkeder og evt. lokale fleksibilitetsmarkeder.



Figur 3: Eksempel på hierarkisk koordinering hvor nettbegrensninger inkluderes i fleksibilitetsbud og videre benyttes for å løse lokale eller nasjonale nettproblemer.

5.11.2 Resultat og diskusjon

I prosjektet har det blitt gjennomført lastflytanalyser for å analysere hvordan fleksible ressurser tilknyttet distribusjonsnett, kan håndteres i balanseringen av kraftsystemet uten at dette skaper nye utfordringer. Metodikken for hierarkisk TSO-DSO koordinering ble vist med enkle eksempler i starten av prosjektet. Når metodikken skulle benyttes for en fullskala nettmodell hvor både distribusjons- og transmisjonsnett skulle kobles sammen, ble det utfordringer bl.a. knyttet til ulike format/versjoner på nettmodellene og håndtering av store datasett. Nyttige erfaringer fra prosjektet er:

- Kompatibilitet: Kompatibilitet både mellom versjoner av verktøy (f.eks. PSS/e) og nettmodeller er nødvendig
- Datakvalitet nettmodeller: Korrekte modeller er viktig for å sikre konvergens i lastflyt. Grundig testing og validering opp mot referansem modeller er viktig for å sikre pålitelige resultater.
- Pålitelige konvergering: Direkte konvergering fra et format til et annet format er mer pålitelig enn konvergering mellom flere ulike format.
- Support: Kvalitetssikring av nettmodeller og resultater krever samhandling med netteiere
- Risikohåndtering: Risiko bør identifiseres og håndteres tidlig i prosessen med konvertering mellom format. Det er viktig å velge den mest pålitelige metoden for å sikre konsistente og korrekte resultater.
- Spesielløsninger: Vær forberedt på at det kan bli behov for spesielløsninger for å få gjennomført analyser (f.eks. at Matpower kjøres fra Python, og ikke fra Matlab).

5.11.3 Innovasjon

Metodikk for hierarkisk TSO/DSO koordinering som muliggjør økt bruk av reserver tilknyttet distribusjonsnett, er demonstrert i prosjektet.

5.11.4 Konklusjon

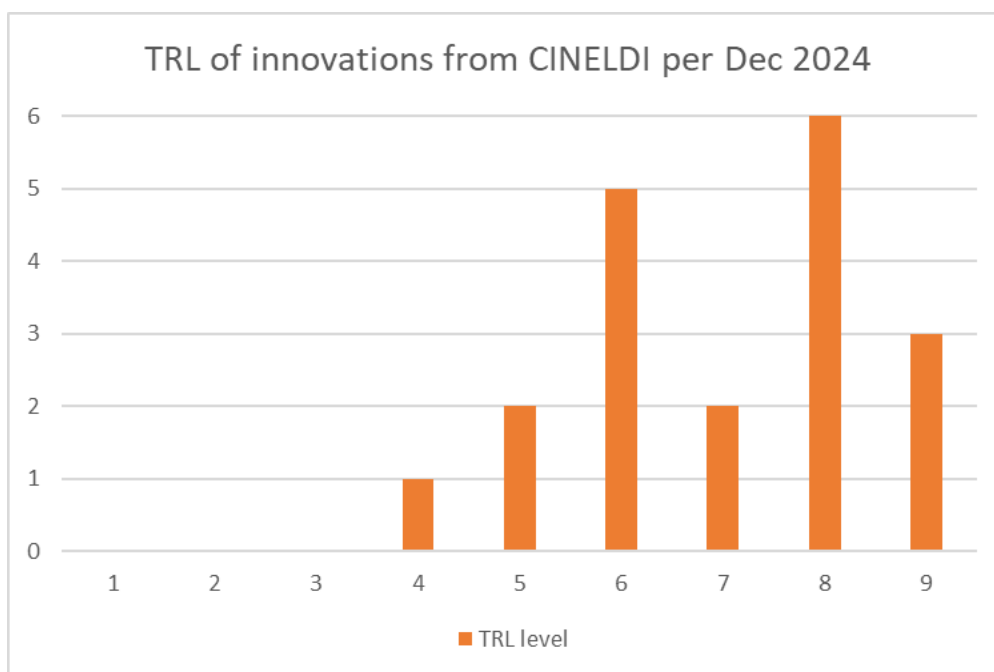
Prosjektet har demonstrert hvordan hierarkisk TSO-DSO koordinering kan benyttes for å øke bruk av fleksible ressurser tilknyttet distribusjonsnett, for balansering av kraftsystemet, og at dette gjøres uten at det skapes nye problemer i kraftsystemet (f.eks. nye flaskehals oppstår i distribusjonsnett som følge av aktivering av reserver). I prosjektet har det blitt gjennomført lastflytanalyser, basert på en nettmodell hvor både distribusjonsnett og transmisjonsnett er kombinert. Det har vært noen utfordring knyttet til konvergens av lastflytanalyser basert på disse to ulike nettmodellene, bl.a. på grunn av ulike format og ulike versjoner, men dette har blitt løst i løpet av prosjektet. Piloten har vært gjennomført på realistiske case i Trondheims-området, hvor det er laget en nettmodell bestående av både distribusjons- og transmisjonsnett. Prosjektet går ut 2024, og endelige resultater er for tidlig å ha klare, så gjeldende beskrivelse av erfaringer fra pilot fokuserer derfor på markedskonseptet.

6 Innovasjoner, konklusjoner og anbefalinger

6.1 Innovasjoner fra piloter

I CINELDI er innovasjoner definert som noe nytt, nyttig og nyttiggjort [8]. Det er særlig det siste punktet som kan være vanskelig å definere – når er noe nyttiggjort? I CINELDI-pilotene er det vel mer riktig å si at det er «potensielle» innovasjoner, siden mange av innovasjonene ikke er tatt helt i bruk overalt i organisasjonene. Innovasjoner fra CINELDI (50 stykker) er beskrevet i en-sidere på engelsk på denne nettsiden: <https://www.sintef.no/projectweb/cineldi/innovation/>. 19 av disse er fra piloter, se linker i Tabell 1. I tillegg er det 11 innovasjoner som ikke er beskrevet som en-sider. Det er to årsaker til dette: det er flere innovasjoner på samme pilot (og hver innovasjon er ikke beskrevet med en egen en-sider) og det mangler nok informasjon til å beskrive innovasjonen. Oppsummert var det 30 innovasjoner fra piloter og 19 av disse er beskrevet i en-sidere. For de fleste av pilotene, som har sluttrapport, vil det også være mulig å lese om innovasjonene i sluttrapporten. Innovasjoner i CINELDI er også beskrevet i en ennå upublisert CIREN-artikkel [9].

TRL nivåene på innovasjonene fra piloter er vist i figuren under. TRL-nivået på de fleste innovasjonene er mellom 6-8.



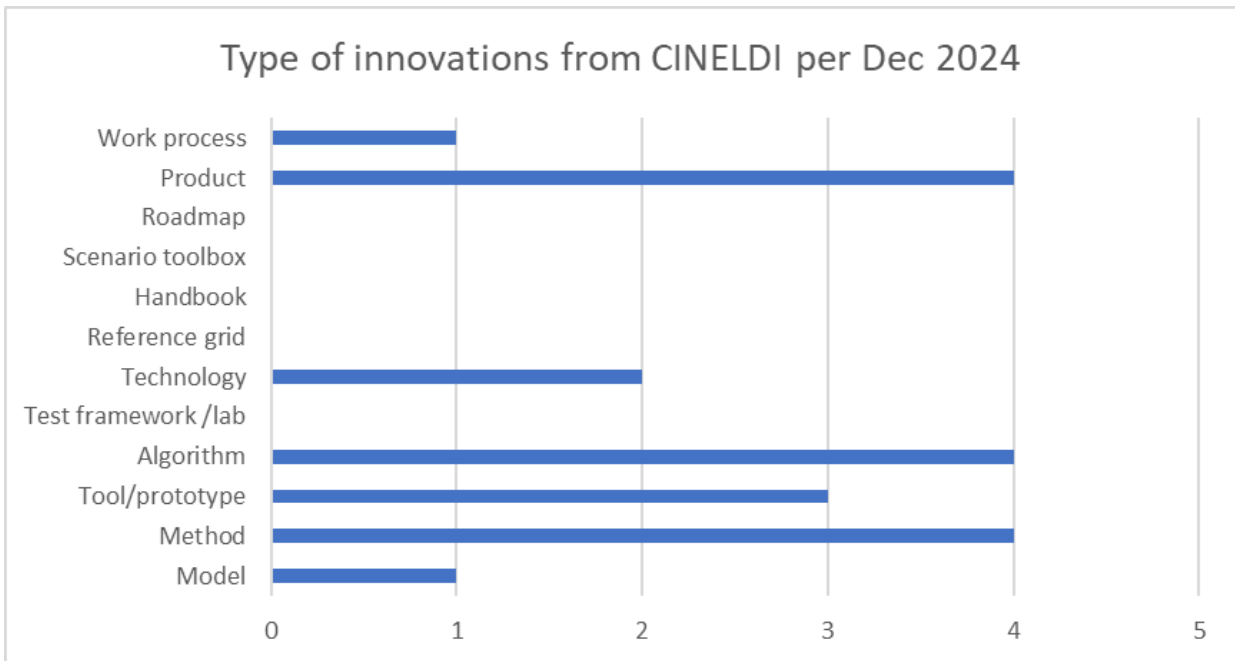
Figur 4: TRL-nivå på innovasjoner fra piloter.

Innovasjonene i CINELDI er kategorisert i følgende kategorier:

- Models (e.g. simulation models, decision support model, incl. market models and business models)
- Methods and tools
- Algorithms (e.g. algorithms for state estimation)
- Test framework/method for (e.g. scada cyber security) in the smart grid Laboratory or field test/living labs)
- New/improved digital technologies (e.g. sensors, digital secondary substation; protection-concepts)
- Reference grid (s)
- Handbook(s) (type of reference work or collection of instructions that are easily consulted)

- Scenario toolbox
- Roadmap (for transition strategy)
- Product
- New/ improved work processes

Figur 5 viser innovasjoner fra piloter fordelt på disse kategoriene. Det er flest produkter, algoritmer og metoder.



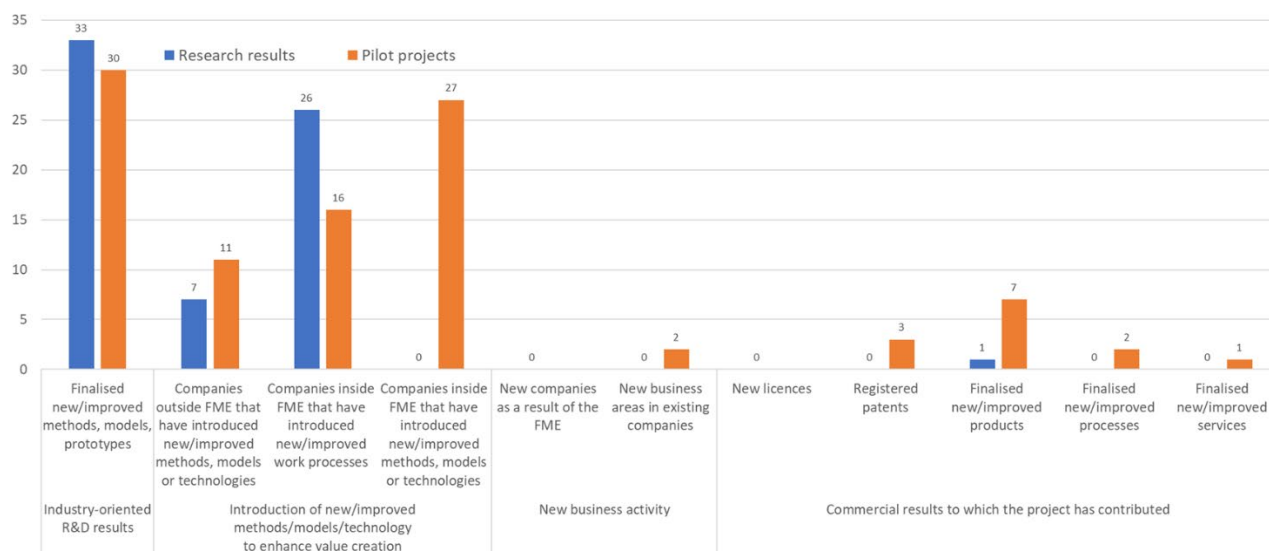
Figur 5: Innovasjoner inndelt i kategorier.

I tillegg til innovasjonene angitt over har Norges Forskningsråd et eget opplegg for å telle Key Performance Indicators (KPI) fra FMEer (og andre prosjekter). Figuren under viser hvilke kategorier Norges Forskningsråd har, totalt 11 stykker. Det ble rapportert 99 indikatorer fordelt på disse 11 kategoriene fra piloter i CINELDI.

Industry-oriented R&D results	Finalised new/improved methods, models, prototypes
Introduction of new/improved methods/models/technology to enhance value creation	Companies outside FME that have introduced new/improved methods, models or technologies
	Companies inside FME that have introduced new/improved work processes
	Companies inside FME that have introduced new/improved methods, models or technologies
New business activity	New companies as a result of the FME
	New business areas in existing companies
Commercial results to which the project has contributed	New licences
	Registered patents
	Finalised new/improved products
	Finalised new/improved processes
	Finalised new/improved services

Figur 6: KPIer fra Norges Forskningsråd.

I tillegg til piloter har også forskningen i CINELDI bidratt til mange KPIer. Figuren under viser samlet innrapportering til Norges Forskningsråd fra CINELDI. Piloter er merket i oransje.



Figur 7: Totalt antall KPIer fra CINELDI per kategori og delt inn i forskning og piloter.

6.2 Konklusjoner og anbefalinger til nye pilot prosjekter

Hvorfor hadde vi pilotprosjekter i CINELDI? Det er fordi piloter har vært viktig for å nå målene i CINELDI, få til samarbeid og aktivitet hos alle typer partnere i CINELDI; forskere, leverandører og nettselskap. Målet med pilotene var å teste og verifisere teknologier og løsninger for fremtidens intelligente distribusjonsnett. Når man jobber i piloter, så får man nye ideer, det skjer innovasjon og nye forskningsbehov dukker opp. Så piloter både svarer på spørsmål og skaper nye spørsmål.

Det har vært 4 hovedtemaer for piloter i CINELDI og de 33 pilotene i CINELDI har vært jevnt fordelt mellom disse temaene. Temaene henger selvfølgelig sammen med forskning i CINELDI og er viktige temaer for nettselskapene og dermed også for leverandørene i CINELDI. Selve pilot-aktiviteten kan ha foregått ute i nettet, analyse på kontoret eller i lab eller en kombinasjon. Det er ikke alle pilotene hvor installasjon av nye sensorer eller teknologi har vært en del av piloten, men hvor data og analyse av disse har vært det viktigste. Det har også vært aktivitet i The Norwegian Smart Grid lab knyttet til piloter. Der kan man teste teknologi i kontrollerte former og eksempelvis skape feilsituasjoner, som kan være utfordrende å få til i nettet.

I en FME, med mange partnere, så er jo samarbeid et nøkkelord. Poenget med å ha en pilot i nettopp et slikt senter må jo være å utnytte mulighetene for samarbeid. En måte å måle om en pilot er vellykket er jo om den kan oppskaleres. Altså at teknologi/løsningen går fra kun å være i et pilotområde til å bli standardløsning. Dette har vært vanskelig å måle, men i CINELDI har tre leverandører økt utbredelsen av sin teknologi; NODES, Heimdall Power og Disruptive Technologies. Disruptive Technologies har også rapportert at erfaringer fra norsk energibransje var en døråpner til andre land. CINELDI kan ikke ta æren for all økt utbredelse, men vi har bidratt. Hva skal til for å komme videre etter piloten? Resultat fra piloten er positivt, men hva betyr det? Da får man jo teste om man hadde gode mål og suksesskriterier for piloten og det kan være utfordrende. Hvis kriteriet er at en løsning skal være driftssikker og man har pilotert «på siden av alle systemer» - er dette representativt nok til å konkludere på dette? Dette er en utfordring som vi tar med oss videre til fremtidige piloter.

En annen ting som er viktig er at kost/nytte kan endre seg over tid. Presses strømmettet mer og forårsaker flere feil og KILE øker– da kan det lønne seg å fokusere på selvhelende nett eller teknologi som hjelper deg å finne feil, selv om slike teknologier akkurat nå ikke lønner seg. Det er derfor viktig med en hukommelse i bransjen og der kan en FME hjelpe til. For nettselskapene må piloten være strategisk viktig for at man går videre og det må være forankret i organisasjonen. Det er derfor viktig å involvere også beslutningstagere i pilotering. I noen tilfeller så vil det være behov for mer pilotering, uttesting eller forskning før man kan ta teknologi i bruk. Et viktig poeng i den sammenheng, er at man kan gjøre mye i en FME, men det kan være riktig å bygge på resultater og spinne ut ideer i andre prosjekttypene. Alt kan ikke løses i en FME, men en FME er fantastisk til å kunne få oversikt og strukturere forskningen og pilotering og som en plattform for langsiktig samarbeid mellom forskning og næringsliv innenfor et så stort område som fremtidens strømmnett. En viktig lærdom fra CINELDI er at alle piloter bør **vurderes** for videreføring utenfor CINELDI med annen finansiering. Et eksempel kan være piloter knyttet til fleksibilitet, hvor det er behov for å gjøre større innkjøp av fleksibilitet enn det som er mulig innenfor en CINELDI-pilot. Da kan det være riktig å jobbe for annen finansiering utenfor CINELDI for å kunne gjøre nødvendig oppskalering av piloten. Da kan ENOVA eller Innovasjon Norge eller EU være andre finansieringskilder som kan støtte slik videreføring. Hvordan en pilot prosjekt utformes er selvfølgelig avhengig av målet med piloten og finansieringen. Ved offentlig finansiering som Norges Forskningsråd, Innovasjon Norge og ENOVA vil det være spesifikke betingelser som må oppfylles. I FMEer gis det forskningsmidler til forskningsinstitusjoner og ikke til nettselskaper eller leverandører. Dermed må all pilotaktivitet gjøres som egeninnsats fra de involverte partnerne (med unntak av forskningsinstitusjoner). Dette setter selvfølgelig grenser hvor mye innsats de ulike deltagerne kan legge inn i pilotprosjektene.

Hvem er en pilot nyttig for? Selvfølgelig de som deltar i piloten, men CINELDI har vært mer ambisiøse enn det. Pilotene skal være nyttig for alle partnere i en FME og resultater har blitt delt i webinarer og sluttrapporter. Det krever ressurser for en partner i CINELDI som ikke har vært med på en pilot skal få nytte av den. Ideelt sett kunne man tenke at om nettselskap A har pilotert noe, så slipper nettselskap B, da kan nettselskap B heller gå videre eller pilotere noe annet. I CINELDI så har vi tatt et ansvar for å spre informasjon og vi krever sluttrapporter for å få til resultatdeling og kanskje bidra til at færre nettselskaper trenger å pilotere det samme, et slags bransjeansvar for at ressurser på piloter brukes best mulig. Sluttrapportene blir også tilgjengelig i etterkant av CINELDI. Det er et stort behov for kunnskapsdeling og koordinering – hva må man teste selv og når kan man stole på erfaring fra andre i bransjen?

Erfaringsoverføring er utfordrende når det er 33 piloter. CINELDI-pilotene har stort sett involvert to parter, et nettselskap og enten en leverandør eller forskningspartner. Erfaringsoverføring krever mye arbeid og stort engasjement og ressurser fra andre partnere. En klar anbefaling er å lage større piloter, eventuelt med flere delprosjekter, for å sikre samhandling og mer “automatisk” erfaringsoverføring ved at flere samles i et pilotprosjekt. Små piloter er også sårbare for at enkeltpersoner slutter, blir sjuk osv. En pilot må organiseres som et prosjekt, med mål, aktivitet, budsjett, leveranser og tidsfrister. Det er viktig å sette av nok tid og ressurser til å gjennomføre det som er planlagt, men også kunne gjøre justeringer eller avslutte piloten, om resultatene tilsier det.

Nytteverdi er større i piloter med samarbeid mellom flere parter, men det er også mer krevende å koordinere. Samarbeid gjør at man lærer av hverandre og kan eksempelvis teste same teknologi på ulike case. Større samarbeidspiloter gjør en mindre sårbart for endringer og sikrer at temaet er relevant for flere. Flere parter kan også bidra til mer oppmerksomhet, prioritering og entusiasme – det skal ikke undervurderes for å få gjennomført piloter. Et pilotprosjekt er et prosjekt med mennesker involvert som skal samarbeide og når dette fungerer kan det bli ordentlig bra. Det er en del barrierer for å få til nytten og dette ser vi ofte tydelig når vi piloterer, så det er en viktig del av en pilot. Det kan være organisatorisk, sikkerhetsmessig, teknologisk eller være knyttet til kost/nytte vurdering. Slike lærdommer forsøker vi å beskrive i sluttrapport og fortelle om, slik at andre skal kunne ta lærdom.

7 Referanser

- [1] Tømme, E., 2017. [Internett]. Available: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/handle/11250/2484598>
- [2] Omslandseter, R.O., Osland, P.O., Stokastisk lastmodellering. CINELDI-rapport 26.11.2020
- [3] Omslandseter, R.O., Bruk av en stokastisk modell for modellering av forbruk. Presentasjon 2020
- [4] Sørbye, A. H., Wagner, P.: Effektivitasjon innenfor en time - AEN Pilot CINELDI 2021. CINELDI-rapport 4.8.2021
- [5] Omslandseter, R.O., Gjestvang, J., CINELDI Pilot Effektanalyse AE Nett - Webinar 25.8.21, presentasjon på CINELDI-webinar den 25.8.2021.
- [6] Gjestvang, J., Estimering av maksforbruk hos husholdningskunder i Agder Energi Nett via maskinlæringsmodeller og andre algoritmer, CINELDI-rapport 20.8.2021.
- [7] Wagner, P., Vurdering av verdi av 30-sek data (mot 5-min data) fra nettstasjon. CINELDI-rapport 1.1.2022.
- [8] Evers, N., Cunningham, J., Hoholm, T., "Bringing Innovation to the Marketplace", Technology Entrepreneurship, 2014
- [9] Istad, M, Kjølle, G., Åsheim, T., Innovation and pilots as important steps for the transition of the electricity distribution grid, CIRED 2025 Conference16 – 19 June 2025 (unpublished in February 2025)

FME CINELDI

Host: SINTEF Energy Research in cooperation with NTNU
Visiting address: Sem Sælands vei 11, N-7034 Trondheim
Post address: P.O.Box 4761 Torgarden, N-7465 Trondheim
Telephone: +47 454 56 000*
E-mail: cineldi@sintef.no
Enterprise/VAT No: NO 939 350 675 MVA
<http://www.cineldi.no>

