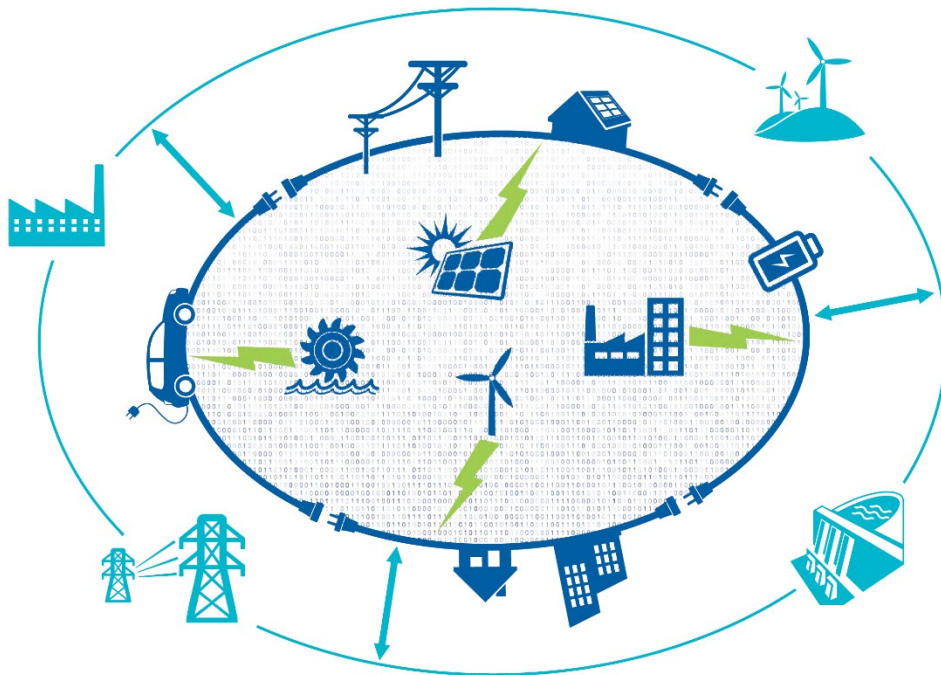


Pilot sluttrapport

Flexible power grid by dynamic operation

Authors: Therese Åsheim, Iver Endresen, Erling Solberg, Vemund Losnedal, Magnus Helgeby, Bjørn Pedersen, Augusta Pithalice, Arne Våge, Kristen Skrivarvik, Karl-Fredrik Skalleberg, Erling Tønne



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

Prosjektnotat

TITTEL			
Resultat og erfaringsnotat for Pilot: <i>Flexible power grid by dynamic operation</i>			
WORK PACKAGE	VERSJON	DATO	ANTALL SIDER
WP Pilot	1.0	2024-12-06	59
FORFATTER(E)		WP-LEDER	GRADERING
Heimdall Power: Therese Åsheim, Iver Endresen, Erling Solberg, Vemund Losnedal, Magnus Helgeby, Arva: Bjørn Pedersen, BKK: Augusta Pithalice, Fagne: Arne Våge, Linja: Kristen Skriveravik, Lede: Karl-Fredrik Skalleberg, Tensio TN: Erling Tønne  <small>Therese Åsheim (Jan 8, 2025 09:47 GMT+1)</small>		Maren Istad  <small>Maren Istad (Jan 8, 2025 08:57 GMT+1)</small>	Åpen

SAMMENDRAG

Om Piloten

Dette prosjektnotatet beskriver en storskala pilot gjennom CINELDI ledet av teknologileverandøren Heimdall Power. Deltakere i piloten har vært 6 norske DSOer og Statnett som systemansvarlig og samtalepartner.

De 6 norske DSOene som har vært med er:

- Arva
- BKK
- Fagne
- Linja
- Lede
- Tensio TN

Hovedmålsettingen med prosjektet har vært å se på hvordan en storskala digitalisering av høyspent linjenettet med linjesensorer kan bidra til å utløse større fleksibilitet i hele kraftsystemet og hvilke verdier dette kan bidra med for DSOer og TSO. Utgangspunktet for piloten har vært å ta i bruk teknologien kalt Dynamic Line Rating (DLR)¹ med bruk av linjesensorer og software levert av den norske teknologileverandøren Heimdall Power. Ambisjonen har vært å overvåke nok tilstøtende linjer og spenningsnivåer til å forske på kapasitetsutnyttelse, flaskehalsmonitorering og -håndtering i et dynamisk styrt nett, der flaskehalsene vil «flytte seg» mellom nettkomponenter, nettnivåer og nettområder.

Formålet med prosjektet har vært å utvikle, teste og validere use-case som nyttiggjør seg linjenettets iboende fleksibilitet/reservekapasitet i et systemperspektiv. Med mange målepunkt fordelt utover større deler av nettet i et område, samt flere nett fordelt utover landet, vil resultatene kunne si noe om det overordnede potensialet ved instrumentering av det norske kraftsystemet.

¹ DLR = Dynamic Line Rating - En metode som beregner kapasiteten til kraftlinjer i sanntid basert på faktiske værforhold, som temperatur, vind og solinnstråling.

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.

Problemstilling

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.

Oppsummering av resultater

Piloten har hatt 5 hovedmålsetninger: (1) økt kapasitet, (2) økt forsyningsikkerhet, (3) mer effektiv nettdrift og nettplanlegging, (4) økt innsikt i kraftsystemets behov og (5) bedre TSO-DSO integrasjon og koordinering.

Delpilotene har hver for seg bidratt til å produsere resultater knyttet til disse. Dette er oppsummert under.

1. Økt kapasitet:

Overordnet viser piloten at det er et stort potensial for økt kapasitet i eksisterende nett ved å ta i bruk DLR sammenlignet med dagens metoder for å sette driftsgrenser (SLR² eller AAR³). For samtlige installasjoner er det et potensiale for økt kapasitet dersom nettselskapene evner å ta i bruk DLR i drift og planlegging.

For Arva viser analysene av DLR-kapasitet fra neuronene at kraftlinjene har mer kapasitet enn det Fosweb⁴-grensene skulle tilsa, i 70-80 % av tiden i løpet av et år. FosWeb-grenser kan defineres som AAR grenser ved at de varierer med lufttemperatur i 10-graders steg, mens de resterende værparametrene antas statiske. For en av linjene instrumentert er P50 for den økte kapasiteten ca. 26 MW, tilsvarende er den ca. 35 MW for en annen linje. Dette viser klart at en bruk av DLR-grenser vil bidra til at kapasiteten i dagens nett kan utnyttes bedre.

For Linjas pilot som så på kapasitet knyttet til N-1 kriteriet for et viktig snitt i regionalnettet, viste analysene at N-1 i større grad ble opprettholdt i overføringsnittet enn antatt. Dette kan potensielt redusere behovet for spesialregulering i området, da det ofte ble brukt spesialregulering som et tiltak når dagens driftsgrenser tilsier at det ikke er nok N-1 kapasitet.

BKK bruker i dag en lufttemperaturjustert metodikk for beregning av driftsgrenser for linjene sine (AAR³). Denne metodikken har synliggjort 10% ekstra kapasitet i nettet i 50% av tiden sammenlignet med SLR.

² SLR = Static Line Rating - en metode for å fastsette kapasiteten til kraftlinjer basert på statiske værforhold, som temperatur og vind.

³ AAR = Ambient Adjusted Rating - en metode for å fastsette kapasiteten til kraftlinjer som hensyntar varierende lufttemperatur, men antar resterende værparametre til å være statiske.

⁴ FosWeb = etablerte kontaktpunkt mellom nettselskap og Statnett som systemansvarlig. Brukes til ulike typer rapportering av data samt tilgjengeliggjøring av informasjon, blant annet driftsgrenser for linjer. Driftsgrenser for luftnett bruker lufttemperaturjustert metodikk (AAR).

DLR beregnet fra Heimdall Neuroner viste at det er ytterligere 24% mer kapasitet enn dagens metodikk 50% av tiden.

2. Økt forsyningsikkerhet:

Til tross for at resultatene har vist at det for det meste av tiden er mer kapasitet i linjenettet enn det man opererer etter i dag, viste de også at det i noen perioder er lavere kapasitet. Dette representerer en risiko man i dag tar i driften av nettet. Imidlertid har en i dag ingen forhold til når man tar denne risikoen. Med sanntidsovervåking av linjene kan dette synliggjøres og varsles om. Digitalisering av linjenettet gir derfor en viktig økt sikkerhet som blir spesielt viktig når nettet skal driftes tettere opp til maksimumsgrensen oftere.

For Linja sin installasjon på Bryggja-Begsle ble dette synliggjort ved at en forventet korrelasjon mellom mye produksjon fra vindkraft og kapasitet på linjene pga. kjøling fra vinden, ikke kunne garanteres. Resultatene viste at det ofte var mindre kapasitet enn forventet i denne flaskehalsen når det samtidig var mye produksjon i vindkraftanlegget som matet inn i nettet. Årsaken var at denne flaskehalsen lå i en dal og fikk mye vindskygge og mindre effekt av kjøling fra vind. Det viser at for situasjoner der flaskehalsene i linjenettet ikke er lokalisert på samme plass som vindproduksjonen er det viktig å ha målinger for å sikre forsyningsikkerheten.

Digitalisering med sensorer gir også annen nyttig overvåking for forsyningsikkerheten som islast monitorering, noe som ble testet ut i praksis for Fagne sine linjer. Linjene viste seg å bli lavt belastet gjennom prosjektperioden, noe som var uventet, og dermed spesielt utsatt for islast. Neuronene ga Fagne en trygghet med overvåking for feil i en periode frem til de fikk bygget ny linje. De brukte varslinger i Heimdall Cloud til å vurdere tiltak som avising ved å laste opp linjen.

3. Mer effektiv nettdrift og nettutvikling:

For flere av nettselskapene er DLR fra Heimdall Neuroner integrert mot SCADA som er systemet nettet driftes med på driftssentralen. Dette gjør at driftsoperatøren kan agere på alarmer på målt temperatur eller brudd på aktuell DLR, framfor en alarm på manuelt oppdaterte strømgrenser basert på FosWeb-grenser. Dette gir høyere grad av presisjon og utnyttning av nettet, samt tryggere drift og mer spillerom.

Arva demonstrerte nytten overvåking med Neuroner gir i forbindelse med utkobling og vedlikeholdsarbeid. Caset viste at den økte kunnskapen og tilgang på data med bedre kvalitet, øker mulighetene for utkobling av nettet. Dette gjør gjennomføring av vedlikehold og tilstandskontroller mer effektivt, og tillater også en bedre utnyttelse av dagens nett. Uten målingene fra Neuronene ville ikke Arva kunnet utført vedlikeholdet, eventuelt at det ble brukt store spesialreguleringskostnader for å få det til.

For flere av linjene som har blitt instrumentert er det blitt synliggjort hvilke nedstrømskomponenter som er begrensende, hvor mye og hvor ofte. Piloten har vist hvor mye potensial det er i økt kapasitet dersom disse mindre komponentene blir skiftet ut. Som vist i Tensio sin delpilot kan dette ha en betydelig mindre kostnad enn å bytte ut en hel linje, og derfor viktig innsikt til nettplanlegging når kapasitet tilgjengelig vurderes. Eksempelvis vil en utskifting av en strømtransformator for med merkestrøm på 800 A koste ca. 200 000. Bygging av en ny linje koster rundt 5 MNOK per km [1]. Utskifting av en nedstrømskomponent i kombinasjon med DLR teknologi representerer derfor en brøkdel av kostnaden å bygge en ny linje.

Piloten har videre vist at det er stort potensiale i å mer effektivt vurdere nettutvikling og at bruk av DLR kan være et godt alternativ til nettførsterkninger. Spesielt i kombinasjon med muligheten til å justere produksjon ved produksjonsbegrensning eller forbruk ved tilknytning på vilkår avtaler, fleksibilitetshandel og utkoblbare laster.

Gjennom CINELDI ble det utført forskningsarbeid [2] som demonstrert fordelene ved å bruke DLR-data for å øke utnyttelsen av nettet i sammenheng med langsiktig nettplanlegging for et reelt regionalt høyspent distribusjonsnett som var en del av prosjektet. Artikkelen viser at DLR gir mer reservekapasitet, som

muliggjør en større økning i belastningsetterspørselen i nettet uten nettinvesteringer, samt at å handle basert på denne informasjonen som en del av en nettutviklingsstrategi tilsvarer den reelle muligheten til å utsette beslutningen om å gjøre nettinvesteringer

4. Økt innsikt i kraftsystemets behov:

Analysene fra Arva viste at DLR i rundt 80 % av tiden i løpet av et år gir en betydelig høyere kapasitet enn grensene i Fosweb for snittene overvåket. Analysene viser videre at spesialregulering i liten grad bidrar til å overholde N-1 i snittene, og må derfor vurderes til å være lite treffsikker. En mulig hypotese her, er at behovet for spesialregulering er mindre enn dagens nivå, og at kunnskapen fra Neuroene og DLR-kapasiteten bør brukes til å revidere driftspolicyen, slik at den blir mer treffsikker med tanke på spesialregulering.

Tensio demonstrerte hvordan bruk av DLR og måling av strøm og temperatur på linjer kan gi verdifull innsikt om mellomspent distribusjonsnett og at DLR også kan brukes der for å utnytte nettet bedre. Det vil være mulig å styre fleksibel last og produksjon slik at nettet er mest mulig optimalt utnyttet. Målinger fra Neuroner kan gi innsikt i når, hvor lenge og hvor mye fleksibilitet det trengs fra forbrukere. Denne innsikten kan være grunnlag for å vurdere flere tilknytninger i et nett som tilsynelatende har begrenset med kapasitet.

Lede konkluderte også med at data fra Neuroner kan brukes som beslutningsstøtte for kunden dersom man ønsker å vurdere tilknytning på vilkår.

5. Bedre TSO-DSO integrasjon og koordinering:

Prosjektet viste at det er et behov for deling av DLR data mellom DSO og TSO for å kunne nyttiggjøre seg av DLR kapasitet i regionalnetts-snitt⁵. Potensialet for å redusere kostnader for spesialregulering er stort, noe som ble vist gjennom masteroppgaven til V. W. Nilsen og M. Utengen [3]. De viste at spesialreguleringskostnader alene sparer inn omtrent ti-gangeren av hva det koster å instrumentere med neuroner i et norsk regionalnettområde. Spesialregulering er et verktøy TSO kan bruke når det er begrenset kapasitet i overføringene mellom forbruk og produksjon i nettet.

Prosjektet har vist at det ofte ikke er behov for den spesialreguleringen som brukes fordi DLR viser at det er nok kapasitet. Dersom data om DLR i DSO sitt nett kan deles med TSO slik at begge bruker samme data til drift kan dette potensialet utnyttes. Datadeling om kapasiteten i nettet gjøres i dag gjennom FosWeb⁴ som er begrensende og ikke støtter funksjonalitet for dynamisk oppdaterte grenser. Det ble i prosjektet gjennomført innledende møter for å kartlegge begrensningene og mulighetene til datadeling, samt gjort arbeid på DSO sin side for å tilrettelegge for det. Integrasjon ble ikke fullført og blir tatt videre i forskningsprosjektet MaxGrid.

⁵ Regionalnetts-snitt: to eller flere linjer i regionalnettet som driftes avhengig av hverandre ofte under N-1 prinsippet. Dvs. at dersom en av linjene i snittet faller ut skal de andre linjene kunne tåle lasten.

KONKLUSJON OG VIDERE ARBEID

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.

Målsetningen 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 vi har sett verdien av å ha mange partnere med i en felles pilot som del av en forskningssenter som CINELDI har vært.



Figur 1: Heimdall Neuron på en av linjene i prosjektet. Installert med drone.

Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunnsinformasjon om pilotprosjektet.....	7
2	Om Piloten og fysisk pilotområde.....	11
3	Resultater og erfaringer fra Piloten	14
3.1	Publiseringer	14
3.2	Resultater fra Heimdall Power.....	15
3.3	Resultater fra Arva	17
3.4	Resultater fra Fagne.....	28
3.5	Resultater fra Tensio.....	33
3.6	Resultater fra Lede.....	40
3.7	Resultater fra BKK	41
3.8	Resultater fra Linja.....	50
3.9	Resultater fra DSO/TSO dataoverføring	55
3.10	Oppsummering av innovasjoner.....	55
4	Referanseliste Publiseringer.....	59
4.1	Publiserte blogger	59

1 Bakgrunnsinformasjon om pilotprosjektet

Denne piloten er delt opp i seks delpiloter som representerer seks forskjellige pilotområder. I denne seksjonen er overordnet målsetning for piloten beskrevet. Dette er gjeldende målsetninger for alle delpilotene, men de har også spesifikke målsetninger og problemstillinger som kun er gjeldende for den respektive delpiloten. Dette er beskrevet i seksjon 2.

Tabell 1: Bakgrunnsinformasjon

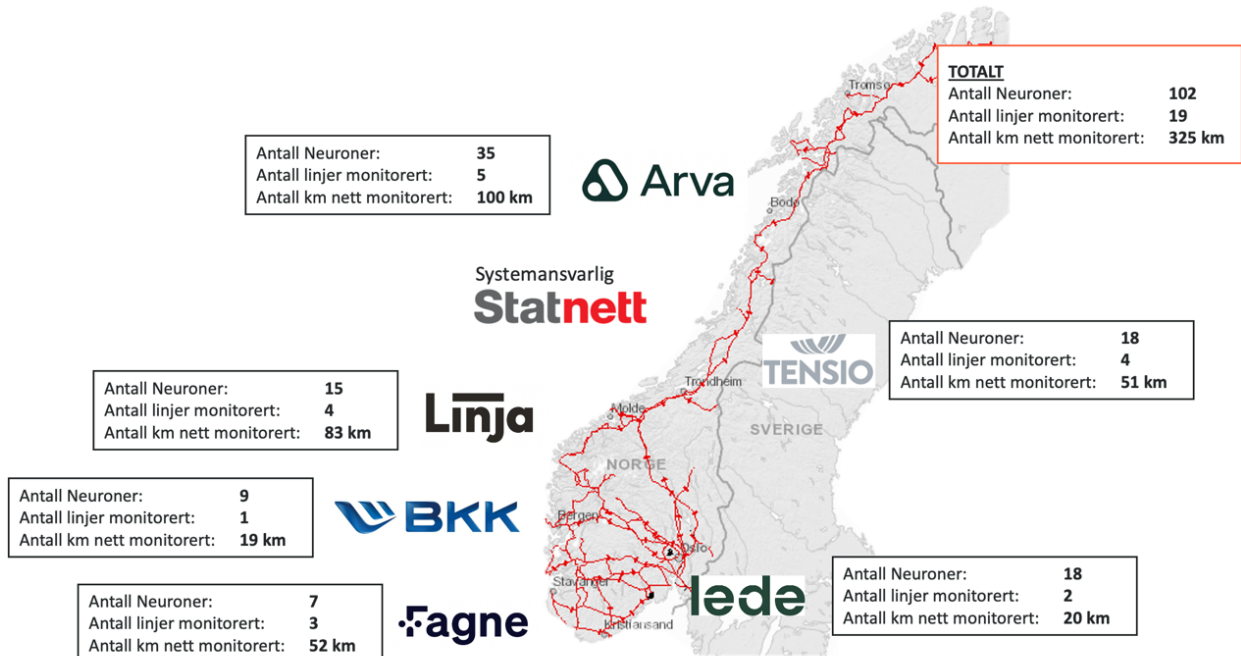
	Fra malen "planlegging av pilotprosjekt"
Målsetting	<p>Hovedmålsettingen med prosjektet er å se på hvordan en storskala instrumentering av høyspent linjenettet kan bidra til å utløse større fleksibilitet i hele kraftsystemet og hvilke verdier dette kan bidra med for DSOer og TSO.</p> <p>I prosjektet ønsker vi å se på hvordan nettet kan digitaliseres med sensorer og hvilke verdier en storskala instrumentering av linjenettet gir. Hovedpoenget er å instrumentere nok tilstøtende linjer og spenningsnivåer til å forske på kapasitetsutnyttelse, flaskehalsmonitorering og håndtering i et dynamisk styrt nett, der flaskehalsene vil «flytte seg» mellom nettkomponenter, nettnivåer og nettområder.</p> <p>Målsetting med prosjektet er å utvikle, teste og validere use case som nyttiggjør seg linjenettets iboende fleksibilitet/reservekapasitet i et systemperspektiv. Med mange målepunkt fordelt utover større deler av nettet i et område, samt flere nett fordelt utover landet, vil resultatene kunne si noe om det overordnede potensialet ved instrumentering av det norske kraftsystemet. Resultatene vil kunne implementeres også hos nettselskaper som ikke har vært med i prosjektet fordi det dekker et bredt spekter av problemstillinger og nett.</p>
Problemstilling	<p>Det elektriske strømmettet er kritisk infrastruktur og selskapene som eier og driver denne infrastrukturen opplever for tiden enorme endringer. Desentralisert energiproduksjon, fluktuerende fornybar energiproduksjon og en generell elektrifisering representerer et paradigmeskifte for hvordan nettselskapene opererer og planlegger sine nett. I dag er de fleste kraftnett operert basert på statiske sikkerhetsgrenser og erfaringsbaserte modeller og prognoser, med relativt få kilder til sanntidsdata.</p> <p>Overføringskapasiteten i det norske strømmettet 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 skutt i været de siste årene. Det vil være et behov for å utnytte det eksisterende strømmettet mer for å møte det store behovet for elektrifisering. For å få til dette må det digitaliseres slik at nettselskapene kan få sanntidsdata om tilstanden til nettet og drifte det tettere opp til 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.</p> <p>Norge består av mange nettselskap med ulike driftsmodeller, systemer og type nett. Forutsetning for måloppnåelse for prosjektet er at man får et mangfold av nettselskaper. Dette gir innsikt i hvordan instrumentering i stor skala med sensorer fra Heimdall Power fungerer på ulike type nett, forskjellige</p>

	spenningsnivåer, hvordan det løser ulike problemstillinger og hvordan det passer inn i ulike måter å drifte nettet på. Dette gjør prosjektet til et storskala forskningsprosjekt.
Aktiviteter	<p>Arbeidsfordeling:</p> <p>Nettselskapene installerer neuroner, og bidrar til å utvikle, teste og validere use case.</p> <p>Heimdall Power leverer sensorer, bidrar til prosjektering og kvalitetssikring av installasjonene, bidrar til å utvikle use case, software og aktivt drive prosjektet.</p> <p>Samarbeid/inkludering av CINELDI-forskere konkretiseres nærmere per delprosjekt med de ulike partnerne</p>
Kostnadsestimat	<p>Utstyret finansieres delvis som et bidrag fra Heimdall Power og delvis som en del av Nettselskapenes bidrag i CINELDI. Det opprettes en egen kontrakt mellom hvert nettselskap og Heimdall Power.</p> <p>Nettselskapene kan føre kostnaden på NVEs FoU-ordning.</p>
Innovasjonspotensial	<p>For Heimdall Power: Nye modeller, ny anvendelse av data fra neuronene, nye tjenester.</p> <ul style="list-style-type: none"> • Modeller for N-1 håndtering i et nett der flere linjer er instrumentert. Hvordan er sammenhengen mellom tilgjengelig kapasitet i linjene som er instrumentert og er det nok reservekapasitet til å tåle utfall? • Modeller for probabilistisk N-1 tilnærming. Konsekvensen av utfallet vurderes opp mot sannsynligheten for utfallet. • Innsikt/Kunnskap om hvordan DLR kan tas i bruk for å drifte et nettområde dynamisk. • Utvikle alarmfunksjonalitet som er verdiskapende og tilpasset operativ drift. • Tilpasse Heimdall Power softwareløsning, Heimdall Cloud, og modeller/visninger for prediksjon slik at de kan brukes i operativ drift på flere spenningsnivåer. • Forbedre og videreutvikle prediksjoner for tilgjengelig kapasitet basert på værmeldinger og historiske data fra målinger. Mange datapunkter er nødvendig for å få gode prediksjonsmodeller. Nok datapunkter til å få maskinlæring til å fungere/være god nok. • Klassifisere datapunktene (værstasjoner, værmeldinger, neurondata, andre systemer internt hos nettselskapene). Evaluere kvaliteten av datapunktene fra hver datakilde for å finne ut hvilke datakilder som trengs for å få en fungerende maskinlæring for prediksjon av kapasitet. • Vurdering av behovet for høyoppløselig værmelding i et område for å sikkert predikere kapasitet • Vurdering av antall Neuroner som trengs for å få kontroll på nåværende og fremtidig kapasitet til en linje. Dette vil forbedre Heimdall Powers evne til å prosjektere, samt effektivisere prosessen.

	<ul style="list-style-type: none"> • Kost/nytte vurdering av vår løsning opp mot gamle og nye alternativer (bygge nett, temperaturoppgradering, fleksibilitetsløsninger, værstasjoner, o.l.) • Nye tjenester for bruk av målinger for tilgjengelig kapasitet i nettet i sammenheng med fleksibilitetsløsninger. • Leveranse av våre datastrømmer inn i tredjeparts datasystemer og mellom flere driftssentraler (hvilke datastrømmer, tidsoppløsning, tidforsinkelse, o.l.) • Videreutvikle og forbedre eksisterende modeller, luke ut feil basert på større datamengder. <p>For nettselskapene: Økt innsikt i potensialet for økt kapasitet med bruk av DLR. Nye arbeidsprosesser for nettdrift og nettutvikling for å utnytte dette potensialet. (Beskrevet i detalj per delprosjekt i de enkelte prosjektbeskrivelsene).</p> <p>Grensesnittet DSO-TSO: Bidra til ny forretningsmodell/verdikjede lokale balansemarkeder, innsikt i hvordan data må utveksles mellom driftssentraler for å nyttiggjøre seg av dynamiske driftsgrenser.</p> <p>Andre teknologileverandører: Muliggjøre nye/forbedrede tjenester f.eks. innen lokale balansemarkeder.</p>
<p>Forventet resultat</p>	<p>Overordnet ønsker vi å finne ut i hvilke situasjoner det er nyttig med sanntids monitorering av linjenettet reelle kapasitet, spesielt rettet mot flaskehalsene i transmisjons-, regional- og distribusjonsnettet.</p> <p>Vil det føre til at vi kan overføre mer last mellom nettområder og prisområder slik at det blir mindre behov for å balansere nettet gjennom allokering, kjøp av fleksible ressurser, endre samfunnets forbruksmønster og andre fleksibilitetstiltak.</p> <p>Vil digitalisering av strømnettet med sensorer muliggjøre mer utnyttelse av eksisterende nett og utsette eller forhindre investeringer og bygging av nytt nett, noe som vil spare samfunnet for store kostnader og sikre riktige beslutninger for reinvesteringer.</p> <p>Forventet resultat:</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Økt kapasitet: Ved å monitorere og prognostisere den reelle kapasiteten (DLR) i linjenettet vil man i de fleste tilfeller kunne overføre vesentlig mer last på linjen enn det som en statisk grenseverdi (SLR) tilsier. Denne kapasiteten kan benyttes både til energihandel og til utveksling av reserver. 2. Økt forsyningsikkerhet: Ved å avdekke at man i enkelte tilfeller har mindre kapasitet enn det SLR tilsier kan man ta forholdsregler for å redusere risiko for uønskede hendelser. Samt feildeteksjon som monitorering av islast, vibrasjon og galopperende linjer. 3. Mer effektiv nettdrift og nettutvikling: Løsningene gir mer innsikt i eget nett og i hvilke komponenter i nettet som er den virkelige

	<p>flaskehalsen. Denne innsikten gjør nettselskapene bedre i stand til å beslutte når og hvor de skal investere og hva de skal investere i.</p> <p>4. Økt innsikt i kraftsystemets behov: Større innsikt i den reelle kapasiteten i nettet vil gi et riktigere beregnet fleksibilitetsbehov i ulike tidsperspektiv både med hensyn til volum, tid og sted.</p> <p>5. Bedre TSO-DSO integrasjon og koordinering: Utbredt instrumentering av både transmisjonsnett og distribusjonsnett vil kunne gi bedre koordinering når flere interessenter (TSO og DSO) ber om fleksibilitets-tjenester fra samme ressurs, også for å unngå nye ubalanser</p>
<p>Tidsplan</p>	<p>Varighet på prosjektet: ca. 3 år – høst 2021 til høst 2024.</p> <p>Første møter startet høsten 2021 for kartlegging av problemstillinger hos de forskjellige nettselskapene og forming av delprosjekter.</p> <p>De første installasjonene av sensorer begynte mars 2022 og siste sensorer ble installert april 2023.</p> <p>Analyseperioden ble avsluttet november 2024.</p>

2 Om Piloten og fysisk pilotområde



Figur 2: Totalt pilotområde samt de ulike delpilotene med antall Neuroner installert, antall linjer og antall km nett monitorert i de ulike delpilotene.

Tabell 2: Beskrivelse av piloten og pilotområdet

Pilotområdet	<p>Pilotområdet er fordelt på 6 forskjellige nettselskap fordelt over hele landet. Størrelsen på pilotområdene varierer fra 100 km nett på det meste til 19 km nett på det minste. Alle pilotområdene er instrumentert med Heimdall Power teknologi og sensorer (Neuroner). Linjer og nettområde er valgt ut av nettselskapene selv basert på problemstillinger de ønsker å undersøke.</p> <p>Totalt er 325 km instrumentert med totalt 102 Neuroner fordelt på 19 forskjellige linjer på spenningsnivå 22 kV, 47 kV, 66 kV, 132 kV.</p>
Beskrivelse av teknologien	<p>Dynamic Line Rating (DLR) er en metode for å maksimere kapasiteten og sikkerheten til kraftlinjer ved å bruke sanntidsdata og avanserte analyser. Tradisjonelt settes overføringskapasiteten for kraftlinjer basert på konservative, statiske verdier som tar høyde for værforhold og andre faktorer, uten å ta hensyn til faktiske, dynamiske forhold. DLR benytter sensorer, værdata og avanserte algoritmer for å overvåke og beregne linjenes faktiske kapasitet i sanntid. Dette gir mer presise beregninger som reflekterer aktuelle forhold som temperatur, vindhastighet og linjesig. Ved å bruke DLR kan operatører optimalisere strømflyten, redusere risikoen for overbelastning og støtte en mer fleksibel og effektiv drift av strømmettet, noe som er spesielt viktig i møte med økende integrasjon av fornybar energi og muligheten for bruk av fleksibelt forbruk.</p> <p>Heimdall DLR baseres på målinger fra Neuronene om linjens faktiske kapasitet i sanntid.</p>

Måledata og andre data som samles inn og lagres fra Piloten

Teknologien som er brukt er Heimdall Powers teknologi som inkluderer en sensor kalt et Neuron som henges direkte på strømlinjene og en software løsning der resultatene fra sensorene presenteres kalt Heimdall Cloud.

Sensor – Neuron

Neuronene er enkle, raske og trygge å installere, kan installeres på strømførende linjer og er derfor lette å installere i stor skala på større deler av strømmettet. I løpet av prosjektet lanserte Heimdall Power en videreutviklet versjon av Neuronet med ekstra tilleggsfunksjonalitet. Vi skiller derfor mellom versjon 3 (V3) og versjon 4 (V4) under. V4 Neuronet ble testet i noen av delpilotene og er derfor inkludert. I piloten er også de første kommersielle installasjonene med drone utført som er en nyoppfinnelse av Heimdall Power – tilgjengelig for v4 Neuroner.

Heimdall Neuron genererer følgende data fra strøm-linjene:

- Strøm som går i faselederen
- Temperatur på faseleder
- Vinkel på faselederen sensoren henger på (pilhøyde/sig)
- Vibrasjoner på faseleder

Tilleggsfunksjonalitet i V4 Neuronet:

- Rådata for strøm og spenning (opptil 1000 Hz oppløsning)
- Fasevinkel / effektfaktor
- Lufttemperatur, luftfuktighet og lysforhold (brukes primært til utregning av DLR og predikert fremtidig kapasitet)

Strømkilder

Neuronene høster strøm ved induksjon direkte fra linjen. I vanlig operasjonsmodus kreves minimum 20 A for høsting av strøm. Neuronet er også utstyrt med et batteri som varer i ca. 10 dager i samspill med en kondensator. For V4 Neuron er minimum høstestrøm redusert til 12 A, i tillegg er batteriet oppladbart og det kan settes i en egen lavstrømsmodus hvor batteriet vil kunne nyttes som strømforsyning ca. 6 måneder uten strøm på linja. Overvåkning av for eksempel islast på linjer uten strøm kan dermed gjøres gjennom en vintersesong.

Programvare (Heimdall Cloud)

I tillegg til rådata fra neuronet genereres data fra modeller utviklet av Heimdall Power som er tilgjengelige i Heimdall Cloud. Ved å kombinere dataene fra neuronene med værdata, avansert modellering og maskinlæring kan løsningen gi prediksjon av fremtidig linjetemperatur og kapasitet i linja som kontinuerlig forbedres med målingene fra neuronene.

Data som er tilgjengelig i tillegg til rådata i softwareløsningen:

- Dynamiske lastgrenser (DLR)
- Prognose for DLR
- Måling og prognose for oppbygging av islast

	<p>Individuelle alarmer og varsler kan settes opp og konfigureres i Heimdall Cloud. Når terskelverdiene for alarmene utløses, vil Heimdall Cloud loggføre, sende varsler til definerte mottakere (via SMS og e-post).</p> <p>Data kan videre integreres til andre systemer ved bruk av rest-API eller industrielle protokoller.</p> <p>Nedstrømskomponenter</p> <p>Lastgrenser for andre nettkomponenter som påvirker lastgrensen til den totale kretsen kan legges inn i Heimdall Cloud. Beregnet DLR tar da hensyn til disse nedstrømskomponentene når disse er dimensjonerende for kretsen. Dette sikrer trygg drift og kan brukes som underlag for investerings-beslutninger.</p>
Måle- og kommunikasjons-infrastruktur	Neuronene kommuniserer direkte over LTE-M eller NB-IoT nettverk. Der dette ikke er tilgjengelig er det brukt LoRa basestasjon koblet til nettverk for å gi dataoverføring. Dette er brukt på en av delpilotene.
Use-case-beskrivelser og testplaner	Se beskrivelse under delpilotene i kap 3.
Hvem skal eventuelt ta resultater fra Piloten i bruk?	<p>Resultatene fra denne piloten er et viktig bidrag for innsikt til hvordan nettselskap skal bruke teknologi for DLR til å utnytte eksisterende nett bedre og hente ut mer kapasitet av den infrastrukturen vi allerede har. Resultatene fra de ulike delpilotene er nyttig både for det respektive nettselskapet og andre nettselskap i Norge og utenfor Norge som ikke har vært med i piloten.</p> <p>Piloten har også generert store mengder data på dynamisk kapasitet i linjenettet på forskjellige nettnivå som har vist seg og kommer til å være svært nyttig for forskningsmiljøet.</p>
Hvem er erfaringene relevant for?	<p>Innad i nettselskapene er erfaringene relevante for hele organisasjonen, både nettdrift, vedlikehold og nettplassering.</p> <p>Erfaringene er viktige steg mot en mer dynamisk drift og bedre utnyttelse av systemet.</p>
Informasjonsdeling mellom aktørene før/underveis/etterpå	<ul style="list-style-type: none"> • Årlige fysiske fellessamlinger for deling av erfaringer, utfordringer, barrierer, bruksområder og målsetning. • Månedlige møter med alle partnerne og Heimdall Power for tett oppfølging. • Erfaringsdeling direkte mellom partnere i møter. • Deltakelse og presentasjoner på CINELDI samlinger, konferanser og ekspert-gruppemøter. • Publikasjoner og rapporter fra sommerforskere gjennom SINTEF og CINELDI. • Rapport fra energitrainee gjennom SINTEF. • Masteroppgave publisert der data fra delpilot er tatt i bruk for analyse.
Er det laget planer for videreføring? Skalering/fullskala implementering?	<p>Flere av partnerne er også med i andre pågående og kommende forskningsprosjekter som tar forskningen videre. Aktuelle forskningsprosjekter er:</p> <ul style="list-style-type: none"> • NextGrid – pågående • SecurEL – nytt forskningssenter, oppfølger til CINELDI • MaxGrid – oppstart januar 25

3 Resultater og erfaringer fra Piloten

Dette kapitlet beskriver resultater, erfaringer og konklusjoner fra piloten. Kapitlet er delt opp slik at hver delpilot har hver sin seksjon som presenterer deres resultater, erfaringer og konklusjoner. Kapitlene er skrevet selv av de ulike partnerne.

Første seksjon oppsummerer resultater fra publiseringer som er gjort basert på data fra piloten. I tillegg er arbeid utført av sommerforskere og en trainee gjennom Sintef som del av delprosjektene. Dette er beskrevet under de respektive kapitlene. Andre del beskriver innovasjoner og utvikling av produktet som Heimdall Power har gjort gjennom prosjektet. Påfølgende kapitler fra 3.3- 3.9 er skrevet av nettselskapene selv og beskriver deres analyser og konklusjoner.

3.1 Publiseringer

3.1.1 Reduserte spesialreguleringskostnader

Som del av prosjektet ble to masterstudenter engasjert for å finne måter å måle verdien av DLR i NOK. Det resulterte i masteroppgaven [“Leveraging Grid Efficiency Through Dynamic Line Rating and N-0.9” V. W. Nilsen and M. Utengen, NTNU, 2024](#) [3] som beskriver en metode for å enkelt regne ut besparelser for spesialreguleringskostnader ved bruk av DLR sammenliknet mot en eller flere alternative lastgrenser. Det som trengs for å beregne besparelsen er timesverdier for lastgrenser, spesialreguleringsbruk og spesialreguleringskostnader.

Metoden ble demonstrert på en nettregion i Norge som var del prosjektet for perioden oktober 2022 til januar 2024. Resultatene viste at DLR ga en kapasitetsøkning på 20% i snitt, noe som kunne redusert spesialreguleringskostnadene med 14,79 MNOK, eller 67,31% av de 21,97 MNOK som ble brukt i perioden. Utengen og Nilsen tar også for seg fremtidsscenarioer med økt kapasitet og simulerer at med 20% økt timesforbruk ville spesialreguleringskostnadene uten DLR gått opp til 61.18 MNOK i perioden og man ville kunne spart 32.65 MNOK ved bruk av DLR. Den nasjonale spesialreguleringskostnaden i 2022 var 527 MNOK. Siden spesialreguleringskostnadene i analyseområdet utgjør kun 4% av de nasjonale spesialreguleringskostnadene er det tydelig at potensialet for redusert spesialreguleringskostnader ved bruk av DLR er stort.

3.1.2 Utsetting av investeringer

I artikkelen "Evaluating grid development strategies for a regional grid using dynamic line rating sensors," S. Sandell and I. B. Sperstad, *IEEE PES ISGT Europe 2024* har det blitt demonstrert fordelene ved å bruke DLR-data for å øke utnyttelsen av nettet i sammenheng med langsiktig nettplassering for et reelt regionalt høyspent distribusjonsnett som var en del av prosjektet. Artikkelen viser at DLR gir mer reservekapasitet, som muliggjør en større økning i belastningsetterspørselen i nettet uten nettinvesteringer, samt at å handle basert på denne informasjonen som en del av en nettutviklingsstrategi tilsvarer den reelle muligheten til å utsette beslutningen om å gjøre nettinvesteringer. [2]

3.2 Resultater fra Heimdall Power

Heimdall Power gjør kontinuerlig utvikling og tilpasninger av eksisterende teknologi, med det med formål å kunne levere løsninger som i størst mulig grad løser nettselskapenes problemer på en effektiv og hensiktsmessig måte. Dette prosjektet har gitt Heimdall Power en arena for praktisk uttesting av ulike hypoteser om hvordan teknologien kan tas i bruk og løse forskjellige problemstillinger.

Målsetningen med piloten var å gi en praktisk test og utprøving av hypotesen om økt nytteverdi ved å overvåke flere tilstøtende linjer i et nett og da hente de dokumenterte gevinstene fra hver enkelt linje inn i et systemperspektiv. Denne målsetningen 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 vi har sett verdien av å ha mange partnere med i en felles pilot som del av et forskningssenter som CINELDI har vært.

Under er en rekke innovasjoner som er utviklet i løpet av prosjektet av Heimdall Power beskrevet.

3.2.1 Snittovervåking: N-1 kriteriet

I samarbeid med Arva utviklet Heimdall Power en ny type funksjonalitet for N-1 overvåking. Gjennom flere møter og workshops delte Arva sine erfaringer med snitt-overvåking og utfordringer knyttet til drift og spesialregulering. I påfølgende møter presenterte Heimdall ulike skisser og løsningsforslag til hvordan man kan overvåke snitt ved å bruke dynamiske lastgrenser, og dermed unngå spesialregulering eller utkobling. Løsningen legger opp til at sluttbruker kan definere ulike snitt og scenarioer, som gir brukeren informasjon om last-forhold og grenser dersom et scenario skulle inntreffe.

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. Dette er et godt eksempel på kunde- og behovs-drevet utvikling som raskt går fra tegnebrettet til å skape verdi hos sluttbruker.

3.2.2 Egen temperaturgrense på spesifikke spenn

I løpet av prosjektet fikk Heimdall Power tilbakemelding fra enkelte kunder, deriblant Lede, om at måten linjer er modellert på i produktet ikke alltid samsvarer med virkeligheten. Modellen antok at alle spenn på linjen hadde lik grensetemperatur. Denne antakelsen stemmer imidlertid ikke alltid, ettersom enkelte spenn på grunn av lav klaring, kan ha en lavere temperaturgrense enn øvrige spenn på linjen. Ettersom det er lastgrensen på det begrensende spennet som til enhver tid gir begrensinger for hele linjen, var den opprinnelige modellen for konservativ i forhold til de reelle lastgrensene. Som en følge av denne innsikten re-designet Heimdall Power den opprinnelige modellen slik at temperaturgrenser kan settes til individuelle spenn. Metodikken er aktivt tatt i bruk av nettselskaper både i Norge og internasjonalt.

3.2.3 Drone installasjon

Installasjon av Neuroner med bruk av drone er noe Heimdall Power har jobbet med i flere år utenfor CINELDI prosjektet. Selve innovasjonen med drone installasjon er derfor ikke en del av CINELDI, men de første kommersielle installasjonene ble gjort som del av denne piloten, hos henholdsvis Lede og BKK.

Tre Neuroner ble installert med drone for Lede. Alt fullført på en dag inkludert reise fra Oslo til Skien tur/retur. Dette var den første kommersielle installasjonen Heimdall Power gjorde med drone. Installasjonen foregikk både med strøm og spenning på linja og var svært vellykket.

Video av droneinstallasjon hos Lede: <https://www.youtube.com/watch?v=9RSHG06YKtA&t=4s>

For BKK ble 2 neuroner installert med drone. Her var det noe utfordringer med vinkelen på fasen på den ene installasjonen, der vinkelen var større enn det droneverktøyet hadde vært testet på. Installasjonen ble vellykket, og en følge av dette ble videreutvikling av droneverktøyet til å støtte større vinkel.

Droneinstallasjon av Neuroner representerer en svært effektiv og enkelt måte å installere sensorer på linjer. Det er en god erstatning til spesielt installasjoner der man trenger utkoblinger for å kunne installere, klatring i mast ved arbeid under spenning, helikopterinstallasjoner eller installasjoner med vanskelig fremkommelighet. Det kan gi reduserte installasjonskostnader, spesielt i tilfeller der det trengs utkoblinger, helikopter eller ved store kvanta av Neuroner som skal installeres. Det har også mye å si for sikkerheten og HMS under installasjon, da man unngår klatring i mast og bruk av linjepersonell (se Figur 4) som har en risiko ved seg. I tillegg kan det gi mindre påvirkning på miljø og natur, i de tilfeller der man trenger lift i terrenget.



Figur 3 Bilde av drone installasjon av Neuronet.

3.3 Resultater fra Arva

3.3.1 Mål for piloten

Målet for piloten og forventede resultater er beskrevet i prosjektbeskrivelsen.

For enkelhets skyld, gjengis det forventede resultatet under:

1. Datagrunnlag som gir riktigere driftsgrenser for maks kapasitet i linjene som blir instrumentert med sensorer
2. Innsikt i hvordan kapasiteten i linjene fluktuerer med været, og hvilken del av linjene som er dimensjonerende
3. Tall på potensialet for hvor mye mer av kapasiteten i nettet som kan utnyttes ved å drifte flere linjer i et regionalnett dynamisk
4. Kunnskap om hvordan dynamisk styring av nett gir mindre spesialregulering, utsetting av investeringer vil tillate flere tilknytninger og gi lavere nettleie
5. Kunnskap om hvordan data må deles mellom DSO og TSO for at TSO kan drifte snitt dynamisk og utnytte kapasiteten i nettet mer.

I de videre analysene er det vurdert om Neuronene og kunnskapen fra dem vil bidra til å nå de forventede resultatene.

For å kunne samle inn data og gjennomføre de nødvendige analysene, har det vært nødvendig å instrumentere opp de aktuelle regionalnettslinjene med Neuroner fra Heimdall Power. Totalt er det installert 34 neuroner på fem forskjellige linjer i regionalnettet i Salten.



Figur 4: Bilde fra installasjon hos Arva. Gjort på utkoblet linje.

3.3.2 Gjennomførte analyser

3.3.2.1 Forutsetninger og datagrunnlag

Det er i de gjennomførte følgende analyser på ledningene:

- DLR-kapasitet sammenlignet med faktisk strøm på linjen
 - Både varighetsdiagram og kronologisk
 - For Linje 1a & 1b er det også gjennomført analyser der det er korrigert for spesialregulering
- DLR-kapasitet sammenlignet med SLR-kapasitet i Fosweb
- Estimering av sparte kostnader ved mindre spesialregulering
- Vurdert maskinlæringsmodeller for DLR
 - Vurdering av hvilke faktorer som påvirker DLR mest

For å gjennomføre analysene, har følgende datagrunnlag blitt benyttet:

- DLR-kapasitet fra Heimdall Cloud
- Faktisk strøm på ledningene fra Heimdall Cloud
- Faktiske spesialreguleringer fra systemansvarlig
- SLR-kapasitet på linjene fra Fosweb
- Kostnad i kr/kWh for spesialregulering

Det er viktig å presisere at i analysene som er gjennomført, så er det sett på N-1 kapasiteten i ulike snitt. Dvs. at det er sett på hvilken belastning den friske linjen som overtar all lasten får, dersom den andre linjen i snittet faller ut. Snittene som er analysert er oppsummert i Tabell 3. Snitt er anonymisert av hensyn til kraftsensitivitet.

Tabell 3: Oversikt over analyserte snitt

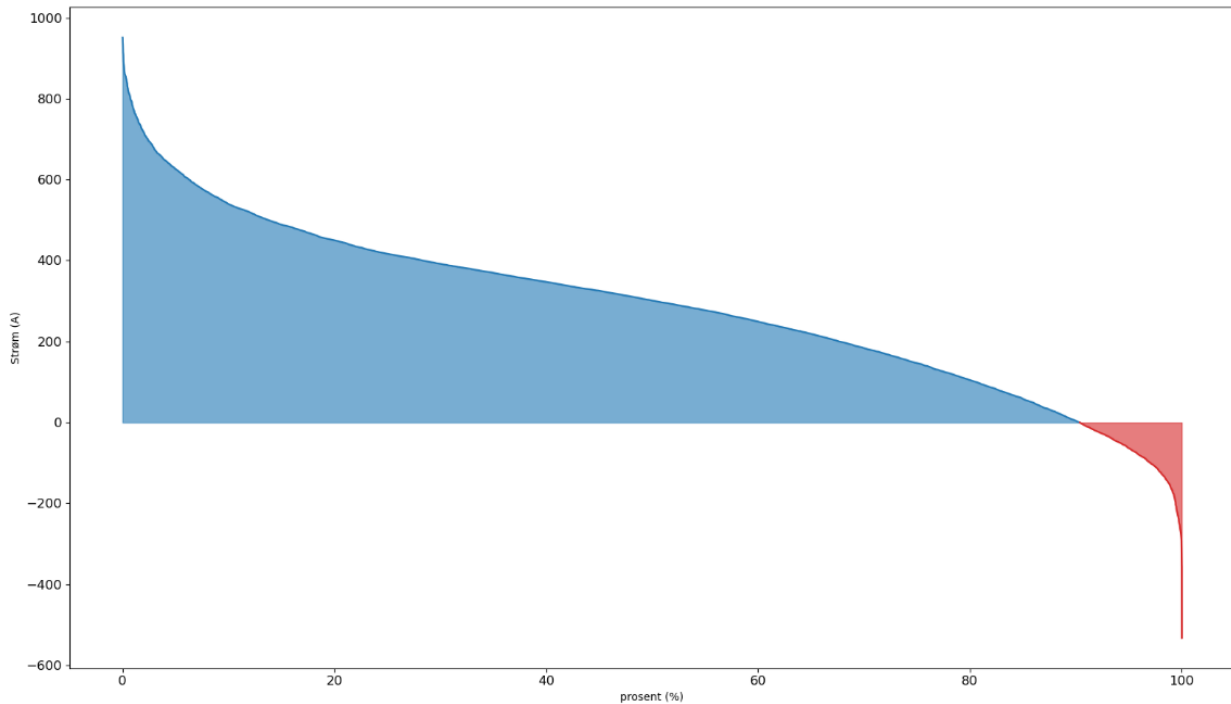
Snitt	Linje med feil	Redundant linje
Snitt 1	Linje 1a eller 1b	Linje 1a eller 1b
Snitt 2	Linje 2	Linje 3
Snitt 3	Linje 2	Linje 4

3.3.2.2 Linje 1a & 1b

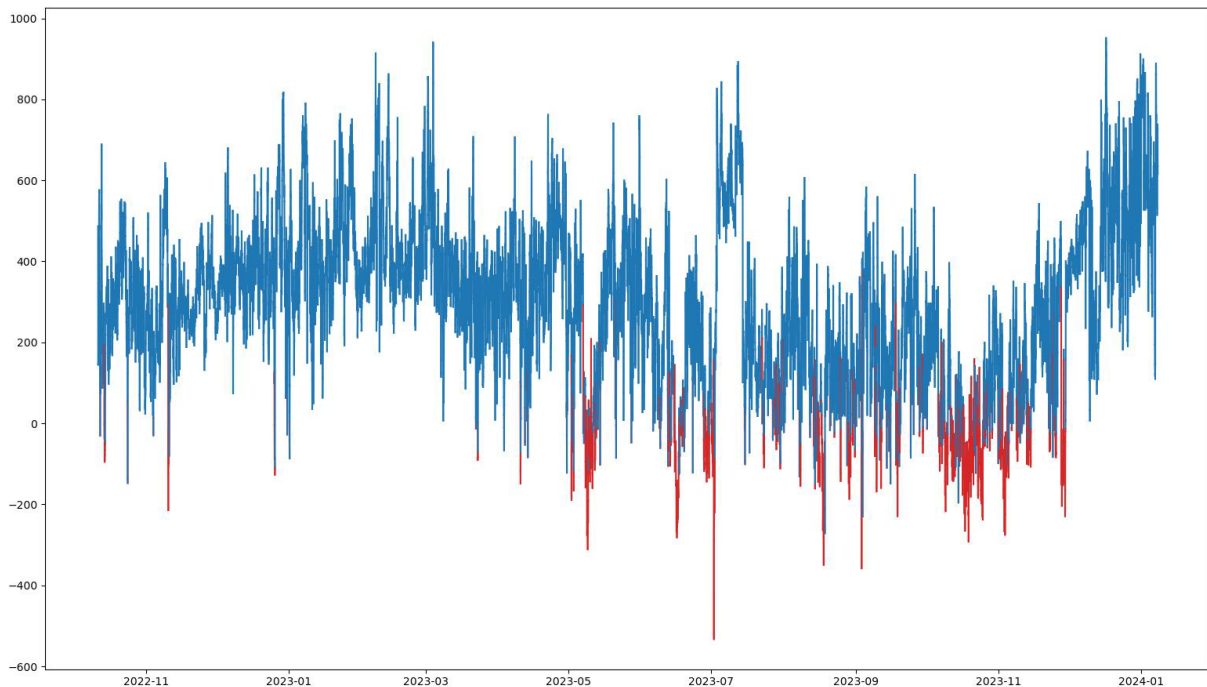
DLR vs Strøm

Figur 5 under viser varighetsdiagrammet for ledig N-1 kapasitet ved bruk av DLR. Figuren viser at N-1 på snittet er overholdt ca. 90 % av tiden, og at det i store deler av året er en betydelig kapasitet tilgjengelig.

Figur 6 viser de samme verdiene presentert kronologisk. Figuren viser at periodene der DLR er lavere enn faktisk strøm på snittet ikke opptrer sammenhengende, men fordeler seg utover året. Flest timer uten N-1 finner vi i perioden oktober/november. Årsaken til dette er det ikke sett nærmere i denne piloten.



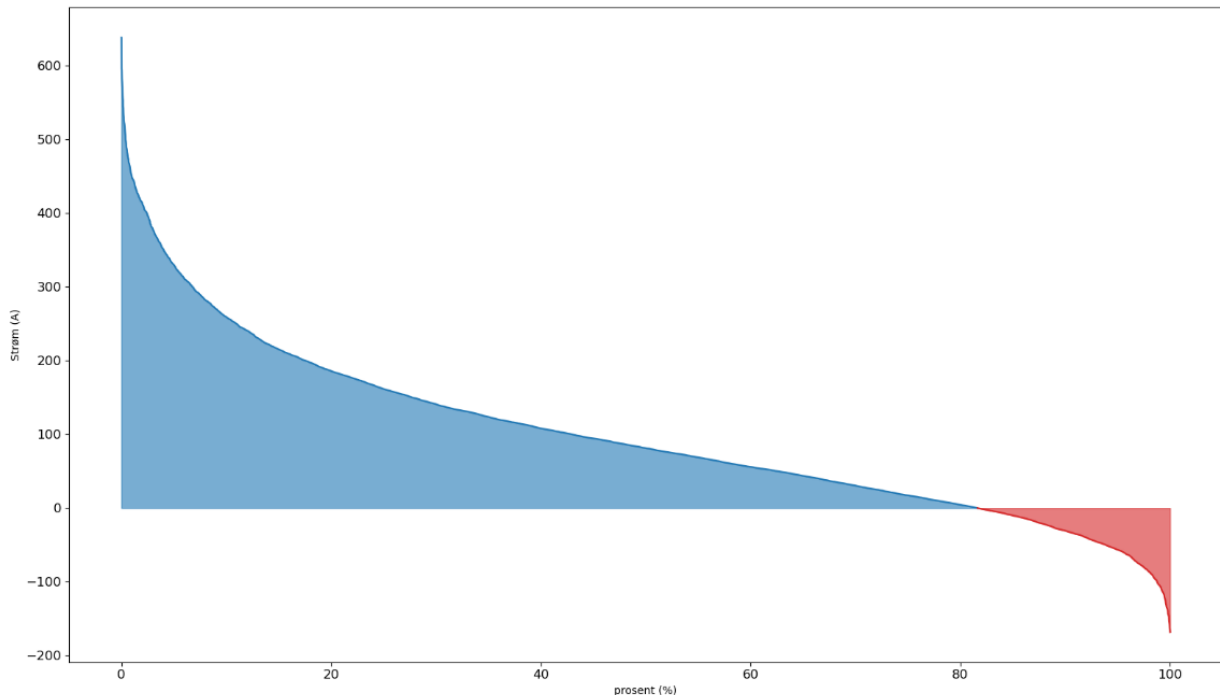
Figur 5: DLR plottet mot faktisk strømflyt på Linje 1a & 1b. Kapasiteten som er oppgitt er DLR for en av linjene, dvs N-1 kapasitet i snittet



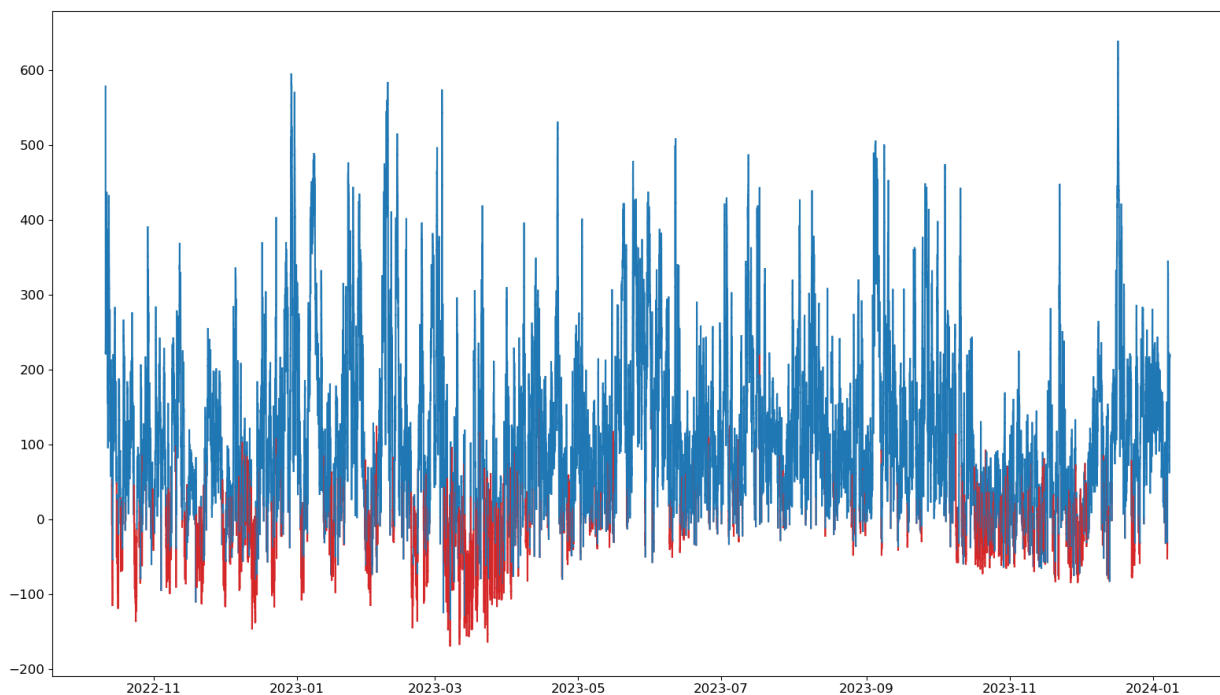
Figur 6: DLR plottet mot faktisk strømflyt på Linje 1a & 1b, kronologisk. Kapasiteten som er oppgitt er DLR for en av linjene, dvs N-1 kapasitet i snittet

DLR vs Fosweb-grenser

I Figur 7 viser DLR for snittet sammenlignet med en beregnet Fosweb-grense for snittet. Figuren viser at DLR har mer kapasitet enn Fosweb-grensene i ca. 80 % av tiden i løpet av året. P50 for den økte kapasiteten er ca. 150 A, dvs ca. 26 MW. Figur 8 under viser de samme verdiene plottet kronologisk.



Figur 7: DLR plottet mot beregnet Fosweb-grense på Linje 1a & 1b. Det er N-1 kapasiteten i snittet som er sammenlignet.



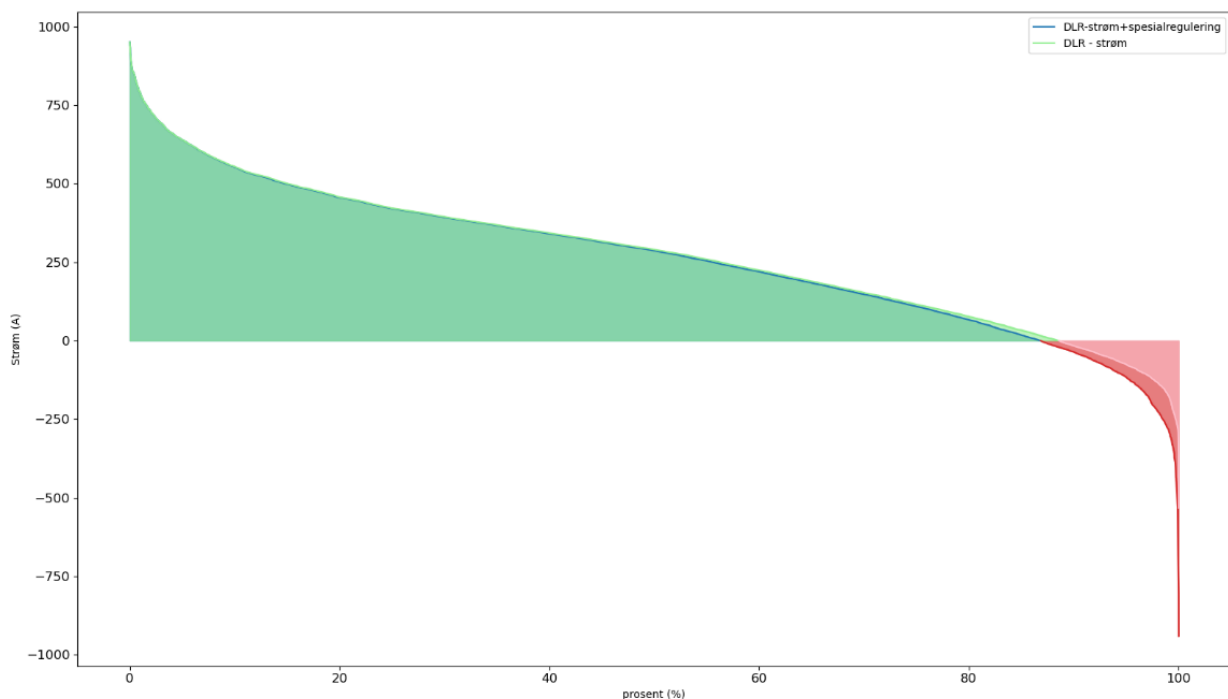
Figur 8: DLR plottet mot beregnet Fosweb-grense på Linje 1a & 1b, kronologisk. Det er N-1 kapasiteten i snittet som er sammenlignet.

Figur 8 viser at periodene der DLR er lavere enn Fosweb-grensene er fordelt over hele året. For den analyserte perioden ser det ut til at det er en konsentrasjon av timer uten N-1 i perioden mars/april. Dette er perioden da «vårknipa» i regionalnett med mye vannkraft opptrer. En forklaring på at Fosweb-grensene er høyere, kan være at de kun tar hensyn til omgivelsestemperatur. Den målte DLR'en tar hensyn til alle faktorene som påvirker temperaturen på lina, og det kan godt hende at lite vind og høy solinnstråling er med på å bidra til høyere temperatur enn det Fosweb-beregningen tilsier.

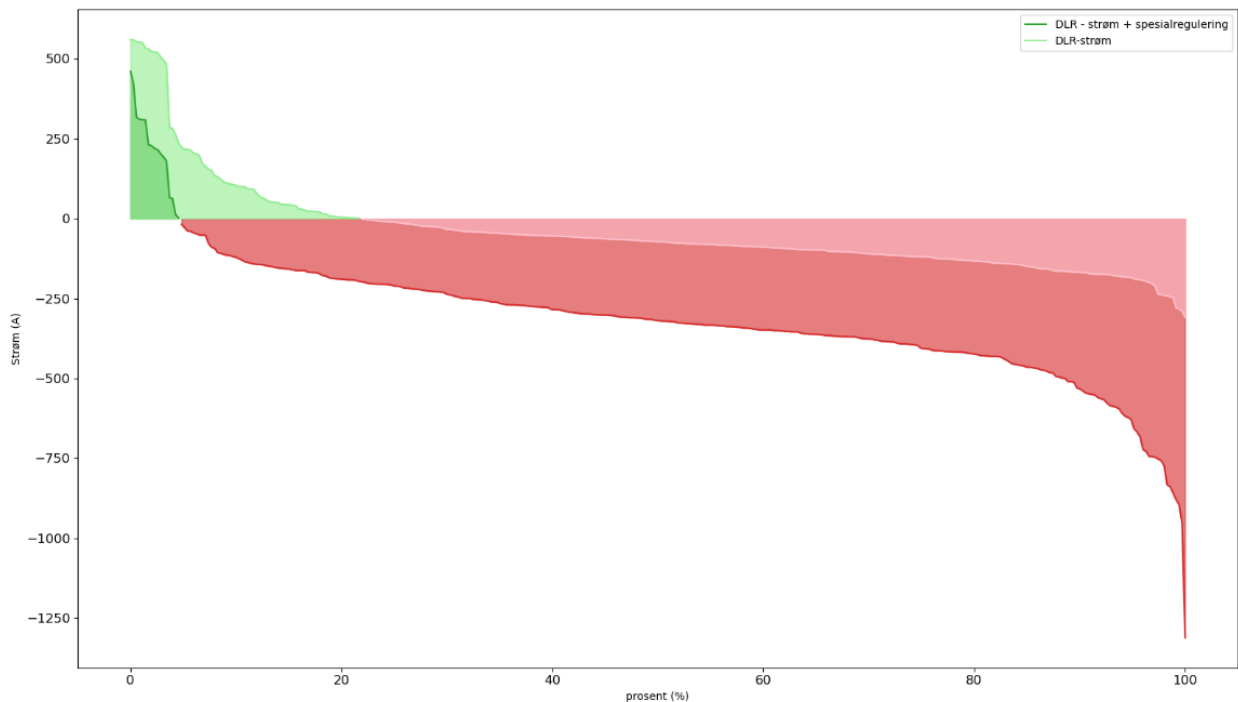
Spesialregulerings innvirkning på flyten over snittet

I den målte flyten over Snitt 1, ligger det inne et betydelig antall timer med spesialregulering for å overholde driftspolicyen til systemansvarlig. I Figur 9 under er denne flyten korrigeret for spesialregulering, slik at det er mulig å analysere hvordan den ville vært uten spesialregulering. Ved første øyekast viser figuren at spesialreguleringen har liten effekt på risikoen knyttet til N-1 i snittet. I Figur 10 er det sett nærmere på timene med spesialregulering rundt N-1 kapasiteten, og hvordan reguleringen har påvirket risikoen i snittet.

Som Figur 9 og Figur 10 viser så er det kun et fåtall av timer at spesialreguleringen er med på å få flyten på snittet innenfor N-1 grensen. En mulig årsak til dette er at systemansvarlig drifter med en driftspolicy, der det ikke tillates utfall av mer en X antall MW ved utfall av et regionalnettsanlegg. Spesialreguleringen bidrar til å komme innenfor denne grensen, men er ikke tilstrekkelig for å oppnå N-1 på snittet.



Figur 9: DLR plottet mot faktisk strømflyt over Snitt 1, samt DLR plottet mot en strømflyt som er korrigeret for spesialreguleringen på snittet.



Figur 10: DLR plottet mot faktisk strømflyt over Snitt 1, samt DLR plottet mot en strømflyt som er korrigert for spesialreguleringen på snittet. Her sees det nærmere på effekten av spesialregulering

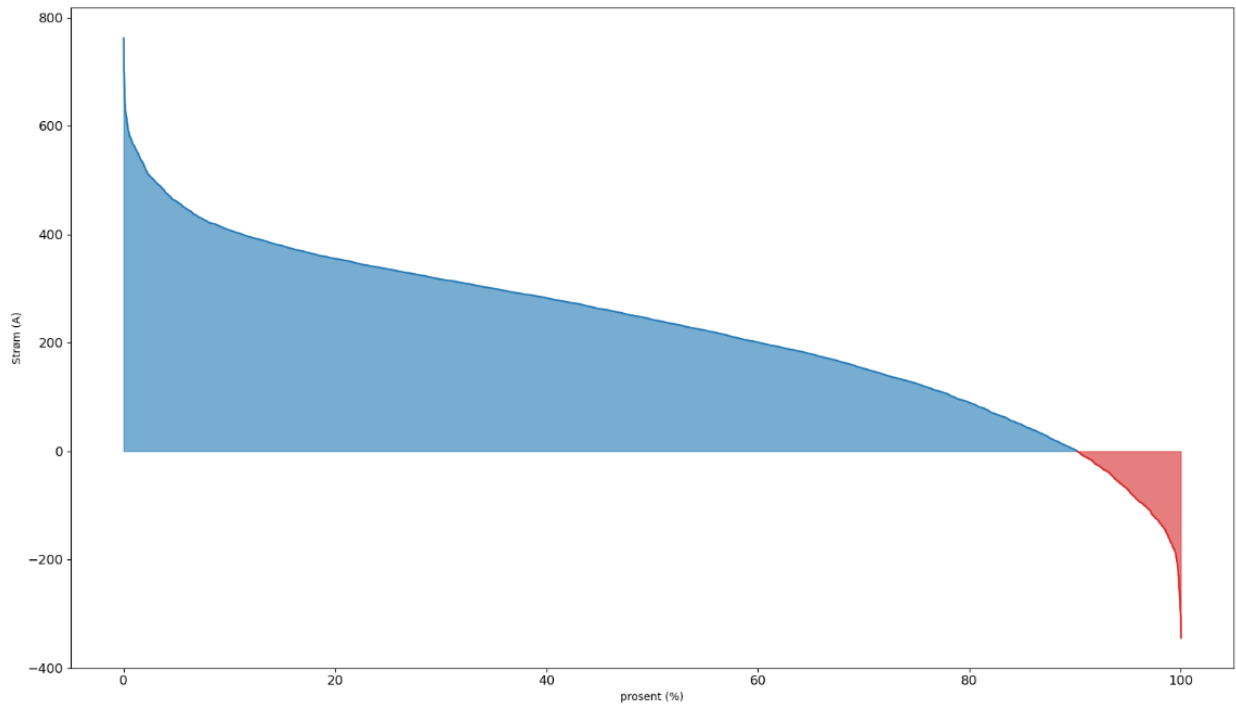
Oppsummering av resultatene

Analysene viser at DLR i rundt 80 % av tiden i løpet av et år, gir en betydelig høyere kapasitet enn grensene i Fosweb. Analysene viser videre at spesialregulering i liten grad bidrar til å overholde N-1 i snittet, og må derfor vurderes til å være lite treffsikker. En mulig hypotese her, er at behovet for spesialregulering er mindre enn dagens nivå, og at kunnskapen fra Neuronene og DLR-kapasiteten bør brukes til å revidere driftspolicyen, slik at den blir mer treffsikker med tanke på spesialregulering.

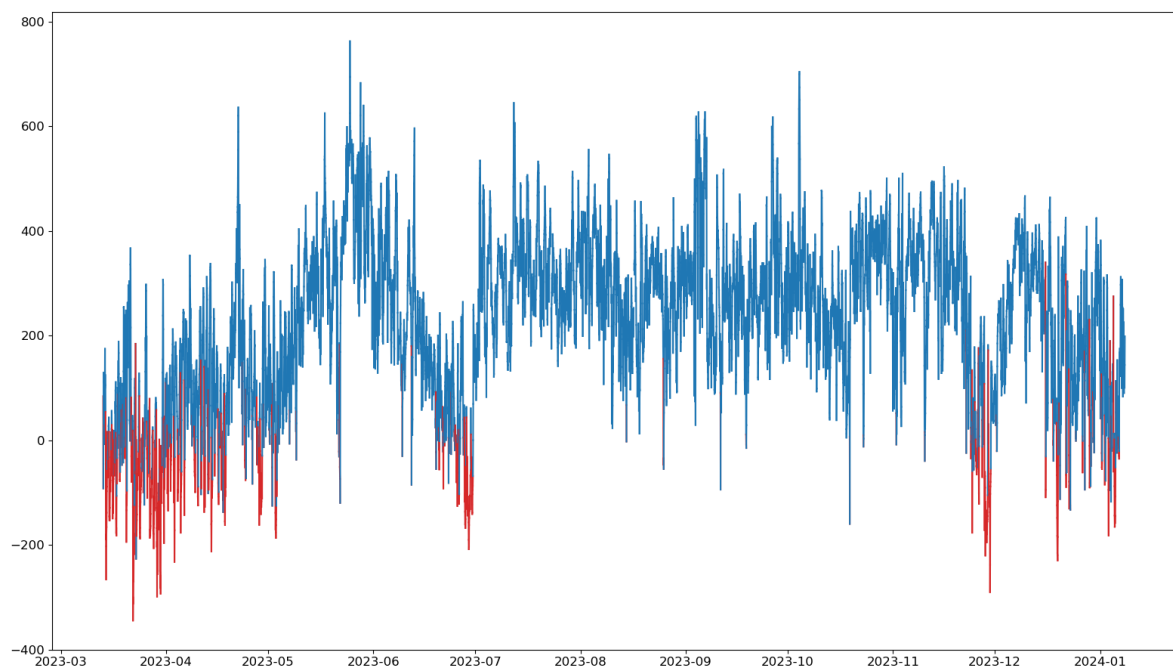
3.3.2.3 Linje 3/Linje 2

DLR vs Strøm

I Figur 11 er varighetsdiagrammet for DLR og flyt over Snitt 2 vist. Figuren viser at snittet har god kapasitet i mer enn 90 % av tiden over året. Ser vi videre på Figur 12, så viser den når på året kapasitetsbegrensningene oppstår. Timene med manglende N-1 oppstår først og fremst i vintermånedene, dvs fra desember til april. Dette skyldes at det er lite produksjon bak dette snittet, og det er derfor ikke mulig å benytte produksjon for å opprettholde N-1.



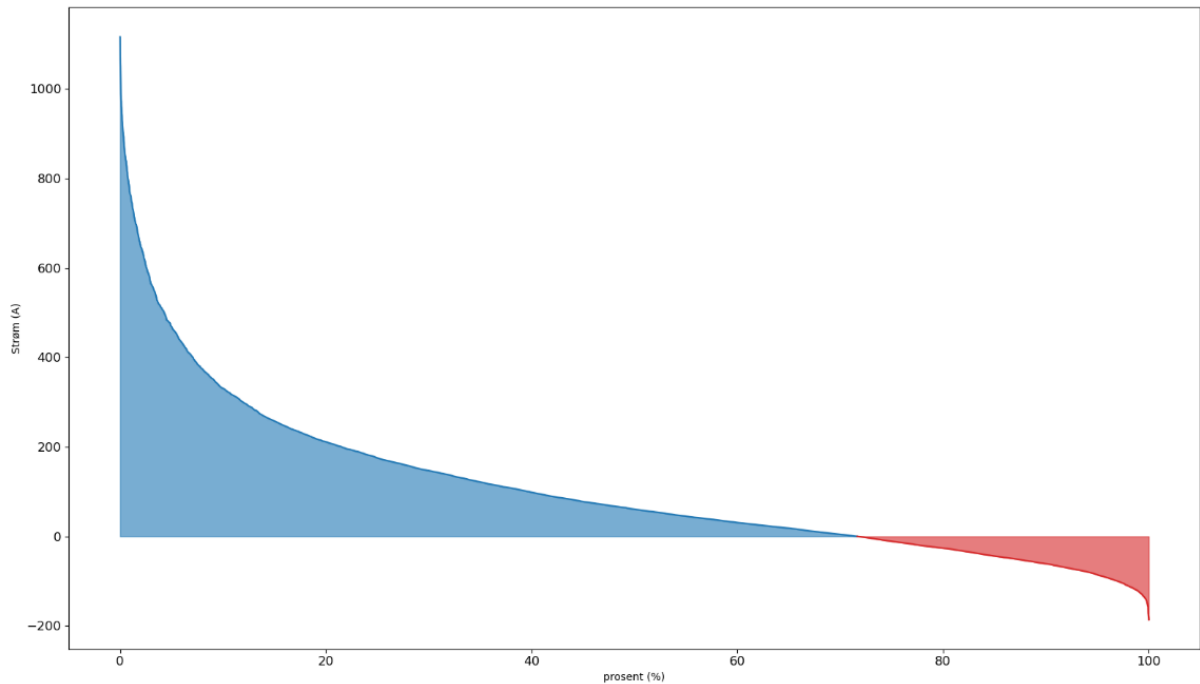
Figur 11: DLR plottet mot faktisk strømflyt på Snitt 2.



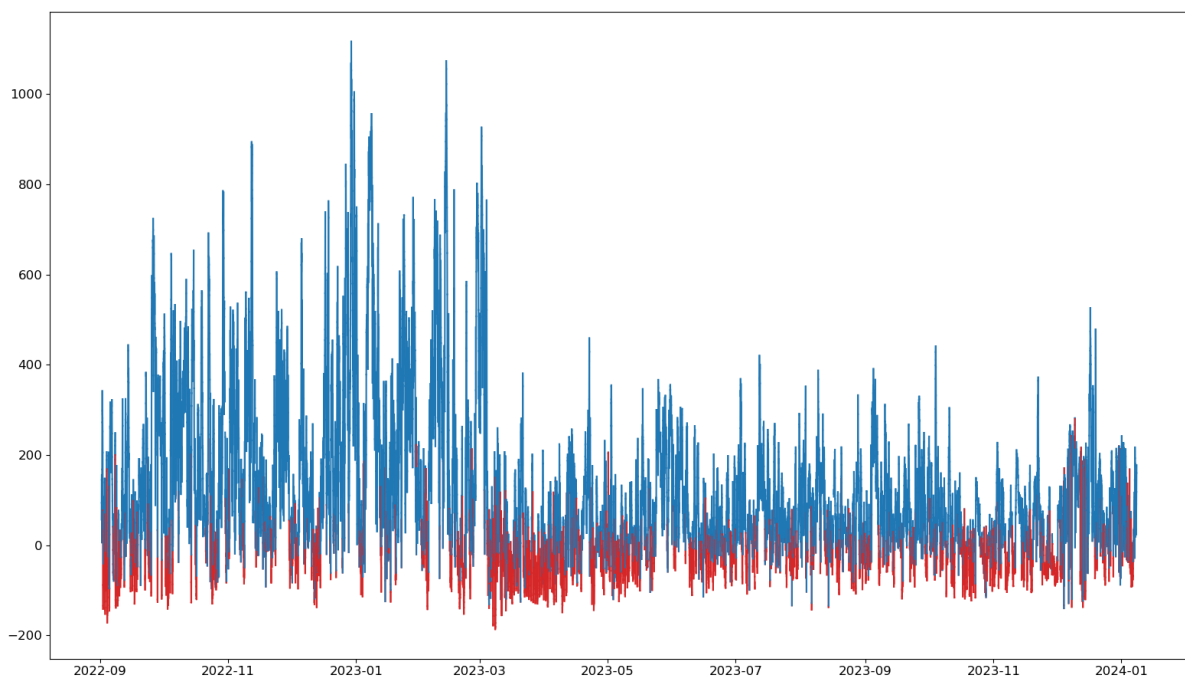
Figur 12: DLR plottet mot faktisk strømflyt på Snitt 2, kronologisk.

DLR vs Fosweb-grenser

Figur 13 under viser DLR-kapasiteten sammenlignet med beregnede Fosweb-grenser for Snitt 2. Som det kan leses av Figur 13, så er DLR-kapasiteten større enn Fosweb-grensene i ca. 70 % av tiden. P50 for den økte kapasiteten er ca. 200 A, dvs ca. 35 MW. Videre viser Figur 14 de samme verdiene plottet kronologisk. Figur 14 viser at timene der Fosweb-grensene har høyere kapasitet enn DLR er fordelt jevnt over hele året. Samtidig er de såpass kortvarige, at de ikke bør legge føringer på kapasiteten i snittet.



Figur 13: Varighetsdiagram som viser DLR plottet mot beregnede Fosweb-grenser på Snitt 2.



Figur 14: DLR plottet mot beregnede Fosweb-grenser for Snitt 2 og plottet kronologisk.

Oppsummering av resultatene

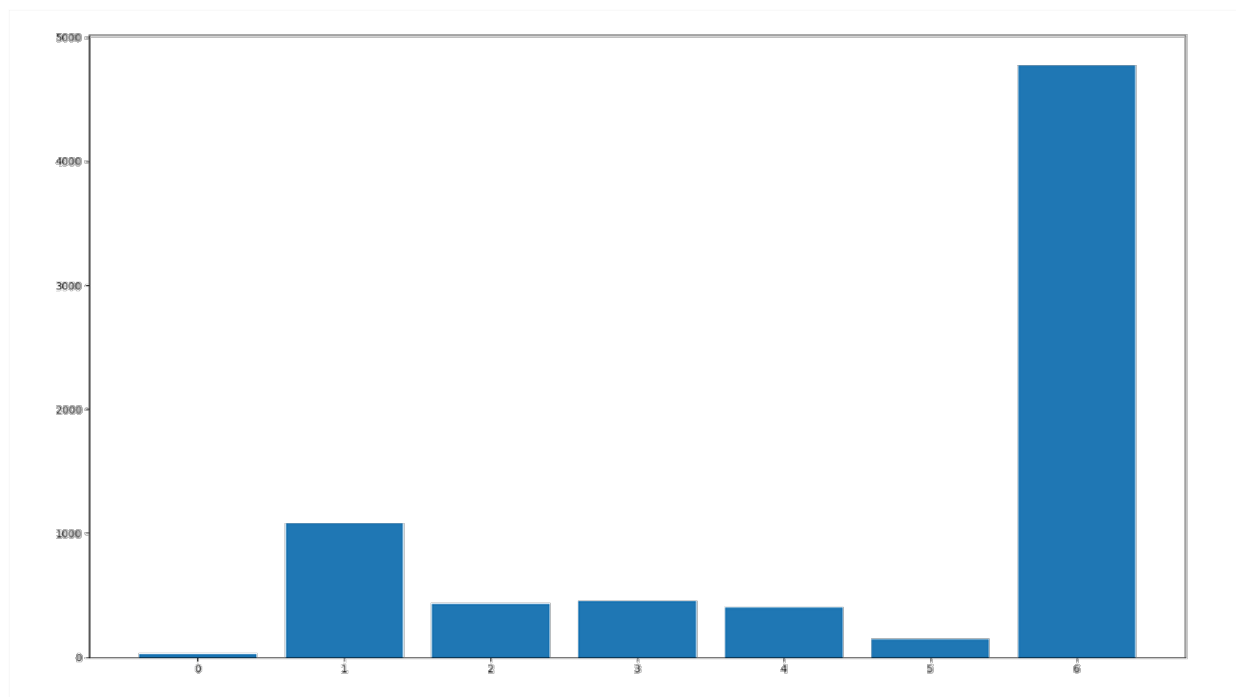
Analysene viser at DLR i rundt 70 % av tiden i løpet av et år, gir en betydelig høyere kapasitet enn grensene i Fosweb. Noe som peker i retning av at nettet har mer kapasitet, som kan benyttes til å knytte til nytt forbruk.

3.3.2.4 Modellering av DLR

Det er i analysearbeidet prøvd ut ulike modelleringer av DLR i maskinlæringsmodeller. Følgende modeller er testet ut:

- Support Vector Machine
- Lineær Regresjon
- Decision Tree

De to første modellene er like, og gir samme resultat. Decision Tree viser at alle variablene som er tatt inn, har like mye og si. Figur 15 under viser hvordan de ulike parameterne påvirker DLR-kapasiteten. Som det kan leses av figuren, så er det middelvind som påvirker DLR-kapasiteten mest. Det ble ikke satt av tid til å gå dypere i denne problemstillingen i piloten, men resultatene viser at modellering av DLR gjennom bruk av maskinlæring er et interessant tema for videre FoU.



Figur 15: Ulike faktorerens påvirkning på DLR, der høyeste verdi har størst påvirkning. 0.Strøm, 1.Temperatur på linje, 2.Lufttemperatur, 3.Maksimumtemperatur (1t), 4.Minimumstemperatur (1t), 5.Vindretning, 6.Middelvind.

3.3.2.5 Vedlikehold av linje

I løpet av pilotperioden oppstod det ett case ifm. en planlagt utkobling av en linje i nettet for vedlikehold. I den forbindelse fikk vi benyttet neuronene for å muliggjøre den planlagte utkoblingen. Hendelsesforløpet, faktiske data for DLR og SLR samt nytteverdier av neuronene, er beskrevet under.

Hendelsesforløp

Det var i uke 21 i 2023, planlagt utkobling av en linje for gjennomføring av vedlikehold. Utkobling av denne linjen gir økt fly på Linje 4 instrumentert med Neuroner. Pga. høye temperaturer og stort tilsig i

magasinene, viste prognosene til systemansvarlig at vi ville få overlast på linjen, dersom utkoblingen ble gjennomført. Som en følge av dette ville det bli nødvendig med spesialregulering, og systemansvarlig ønsket med bakgrunn i dette å utsette utkoblingen.

Driftssentralen ble i samråd med systemansvarlig enige om å benytte neuronene og DLR-grensen på kraftlinjen for å gjennomføre utkoblingen. I praksis ble det gjennom skriftlig kommunikasjon mellom systemansvarlig og driftssentralen inngått en §. 7-2 avtale i henhold til Forskrift om systemansvar i kraftsystemet.

Den første dagen av utkoblingen ble brukt til å teste om det var tilstrekkelig overføringskapasitet på Linje 4. Dette ble gjort ved å koble ut linjen for vedlikehold. Det ble ikke gjennomført noe arbeid på linjen denne dagen, slik at linjen kunne kobles inn på kort varsel. Testen viste at Linje 4 hadde tilstrekkelig kapasitet. Dette kombinert med noe kaldere vær de påfølgende dagene, gjorde at jobben kunne gjennomføres som planlagt.

Resultat og nytteverdier

Figur 16 under viser DLR-kapasiteten og flyten over Linje 4 de to første døgnene av utkoblingen. Figuren viser at maksimal flyt over linjen var på drøyt 600 A under utkoblingen. DLR-kapasiteten var hele tiden over 600 A, og temperaturen på linjen overskred aldri 50 °C. Dette viser at linjen hadde nok kapasitet til å håndtere utkoblingen. Til sammenligning var SLR-kapasiteten for det aktuelle tidsrommet beregnet til 538 A.

Ved bruk av neuronene kunne utkoblingen gjennomføres som planlagt. Dette ga oss følgende nytteverdier:

- Nødvendig vedlikehold kunne gjennomføres som planlagt
- Ingen kostnader knyttet til utsetting av vedlikehold
- Ingen spesialreguleringskostnader for systemansvarlig



Figur 16: Faktisk temperatur, strøm og DLR på Linje 4, de to første dagene i uke 21 i 2023.

3.3.3 Oppsummering, vurdering og konklusjon

I korte trekk, så viser analysene av DLR-kapasitet fra neuronene, at kraftlinjene har mer kapasitet enn det Fosweb-grensene skulle tilsi, i 70-80 % av tiden i løpet av et år. For Snitt 1 er P50 for den økte kapasiteten ca. 26 MW, tilsvarende er den ca. 35 MW for Snitt 2. Dette viser klart at en bruk av DLR-grenser vil bidra til at kapasiteten i dagens nett kan utnyttes bedre.

Caset med bruk av neuronene for å overvåke linjene ifm. utkobling og vedlikehold, viser at den økte kunnskapen og tilgang på data med bedre kvalitet, øker mulighetene for utkobling av nettet. Dette gjør gjennomføring av vedlikehold og tilstandskontroller mere effektivt, og tillater også en bedre utnyttelse av dagens nett.

3.3.4 Videre arbeid og mulige FoU-prosjekter

Vårt bidrag til piloten viser et klart potensial for å utnytte kapasiteten i dagens nett bedre. For å komme dit, er vi avhengige av å få disse målingene inn i driftssentralene på en sikker måte. Deretter må systemene på driftssentralen tilpasses, slik at de kan benytte disse målingene i den daglige driften av nettet. Dette er en problemstilling som passer godt inn i de nye FME'et SecurEL, og det vil være hensiktsmessig å rigge en pilot som benytter neuronene fra Heimdall Power inn i dette FME'et, for å pilotere og løse denne problemstillingen.

3.4 Resultater fra Fagne

3.4.1 Målsetning

Neuronene ble plassert på linjene der hvor klaring til bakken var på et minimum. Målsetningen var å avdekke om klaring til bakken var i henhold til kravet. Det ville bli økt kraftproduksjon på linjer med begrenset overføringsevne. Fagne hadde derfor en målsetning om å øke overføringsevnen på linjene når nytt kraftverket skulle i drift for å redusere produksjonstilpasningen. Nytt kraftverk ville ha en maks produksjon på 60 MW der linjen hadde maksimal kapasitet på 35-40 MW. Det var også et ønske om å kartlegge forbruksmønstre og linjekapasitet i et område med mye næring (fiskeforedling).

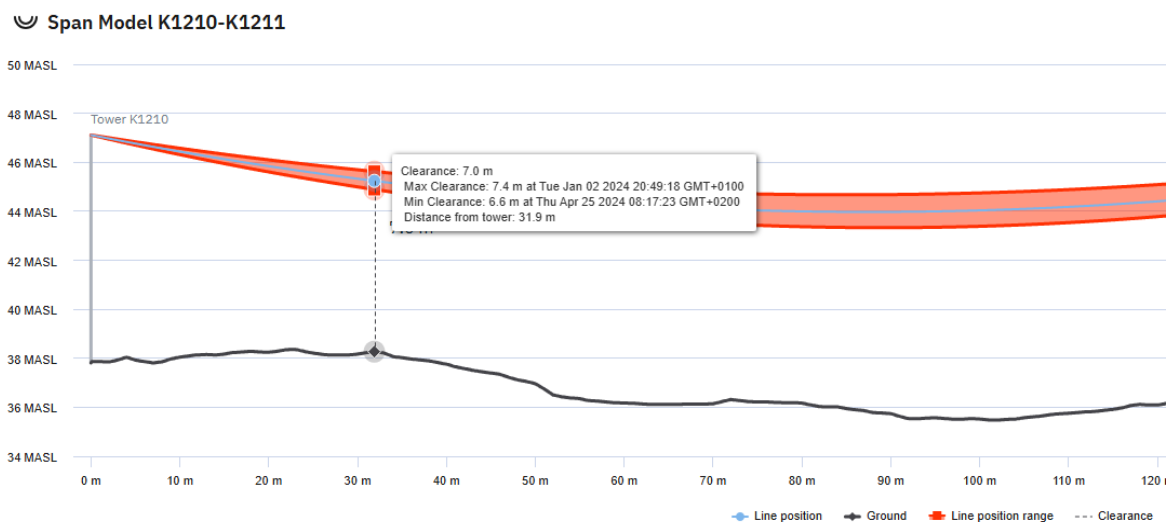
3.4.2 Problemstilling

Nytt kraftverk ville medføre en effektøkning utover kapasiteten på regionalnetts linje, 60 MW produksjon og 35-40 MW overførings effekt på linjen. Ved å bruke DLR var det ønske om å gi kraftverket mulighet til å produsere mer effekt, samtidig kunne overvåke avstandskravet til bakken.

Videre var det et ønske om å øke linjekapasitet på 66 kV hovedlinje til industriområde på Karmøy. Industriområde har i hovedsak mye fiskeforedling hvor kundene har store effekt uttak, men til ulike tider. Bedriftene ønsker å øke uttak, men de har blitt holdt igjen pga. manglende kapasitet på regionalnett. Linjen skal skiftes om noen år. Ønsker her å tilknytte kunder på vilkår inntil ny linje er bygget

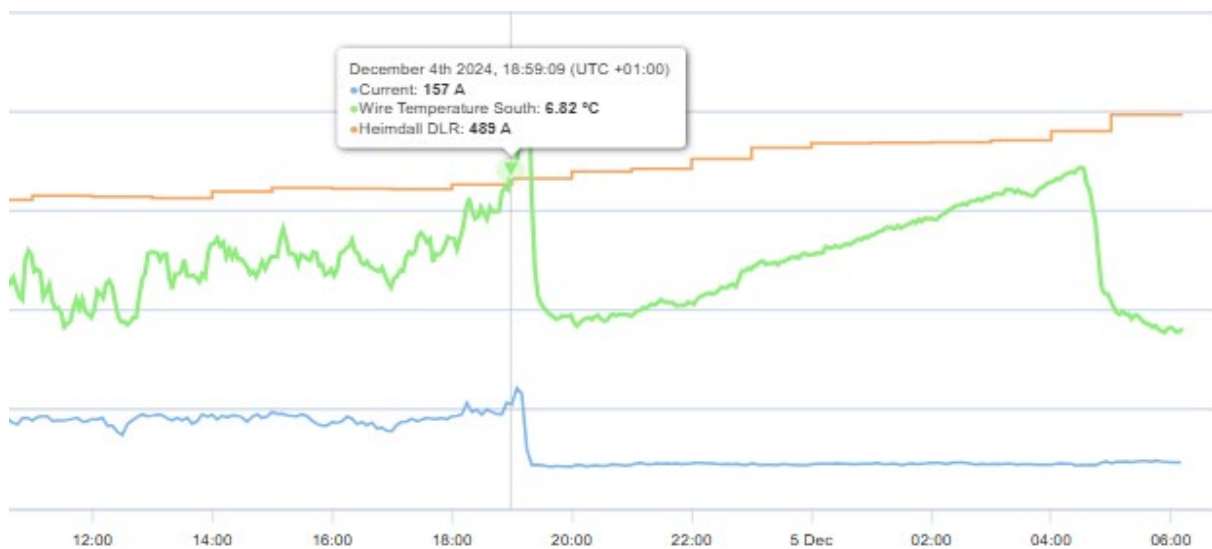
3.4.3 Resultater

Fagne har avdekket at avstandskravet til bakken på 6m brytes allerede ved linjetemperatur på 20 grader for noen spenn på noen linjer i nettet. Dette oppstår mest på sommeren når det er varmt, men også i noen tilfeller når linja belastes med 2/3 av strømføringssevnen. Det er da typisk sol og lite vind. Figur 17 viser et utsnitt av spennmodellen i Heimdall Cloud og hvordan sig og klaring til bakken kan overvåkes i sanntid og analyseres historisk. Neuronene ble plassert på spenn Fagne allerede visste at klaring til bakken var lav. Overvåkingen med Neuronene bekreftet at dette stemte og viste at det var lavere klaring til bakken enn kravet ved linjetemperaturer over 20 °C.

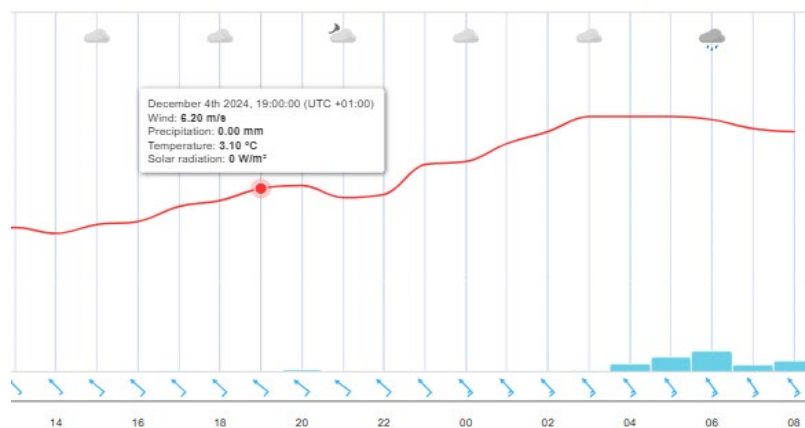


Figur 17: Utsnitt av spennmodell for overvåking av Sig og klaring til bakken i Heimdall Cloud.

Situasjonen vist i Figur 18 viser et tilfelle der hovedforsyningen til vindparken i Tysvær har blitt koblet ut og produksjonen går via produksjonslinjen det er installert Neuronene på som er vist i figuren. Max. driftsgrense på lina er satt til 200 A og i dette tilfellet er strømmen på linja målt til 157 A. Lufttemperaturen er lav, samtidig som en stabil vind og manglende solinnstråling gjør at det er betydelig kjøling på linjene. Data fra Neuronene viser faktisk at det er 100 – 200 % mer kapasitet gjennom det aktuelle døgnet enn de statiske driftsgrensene på driftssentralen skulle tilsi. I dette tilfellet fikk driftssentralen alarm på høy strøm på linja mens data fra neuronene viste at det var kapasitet på linja.

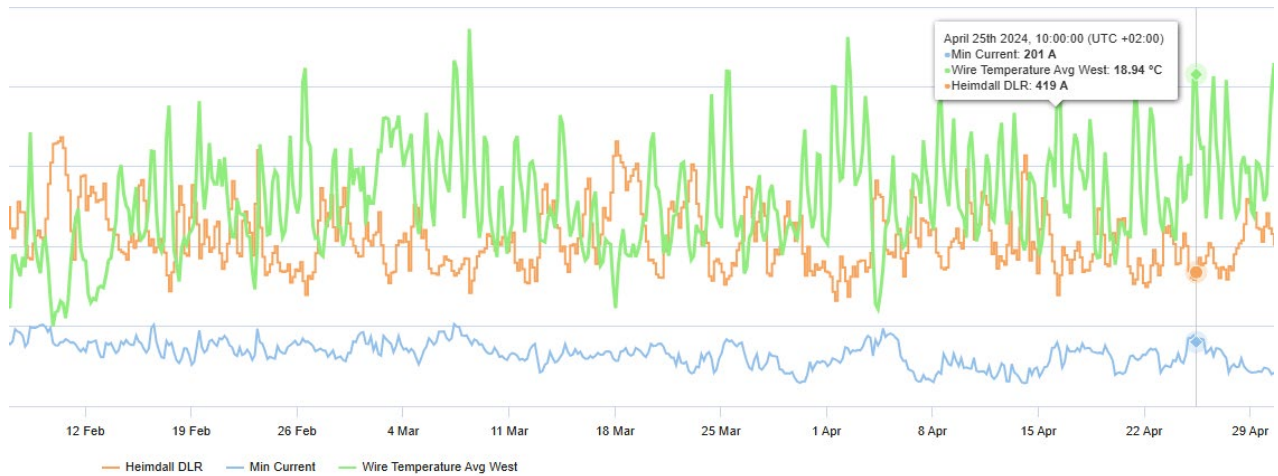


Figur 18: Lastkurve for hendelse på en linje ved endring av produksjon. Orange linje viser DLR kapasitet, grønn linje viser målt temperatur i linja og blå linje viser strøm målt i linja.



Figur 19: Tilhørende vær til situasjonen vist i Figur 18.

Figur 20 viser at regionalnettet som forsyner industrilasten har god kapasitet. Her er det god margin på klaring til bakken og det er mulig å utnytte linjen bedre ved å kjøre driften etter DLR og benytte oss av fleksibelt forbruk ved behov. DLR er i snitt 57 % mer kapasitet i linjene sammenlignet med dagens driftsgrenser.

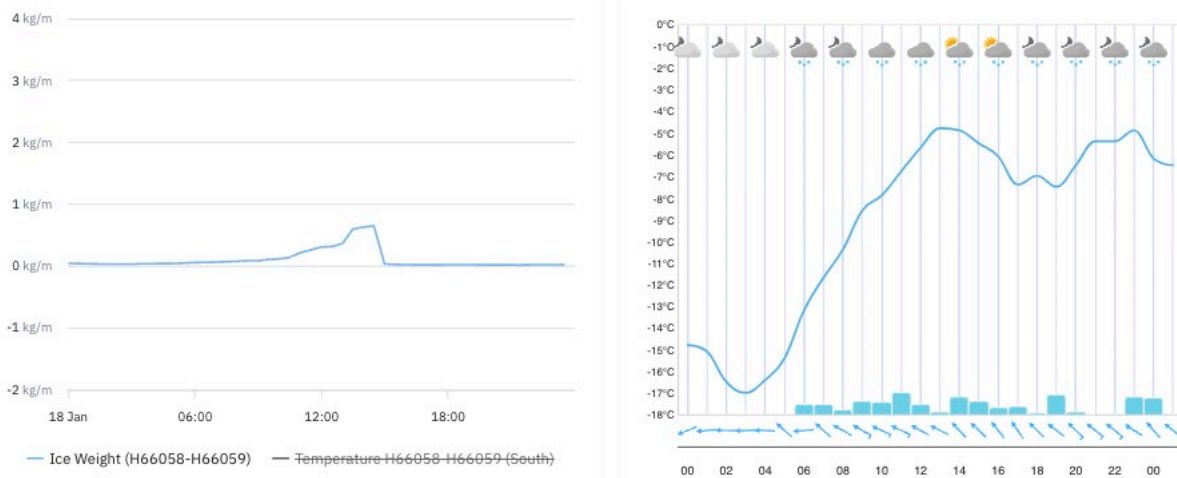


Figur 20: DLR, last og målt linjetemperatur for linja opp mot et industriområde.

Resultatene fra overvåkningen av disse linjene hvor klaring til bakken på enkelte spenn setter begrensinger for overføringskapasiteten for hele linjen, viser at ved å overvåke og ha kontroll på disse spesifikke spennene gir rom for betydelig mer kapasitet enn antatt. Til tross for at neuronene målte at siget på linjene faktisk var høyere enn antatt teoretisk på ulike linjetemperaturer, noe som skulle tilsi enda lavere lastgrenser enn opprinnelige grenser, viser piloten at linjene det meste av tiden har betydelig mer kapasitet enn hva det driftes etter i dag. Dette skyldes at kjølingen på de aktuelle spennene er høyere på de aktuelle spennene og gjør at linjetemperaturen ikke når de aktuelle temperaturgrensene som de teoretiske, statiske lastgrensene skulle tilsi.

Overvåkning av islast

I byggeperioden til kraftverket var det veldig begrenset produksjon fra det gamle kraftverket som medførte at det var liten effektflyt på linjene. Som en følge av værforhold i kombinasjon med lav linjetemperatur, oppstod da situasjoner med ising på linjene. Isingen har i denne perioden medført flere fasebrudd på en av linjene. Figur 21 viser islastmonitoreringen som er tilgjengelig i Heimdall Cloud. Figuren viser islasten som bygger seg opp på linjen. Ved bruk av denne overvåkningen har Fagne, når driftssituasjonen har tillatt det, lastet opp linjen for å smelte av isen og fikk testet ut hvor mye linjen måtte belastes for å avise linja. Dette kan brukes for å unngå feil som fasebrudd.



Figur 21: Islast som bygger seg opp på et spenn med overvåking den 18.januar 2024 med tilhørende værmelding for den dagen, fra Heimdall Cloud.

3.4.4 Konklusjon

På grunn av forsinkelser med driftssetting av kraftverket, fikk ikke Fagne testet Neuronene helt etter opprinnelig plan. Videre ble heller ikke den forventede effektøkningen fra industriområdet etterspurt, noe som førte til at den operative situasjonen ble annerledes enn forventet i forkant av piloten. Til tross for dette har piloten gitt Fagne betydelig og nyttig innsikt som vil nyttes når effektøkningen fra produksjon og forbruk driftsettes. Basert på de historiske målingene har Fagne nøyaktige data for reell kapasitet på linjene. Dette datagrunnlaget vil nyttes for å gjennomføre nødvendige tiltak for temperaturoppgraderinger av linjen, samtidig som målingene vil gi innsikt i hvilken forventet reell kapasitetsøkning disse tiltakene vil gi. Vi ser at denne innsikten vil være svært nyttig inn i generell nettutvikling og prioritering av tiltak for oppgradering både av de aktuelle linjene og generelt der slik overvåking gjøres over tid.

Piloten har vist at reell klaring til bakken ved ulike linetemperaturer i noen tilfeller har vært mindre enn teoretisk antatte beregninger. Til tross for at denne innsikten skulle tilsi lavere lastgrense for linjen som helhet, viser målingene at linjen i lange perioder tåler langt mer last enn dagens lastgrenser. Dette skyldes at kjøling av linjene på de aktuelle begrensende spennene er langt høyere enn tradisjonelle antakelser skulle tilsi. Med direkte målinger og sanntidsdata fra de aktuelle begrensende spennene kan denne ekstra kapasiteten nyttiggjøres og hindre at produksjon reduseres eller at kunder med tilknytning på vilkår vil kobles ut unødige. Dette fordrer imidlertid at disse dataene er lett tilgjengelige for driftsoperatørene i sine driftssystemer.

Piloten har vist at sanntidsdata fra Neuronene har detektert og beregnet oppbygging av islast på enkelte linjer. Ising har tidligere ført til fasebrudd på enkelte linjer, men dette kan unngås ved at driftscentralen får melding og varsel om at det er fare for ising og hvilken last som må til for å hindre at isingen oppstår. Gjennom piloten har vi sett at is har bygget seg opp på linjene og at dette har smeltet som følge av at mer last har blitt lagt på den aktuelle linja. Basert på målingene fra Neuronene har driftsoperatøren kunnet følge utviklingen, bli varslet og kunnet observere når islasten har sluppet fra linja.

Innsikten fra piloten og sanntidsdataene fra Neuronene har gitt nyttig innsikt for Fagne som ser betydelig potensial for bruk inn mot nettplanlegging og i aktiv drift. Gjennom alarmer for linetemperatur, klaring til bakken eller ved fare for islast har driftsoperatørene fått nyttig innsikt. Det vil være en stor fordel om disse alarmene og innsikten i fremtiden ble integrert og presentert direkte i driftssystemet.

3.4.5 Veien videre

Fagne monterte sommeren 2024 Neuroner på alle regionalnett linjer. Det er forventet en stor forbruks økning i vårt regionalnett. Ved å være tidlig ute med sensorene får vi samlet masse historikk fra de ulike linjene for både forbruksmønster og kapasitet som vi kan benytte når vi planlegger for nytt forbruk og prioritering av nødvendige tiltak for forsterkninger i nettet. I tillegg får vi historikk på lastendringen som skal skje de neste årene.

Det er bygget flere vindkraftanlegg i Tysvær som har medført at Fagne allerede nå må drifte noe av regionalnettet hardere. Dette er anlegget som har kommet raskt på drift og regionalnettet for denne type anlegg har ikke N-1 forsyning. Når de har utkobling på hovedlinjene medfører dette at vindkraften må stå eller produksjons begrenses. Dette går også utover eksisterende vannkraftanlegg. Begge disse typene produksjonsanlegg produserer mye i perioder med lavt strømforbruk. Med sensorene vil de kunne ha bedre kontroll på kapasiteten og begrense produksjonstilpasningen til et minimum, samtidig varsle produsentene i forkant av en mulig begrensning som da muligens vil kunne lagre produsert energi lokalt.

Driftssentralen så potensiale i å ha Neuronene med i NextGrid prosjektet. Med en kombinasjon av programvare og sensorer fra Heimdall Power får driftssentralen informasjon i sanntid og kan drifte nettet på en sikrere både i normal drift og når en drifter nettet med N-0.

3.5 Resultater fra Tensio

3.5.1 Målsetting

Målsettingen for denne delpiloten var å se på ulike problemstillinger i Tensio sitt nettområde. Overordnet var det et ønske om å se på hvordan resultatet fra denne piloten kunne gi ny metode og prinsipp for nettdrift etter dynamiske kapasitetsgrenser også andre steder i høyspent nett.

Det ble valgt ut problemstillinger knyttet til fleksible laster for å se på hvor lang planleggingshorisont og hvilke forutsetninger må legges til grunn for bruk av predikerte kapasitetsgrenser basert på sensordata og hvordan dette kan brukes i driftsplanlegging og tilknytninger med fleksibel last. Det skulle testes hvordan måling av linjetemperatur og faktisk kapasitet i linjene kunne bidra til riktig styring av fleksible laster.

Videre var det et ønske å undersøke om måling av kapasitet med sensorer i reservelinjer kunne gi ny innsikt og nye prinsipper for vurdering av behov reservekapasitet i høyspentnettet, både for høyspent distribusjonsnett og regionalnett med bruk av prediktiv N-1 modellering.

For nettplanlegging ønsket man å se på hvordan dynamiske driftsgrenser kan endre dagens metoder og prinsipper for dimensjonering kapasitet i høyspente luftlinjer tilknyttet produksjon av vindkraft.

Til slutt ønsket man å se på hvordan tredjeparts datastrømmer som sensordata skulle presenteres og vises i interne systemer for å gi verdi for nettdrift og andre, hvilke datastrømmer må integreres, på hvilken tidsoppløsning og hvilken tidsforsinkelse aksepteres. Det skulle videre testes hvordan man kan styre etter måledata fra Neuronene i kombinasjon med andre digitale datakilder fra nettet. Målet var å gi ny innsikt til hvordan konkret digitalisering kan føre til bedre utnyttelse og tryggere drift av nettet.

3.5.2 Resultater

I dette kapitlet vil resultater fra de ulike målingene/linjene vurderes hver for seg.

3.5.2.1 Røra-22IN1 (Inderøy)

Denne linjen ble plukket ut som aktuell for testing av DLR, fordi den ifølge lastflytberegninger er belastet opp mot 100 % av statisk kapasitet. I tillegg er linjen en viktig (den eneste) reserveforsyningsmulighet for store deler av Inderøy (ca 9 MW i tunglast, eller ca 230 A ref. 22 kV) ved utfall av linjen fra Østerås.

Det er en del fleksibelt forbruk (elkjeler) i området som kan aktiveres for å redusere belastningen på nettet. Det er også ønsker om tilknytning av mer fleksibel last, men som det ikke er plass til i eksisterende nett når dagens dimensjoneringskriterier skal legges til grunn.

I januar 2023 ble fire neuroner montert på linjen fra Røra transformatorstasjon og fram til kabelnettet ved kommunesenteret Straumen. Hensikten var å få god oversikt over reell belastning på linjen og dermed å kunne utnytte kapasiteten bedre enn før.

Det har ikke vært behov for reserveforsyning via denne linjen i løpet av den tiden neuronene har vært montert. Det har heller ikke blitt utført tester med omkobling i løpet av perioden.

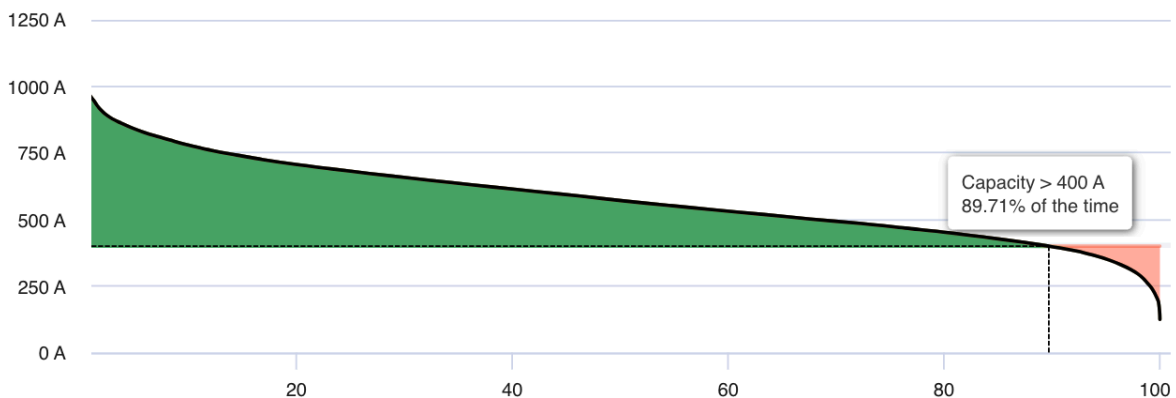
Nettet mellom Røra og Inderøy/Straumen består av flere typer komponenter som alle har sin merkestrøm eller øvre belastningsgrense. For denne linjen er det to nedstrømskomponenter som begrenser overføringsevnen: En strømtransformator og en skillebryter som begge har en belastningsgrense på 400 A.

Figur 22 viser en varighetskurve av DLR kapasitet for linjen for hele prosjektperioden sammenlignet med maksimal driftsgrense for de mest begrensende nedstrømskomponentene på 400 A. Figuren viser at disse komponentene begrenser kapasiteten 90 % av tiden. Ved å skifte ut strømtransformatoren og skillebryteren med en begrensning på 400A kan DLR utnyttes mer og det er mulig å hente ut mer kapasitet

fra linjen. Jordkablene ved stasjonen med belastningsevne på 465 A bør også skiftes ut for få større spillerom i forhold til belastning på linja.

Line DLR

Duration Curve



Figur 22: Varighetskurve som viser hvor mye kapasitet det er tilgjengelig (DLR) over hele prosjektperioden sammenlignet med maksimal driftsgrense på den mest begrensende nedstrømskomponenten på 400 A.

Konklusjon

Nytteverdien av neuronene har hovedsakelig så langt vært at man har fått informasjon om strøm og temperatur på linjen og dermed sett at man har mye å gå på i forhold til belastningsgrense (DLR) på selve luftlinjen. Man har tidligere kun hatt strømmåling på avgangen fra transformatorstasjonen. Med neuroner plassert ute i nettet får man også informasjon om faktisk belastning ute i nettet. Dette er også nyttig informasjon for den som sitter og skal drifte nettet, spesielt i et distribusjonsnett med mange avgreininger. Neuronene har også tydeliggjort hvilke nedstrømskomponenter som er begrensende og hvor ofte de er det.

3.5.2.2 Frosta-22HE1 (Hernesøra)

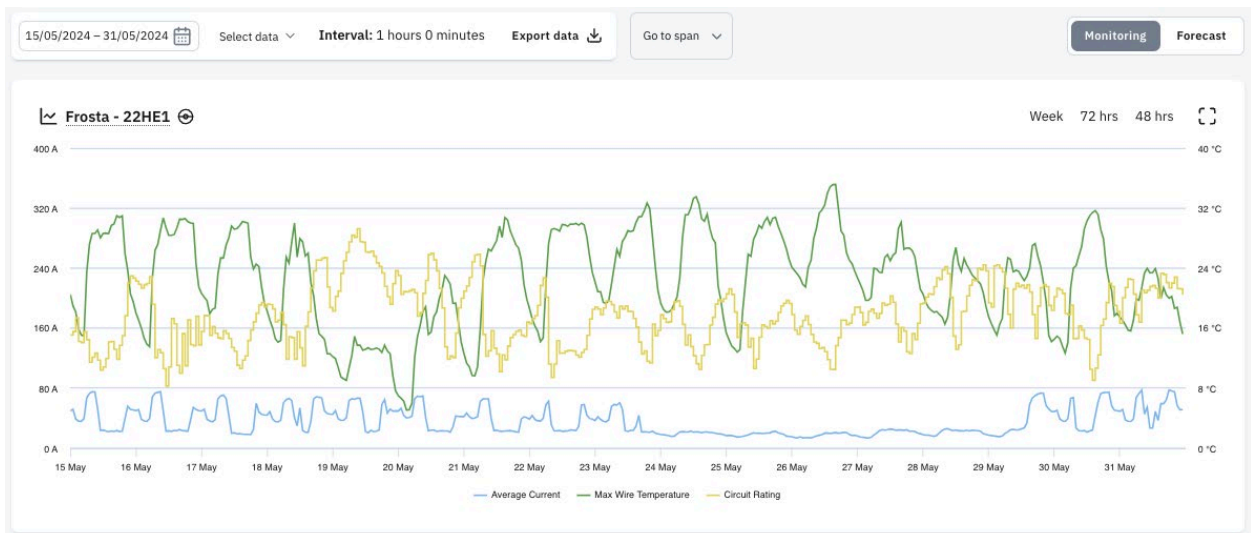
Denne linjen ble plukket ut som aktuell for testing med DLR, fordi den ut fra lastflytberegninger er belastet opp mot 100% av statisk kapasitet. Dette er et kort linjestrekk som har mindre tverrsnitt (lavere kapasitet) enn linjer og kabler i begge ender. Den er en klar flaskehals for overføring. I tillegg ligger det et gartneri i den ene enden av linjen, som har mulighet for å regulere belastningen sin til en viss grad.

I april 2023 ble det montert ett neuron på linjen for å overvåke strøm og temperatur på linjen. Hensikten var å få god oversikt over reell belastning på linjen og dermed å kunne utnytte kapasiteten bedre enn før, og ved behov redusere belastningen i gartneriet for å kunne bedre forsyningen til resten av nettet bak gartneriet.

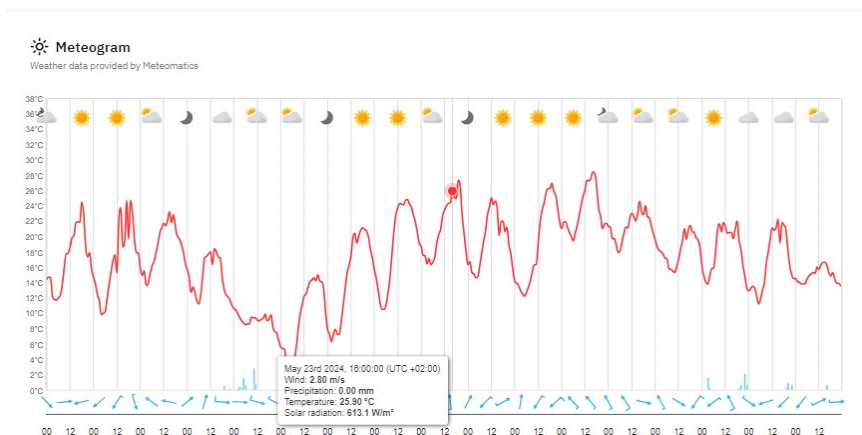
Det har ikke vært behov for å utnytte fleksibel last ved gartneriet i løpet av den tiden neuronet har vært montert. Belastningen på linjen har ikke vært over 130 A i løpet av perioden og statisk belastningsgrense på linjen er 158 A. Vi ser at på varme sommerdager med høy temperatur, sol og lite vind så er den dynamiske lastgrensen beregnet i Heimdall Cloud lavere enn den statiske grensen, men ikke lavere enn faktisk målt strøm i linjen på samme tidspunkt.

I en periode i mai 2024 målte neuronet redusert belastning på linjen. Meteogram for samme periode er vist i Figur 24 og Figur 25. Reduksjonen i last skjedde i en periode med fint vær. Belastningen ved gartneriet har vært redusert i samme periode som vist i Figur 26. Denne reduksjonen er ikke initiert av Tensio, men

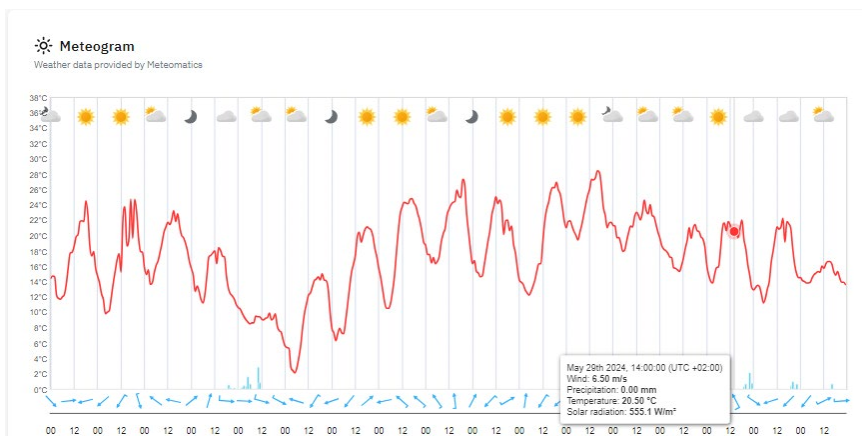
kan skyldes været eller evt andre forhold ved gartneriet som vi ikke har oversikt over. I følge timesmålinger på flere målere/anlegg tilknyttet gartneriet, har elkjel og vekstlys vært slått av. Det har kun vært forbruk til tekniske installasjoner i disse dagene.



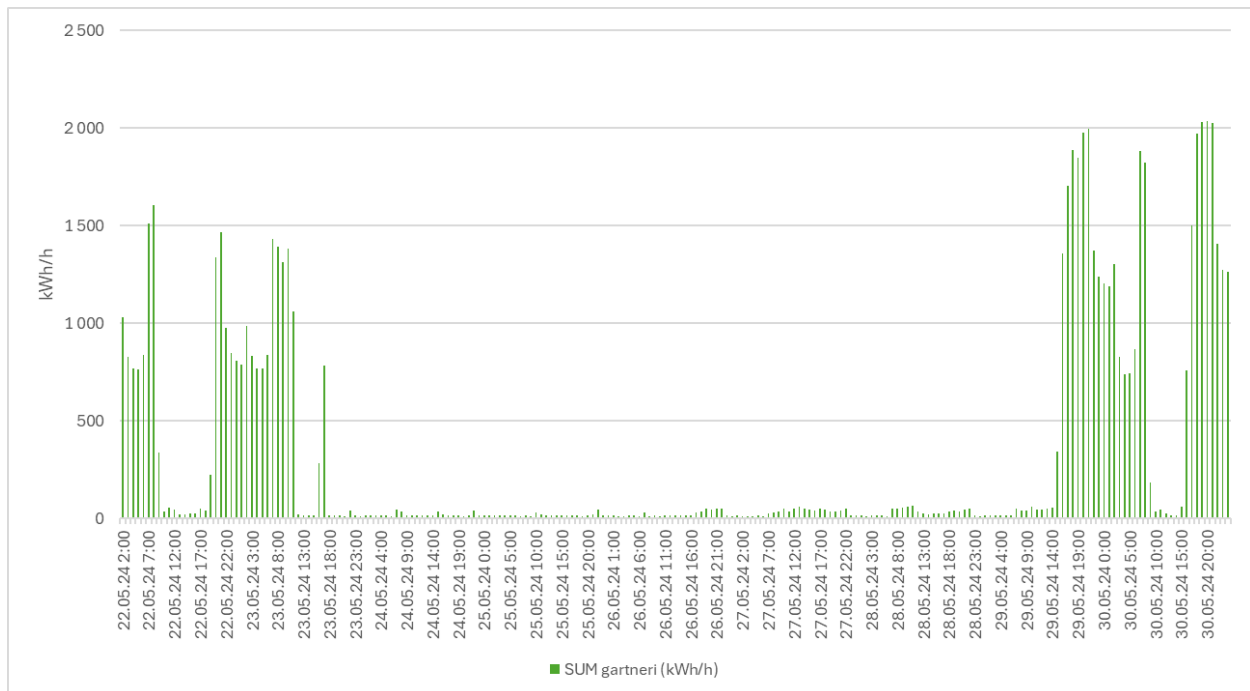
Figur 23 Reduksjon i belastning registrert av neuronet



Figur 24 Meteogram med markering av starten av periode med lavere last



Figur 25 Meteogram med markering av slutten av periode med lavere last



Figur 26 Målt forbruk i kWh/h i periode med redusert last ved gartneriet

Nettet mellom Frosta transformatorstasjon og gartneriet består av flere typer komponenter som alle har sin merkestrøm eller øvre belastningsgrense. Den mest begrensende komponenten her er en skillebryter og strømtransformator, begge med belastningsgrense på 400 A.

På denne linjen er det mulig å utnytte DLR uten og måtte skifte ut andre komponenter først. Det har imidlertid ikke vært nødvendig å utnytte fleksibiliteten til kundene enda. Frosta er et område hvor det allerede er tilknyttet flere kunder med fleksibel last (gartneri med kjeler og vekstlys). Med neuron og bruk av DLR er det trolig mulig å knytte til mer last på denne avgangen på Frosta. Spenningsforhold i nettet må undersøkes nærmere før evt ny last tilknyttes. Det må også foreligge avtaler mellom nettselskapet og kundene som har fleksibel last.

3.5.2.3 Eidum – Mælafoss/Sutterø (66 kV)

Denne linjen ble plukket ut som aktuell for testing av DLR, fordi den er en viktig reservelinje i ringforbindelsen til 66 kV nettet i Stjørdal. Linjen har I_{th} = 420 A eller ca 48 MVA ref. 66 kV, og dette er begrensende for overføringen.

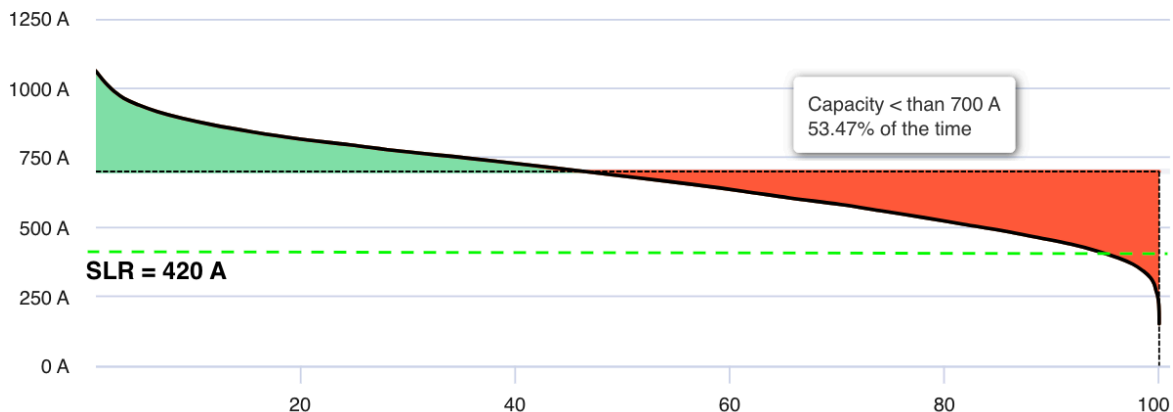
11. april 2023 ble to neuroner montert på denne linjen. Hensikten var å få god oversikt over reell belastning på linjen og dermed å kunne utnytte kapasiteten bedre enn før. Ettersom dette er en reserveforbindelse, og for å sikre at Sutterø forsynes via hovedforbindelsen på 132 kV, vil denne 66 kV linjen normalt ligge utkoblet. Tanken var at vi i løpet av perioden skulle koble inn linjen ved ulike typiske klimatiske forhold for å finne en sammenheng mellom overført strøm og linjetemperatur.

Linjen har imidlertid vært innkoblet fra 11. april 2023 til 3. mai 2024. Årsaken til dette har vært driftssituasjonen ikke har vært normal i denne perioden. Fram til mai i år har ikke strømmen vært over 180 A (målt av neuronene). Siden 3. mai har linjen vært innkoblet i tre korte perioder med varighet mindre enn et døgn hver gang. Den 24. september 2024 var den innkoblet i 12 timer på dagtid og høyeste målte strøm var 400 A (ca 95 % av statisk belastningsgrense). Beregnet lastgrense på samme tid var 500 A (jfr Heimdall Cloud).

Figur 27 viser varighetskurve for DLR for linjen i prosjektperioden sammenlignet med den mest begrensende nedstrømskomponenten på 700 A. For denne linjen er det transformatorene i stasjonene som er begrensende. Det røde feltet viser hvor stor periode det er linjen som begrenser kapasiteten. 93 % av tiden er linjens kapasitet høyere enn den statiske driftsgrensen man opererer med i dag på 420 A.

Line DLR

Duration Curve



Figur 27: Varighetskurve for linjen Eigum-Mælafoss for prosjektperioden sammenlignet med den mest begrensende nedstrømskomponenten på 700 A. Den grønne stiplede linjen viser dagens statiske driftsgrense for linjen på 420 A.

Konklusjon

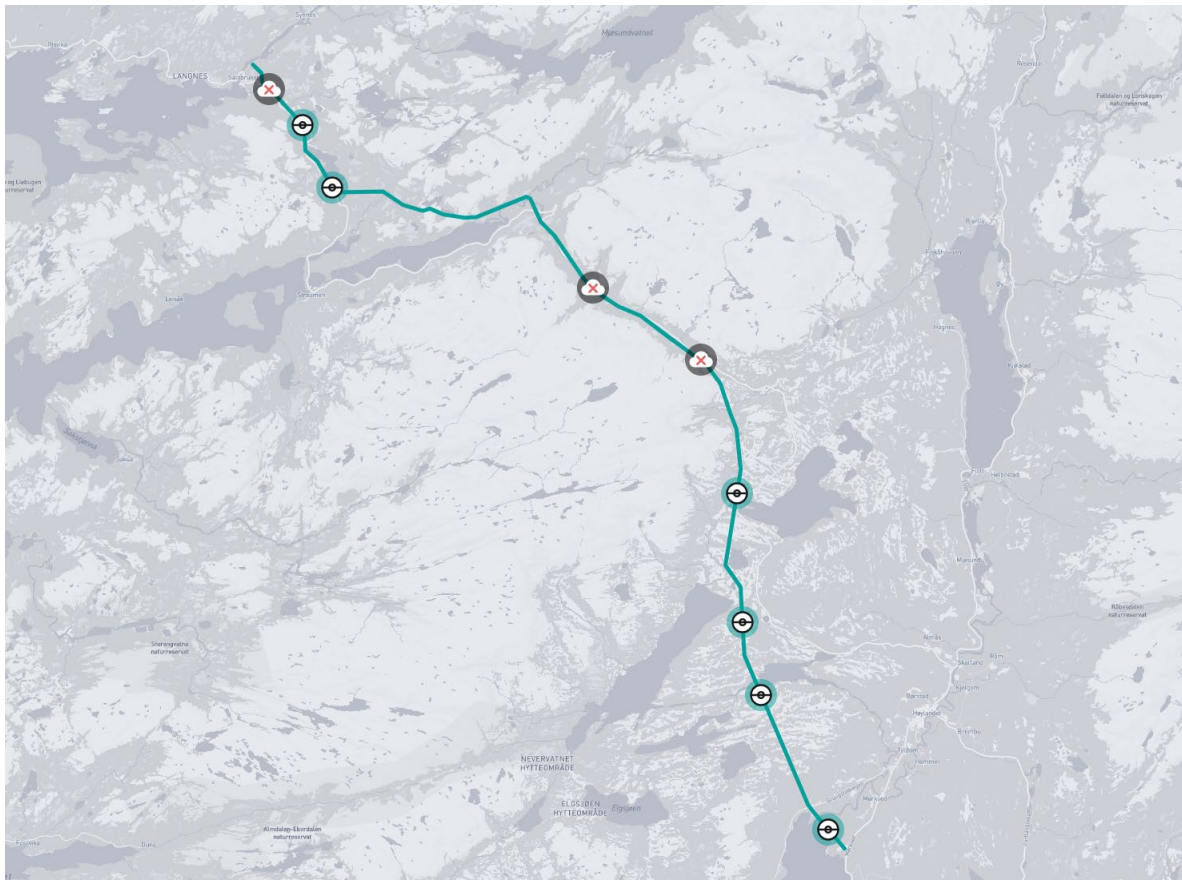
På denne linjen er det mulig å utnytte DLR uten å måtte skifte ut andre komponenter først. Overvåking med neuronene og bruk av DLR vil være svært nyttig ifm feil og vedlikehold i regionalnettet i Stjørdal.

3.5.2.4 Høylandet – Salsbruket (66 kV)

Denne linjen ble plukket ut som aktuell for testing av DLR, fordi den er en del av 66 kV ringen mellom Ytre Namdal og Namsos. Det er relativt mye vindproduksjon i Ytre Namdal og overføringskapasiteten i nettet er begrenset. På grunn av dette er det i dag avtale om at vindparkene på Hundhammerfjellet (55 MW) og Ytre Vikna (39,1 MW) bare kan produsere til sammen maks 85 MW.

Nettet mellom Ytre Namdal og Namsos skal rehabiliteres og forsterkes om noen få år. I ombygingsperioden vil linjen Høylandet – Salsbruket bli enda viktigere for forsyningssikkerheten både for Ytre Namdal og for Namsos-området. Det å ha oversikt over belastningen og kunne utnytte kapasiteten til nettet best mulig vil være viktig.

I januar 2023 ble 11 neuroner montert på denne linjen. Hensikten var å få god oversikt over reell belastning på linjen og dermed å kunne utnytte kapasiteten bedre enn før. Det er svak/manglende dekning på mobilnettet på deler av linjestrekningen. På grunn av dette ble to neuroner demontert og noen andre neuron sender data bare innimellom, men det ble vurdert slik at disse ni neuronene ville gi god nok dekning av linjen. Det var heller ikke mulig å få det til noe bedre enn dette. Figur 28 viser plassering av Neuronene og på hvilke lokasjoner det er utfordringer eller ingen dekning.



Figur 28 Kartutsnitt over linjen Høylandet – Salsbruket med neuroner

Strekningen Høylandet – Salsbruket er en del av strekningen mellom Nedre Fiskumfoss (Harran/Grong) og Saltbotn (Kolvereid). Både Salsbruket og Høylandet er tilknyttet linjen via T-avgreininger.

Konklusjon

I Saltbotn er det en strømtransformator med merkestrøm 500 A som begrenser overføringskapasiteten mer enn linjen. Dersom denne skiftes, vil det være mulig å utnytte DLR og utnytte kapasiteten på linjen mye bedre enn i dag. Overvåking med neuronene og bruk av DLR vil være svært nyttig ifm feil og vedlikehold i regionalnettet og det vil periodevis være mulig å tillate innmating av mer vindkraft.

Strømtransformatoren i Saltbotn vil bli skiftet til en ny med 800 A merkestrøm i løpet av mai 2025. Dette vil koste ca 200.000 kr. Bygging av en ny linje koster rundt 5 MNOK per km [1]. Utskifting av en nedstrømskomponent i kombinasjon med DLR teknologi representerer derfor en brøkdel av kostnaden å bygge en ny linje.

3.5.2.5 Abelvær – Strand (66 kV)

Da Nye Hundhammerfjellet vindkraftverk ved Abelvær ble satt i drift høsten 2020, ble installert ytelse i vindparken økt til 55 MW, noe som tilsvarer 480 A referert 66 kV. Den gamle sjøkabelen fra Abelvær mot Jøa og Daltrøa/Namsos har ikke kapasitet til å overføre denne effekten. Vindkraften må derfor overføres nordover mot Strand transformatorstasjon. Deler av linjen Abelvær – Strand har stasjonær belastningsgrense på 363 A. Det ble derfor montert tre neuroner på denne linjestykket den 16. juli 2020 slik at nettsentralen kunne overvåke strøm og temperatur på linjen for å utnytte kapasiteten bedre og overføre mest mulig vindkraft.

Konklusjon

Strømtransformatoren i Strand er den begrensende nedstrømskomponenten. Den kan overbelastes 20%, dvs. den tåler 480 A. Nettsentralen har lagt inn en alarmgrense på 420 A i Heimdall Cloud, slik de får varsel dersom belastningen overstiger denne verdien. Nyttan av neuronene på denne linjen har vært god. Belastningen på linjen har vært opp til 460-470 A uten at lastgrensen beregnet i Heimdall Cloud har vært oversteget. Dette tilsvarer en belastning på opp mot 130 % av statisk belastningsgrense.

3.5.3 Konklusjon

Overordnet er det vist at en begrensning for å utnytte potensialet for økt kapasitet med DLR er begrensninger i andre komponenter. Nettet er bygget for lenge siden og dimensjonert etter tradisjonelle kriterier for linjekapasitet. Det har vist seg at for samtlige linjer som er instrumentert, er det andre komponenter som begrenser kapasiteten. Dette er svært nyttig informasjon inn i nettplanlegging der de vil få muligheten til å prioritere og bestemme hvilke komponenter som må oppgraderes for å raskt øke kapasiteten i en krets. Sammenlignet med å bygge en helt ny linje er utskifting av nedstrømskomponenter en langt billigere og mindre tidkrevende aktivitet.

Eksempelvis vil en utskifting av en strømtransformator for med merkestrøm på 800 A koste ca. 200 000. Bygging av en ny linje koster rundt 5 MNOK per km [1]. Utskifting av en nedstrømskomponent i kombinasjon med DLR teknologi representerer derfor en brøkdel av kostnaden å bygge en ny linje.

3.5.4 Videre arbeid

På kort sikt skal noen strømtransformatorer skillebrytere skiftes ut slik at man kan bruke DLR på de linjene som er bestykket med neuroner i dag. Videre må vurdere om dagens plassering av neuroner fortsatt er hensiktsmessig og om evt også andre linjer bør overvåkes.

På litt lengre sikt så skal samarbeidet Kongsberg Digital i prosjektet Nextgrid gi oss en bedre og mer utviklet utgave av en digital tvilling (Kognitwin Grid) som omfatter hele nettet til Tensio. Tvillingen er etablert og data fra neuronene hentes automatisk inn i tvillingen og presenteres der. På sikt vil disse dataene brukes til å lage en bedre modell for belastningen i nettet og bruke DLR for linjene ved nettberegninger.

Tensio er også i ferd med å innføre et nytt styringssystem for smarte nett. Det er et mål at data fra neuronene skal tas inn i dette systemet også og gi nyttig input til styring av nettet.

Ved bruk av DLR og måling av strøm og temperatur på linjer, kan nettet utnyttes bedre. Med kunnskap om dette er det mulig å styre fleksibel last og produksjon slik at nettet er mest mulig optimalt utnyttet.

3.6 Resultater fra Lede

3.6.1 Beskrivelse av delpiloten

Et fabrikklegg i et industriområde har et ønske om økt lastuttak. Begrensning på overføringskapasitet på ledningen inn til industriområdet gjør at man frykter at det blir for stort sig og at ledningen kommer for nær bakken ved maks last. Man forholder seg i dag til teoretiske beregninger for å angi maksimal overføringskapasitet på ledningen. Disse representerer ikke den faktisk tilgjengelige kapasiteten i linjene og på grunn av usikkerhet er det nødvendig å legge på sikkerhetsmarginer i flere ledd. Dette gjør at linjene har mye ubrukt kapasitet som kan utnyttes ved overvåking med sensorer som Heimdall Neuron.

Det er i dag to linjer inn til industriområdet for å få redundans. De er gjensidig reserve for hverandre. 95 % last på den ene linjen og 5 % last på den andre linjen ved normaldrift. I delpiloten er disse to linjene inn til et fabrikklegg instrumentert med totalt 18 Neuroner. Totalt 20 km nett.

Netteier og systemeier oppfatter at begge linjene er nå fulle og de kan ikke utnyttes mer uten å gå utover N-1 som det er viktig å opprettholde for god forsyningsikkerhet og ha nødvendig reservekapasitet tilgjengelig.

Ut ifra dagens etablerte metoder for nettdrift er det sommerlasten som gir mest utfordringer for overføring av mer kapasitet til industrien. Det er spesielt for denne perioden at alternative måter å drifte nettet på må utforskes.

3.6.2 Konklusjon

Drømmescenario ved oppstart var at nettet skulle vise seg å ha mer kapasitet enn innstilt statisk grenseverdi (SLR). Lede ønsket å utforske muligheten for å kunne tilknytte ytterligere forbruk uten å oppgradere nettet. Driftsperioden har vist at det er mange dager i året hvor den statiske grenseverdien er unødvendig streng. Men også at det er dager der vi belaster nettet for hardt med dagens last, dersom DLR legges til grunn.

For å vurdere tilknytning av ytterligere last så må nettet beregnes som om begge linjer inn til kunden driftes sammenkoblet med summert last (N-1). Da ser vi at historisk last overskrider DLR-verdier flere ganger i løpet av året. Dersom vi legger på ønsket lastøkning på 500A så er overskridelsene enda hyppigere. For Lede er dette en uakseptabel løsning.

Denne innsikten kan allikevel brukes som beslutningsstøtte for kunden dersom man ønsker å vurdere tilknytning på vilkår. Dersom kundens bedrift kan akseptere såpass hyppige utfall, så kan man allikevel tilknytte den økte lasten uten nettforsterkning. Dette vil i så fall være en vurdering og beslutning som ligger hos kunde.

3.6.3 Datasikkerhet

Piloten har avdekket at det er to sikkerhetsutfordringer som må løses for at denne teknologien skal kunne tas i bruk hos Lede.

For at DLR skal kunne brukes som driftsstøtte så må verdiene synliggjøres i SCADA. Dette fordrer dataflyt inn til Sone 4. Sone 4 er vår strengeste IKT-sikkerhetssone. Basert på Ledes interne vurderinger kan ikke dette foregå via åpne kilder, eksterne leverandører eller fremmede servere.

Dataene som benyttes til å beregne DLR er isolert sett ikke kraftsensitive. Men Lede kan ikke gi fra seg nettdata til en ekstern aktør. For at denne teknologien skal kunne tas i bruk i videre drift så fordrer det at all databehandling foregår på Ledes egne servere, uten informasjonsflyt til en ekstern part.

En «On-Premis» løsning hvor Lede installerer programvare lokalt kan være en mulig løsning. Da vil vi i så fall være avhengig av å kjøpe/leie lisenser og kompetanse for drift og vedlikehold av programvaren.

3.7 Resultater fra BKK

Hovedmålsetting i piloten til BKK AS var å verifisere økt kapasitetsutnyttelse ved dynamiske lastgrenser (DLR) med bruk av neuroner. Tilleggs mål var å få innsikt i værrets påvirkning på kapasiteten langs den valgte linjen og å sammenligne nåværende temperaturjusterte lastgrenser (AAR) med DLR basert på data fra neuroner. Samtidig ønsket BKK å finne en teknisk løsning der data fra Heimdall Cloud integreres i SCADA slik at lastgrenser kan justeres automatisk. Piloten startet i januar 2023 og skal avsluttes i desember 2024.

3.7.1 Observert DLR mot forventet DLR

Termisk grenselast (statisk lastgrense) er den høyeste belastning en komponent kan tåle under gitte forhold, uten at komponenten overstiger en gitt temperatur. For ledninger betyr dette, for eksempel, at disse må overholde krav til bakkeklaring og i BKK sitt regionalnett vil maksimal ledertemperatur være 50°C eller 80°C, avhengig av bakkeklaring i kritiske spenn. Linetemperaturen varierer med belastning på linjen, men også værforholdene vil ha en påvirkning. Det er også viktig å notere at det ikke er bare linjens belastningsevne som kan være begrensende, men det må også tas hensyn til nedstrømskomponenter som strømtrafoer, brytere, osv. Termisk grenselast er beregnet etter anerkjente modeller for beregning av termisk grenselast, CIGRÉ TB 299, TB 207 og TB 601.

BKK har brukt omgivelsestemperatur for å justere statiske lastgrenser siden 2010, med AAR metodikk, for 19 ledninger i 132 kV nettet. Disse ledninger er mest utsatt for maksimal termisk utnyttelse og signalgrenser justeres automatisk i SCADA etter observert lufttemperatur fra et sentralt sted i Bergen. Derfor var det ønskelig å sammenligne nåværende AAR metodikk med DLR metodikk beregnet fra Heimdall neuroner i piloten. For mer info om AAR og DLR, se informasjon på Heimdall sine nettsider: <https://heimdallpower.com/ambient-adjusted-rating/>.

3.7.2 Valg av ledningen og plassering av neuroner

Valg av ledning: 132 kV Seim – Padøy

I et normalt intakt regionalnett og sentralnett har BKK per i dag ikke ledninger med kapasitetsproblemer. Noen av ledninger er ganske lavt belastet og det kan gå flere år mellom hver gang ledninger får høy last/temperatur. For å utnytte overvåkning med neuroner var det derfor interessant å overvåke ledninger som kan utnyttes maks i feilsituasjoner eller når vi har driftsstanser i nettet. Regionalnettslinjene «132 kV Dale – Ravneberget», «132 kV Matre – Osterøy/Seim» og «132 kV Seim – Padøy» ble vurdert. Etter en diskusjon med fagansvarlige ble 132 kV Seim - Padøy valgt siden den ofte er høyt belastet både ved mye produksjon og ved høyt forbruk. Det var også planlagt en del vedlikeholdsarbeid i regionalnettet i området og linjen vil i de periodene være høyt belastet. F.eks., når «132 kV Lindås – Mongstad» utkobles vil ledning «Seim – Padøy» være høyt belastet. Denne ledningen er i tillegg utstyrt med «AAR metodikk» der operatørene får dynamiske grenseverdier ut ifra temperatur hentet fra Ravneberget transformatorstasjon. Kommunikasjon i området var også godt nok for å overføre data fra neuroner til Heimdall Cloud.

Valg av plasseringer

Målet med plasseringene av neuronene var å dekke flest mulig av de mulige ytterpunktene for temperaturvariasjoner, nærmere bestemt ulike kombinasjoner av vind og sol, samt andre ytre påvirkninger. Eksempelvis ble det montert ett neuron over en parkeringsplass mellom mast x og y for å se om varmerefleksjon fra asfalten kunne påvirke linetemperaturen. Det ble også valgt ett punkt der vi visste vi hadde avstand til bakken som var svært nær tillatt grense, mast z, mot mast a. Mast b ble valgt da det var antatt å være vindskygge der, og kanskje lite sol grunnet skogkledd område. Mast c ble valgt grunnet

fjordspenn og annen linetype. Videre var det også et mål å spre neuronene geografisk ut over hele ledningen.

Installasjon

Installasjon av neuronene ble utført på to ulike måter. De fleste neuronene ble montert manuelt i forbindelse med annet arbeid på ledningen som krevde utkobling. Det var to hovedårsaker til dette valget, vi hadde planlagt utkobling for vedlikehold, samt at BKK ikke har personell som er godkjent for AUS montasje. Installasjonen tok under en time pr punkt, pluss tid for adkomst til punktene. På en ledning på Vestlandet er dette den mest tidkrevende delen.

Droneinstallasjon

2 neuroner ble installert ved hjelp av drone på spenningsatt ledning, som AUS (Arbeid Under Spenning), av Heimdall og med bistand fra BKK. Det tok omtrent like lang tid å installere med drone som det var ved manuell montasje, men droneutstyret var tungt å bære opp til montasjested, så en måtte velge lokasjoner med god adkomst. I vårt tilfelle var det bare noen hundre meter til de to punktene. Ett tredje punkt var planlagt for droneinstallasjon, men utgikk da stigning på spennet var for mye for hva dronen klarte på det tidspunktet. Dette skal være forbedret ifølge Heimdall.

3.7.3 SCADA-integrasjon

Det var ikke ønskelig å innføre et nytt dataprogram for operatørene, som de må følge med på. Derfor ble det besluttet at de viktigste dataene fra Heimdall Cloud skulle hentes inn til vårt driftssentralsystem (SCADA) og presenteres for operatørene der, på en lignende måte som de er vant til for nåværende AAR metodikk. De viktigste verdiene vi henter inn fra Heimdall Cloud er DLR og temperatur samlet for hele linjen. Disse bestemmer dynamisk grense, som presenteres i bildet for operatørene på en lignende måte som AAR metodikk. DLR fra Heimdall brukes for å bestemme den dynamiske grenseverdien for last.

Strømtransformator i Seim er i dette tilfellet komponenten som er begrensende. Den er overbelastbar til 960 A. Dersom DLR Heimdall er lavere enn 960 A, settes dynamisk grense $Lim3=DLR$ og $Lim4=DLR \times 1,02$. Dersom DLR Heimdall er større eller lik 960 A, settes dynamisk grense $Lim3=920$ A og $Lim4=960$ A. Dette gjøres ved å lage et program i driftssentralsystemet, som setter de dynamiske grenseverdiene.

I SCADA, presenteres data fra Heimdall på følgende format:

Heimdall DLR			
132 kV Seim - Padøy			
Linjetemp		°C	
HDLR		A	
Last	A	Lim 3	A
		Lim 4	A

I prosjektet har det blitt satt opp en integrasjon som bruker IEC 60870-5-104 (104-protokollen) til å sende data fra Heimdall sitt rest API inn til SCADA. Denne integrasjonen er en .NET-tjeneste som sender http forespørsler mot Heimdall sitt rest API, for å hente ut både DLR, strøm og temperatur fra Heimdall neuronene. Denne dataen blir sendt til SCADA gjennom 104-protokollen som Application Service Data Unit (ASDU) meldinger.

I tabellen under viser en oversikt over hvilke data tjenesten henter fra Heimdall Rest API, hvor ofte de hentes og sendes videre til SCADA, og hvor høy oppløsning dataene har for de ulike målingene i Heimdall Rest API.

	Temperatur	Strøm	DLR
Hvilke verdier hentes fra Heimdall rest API	Maks temperatur for hver linje. Maks temperatur for hvert spenn.	Maks strøm for hvert spenn.	Heimdall Power ChainRating (HP) for hver linje (inkluderer nedstrømskomponenter)
Hvor ofte hentes data fra Heimdall API og sendes til SCADA	Hvert minutt	Hvert minutt	Hvert femte minutt
Hvor høy oppløsning har data hentet fra Heimdall API	Tre minutter	Tre minutter	En time

Når en henter inn data for strøm og temperatur fra Heimdall API, henter en i integrasjons tjenesten inn målinger for de siste 15 minuttene og velger den nyeste målingen. Dersom denne målingen er over 10 minutter gammel blir kvalitetsstampelet *non-topical*, i ASDU meldingen til SCADA, satt til *True*. Dersom en ikke får inn verdier for de siste 15 minuttene henter en data fra de siste 60 dagene (her med 30 minutters intervall på målingene) og velger nyeste verdi. Dersom en ikke får inn verdier i løpet av de siste 60 dagene settes kvalitetsstampelet *Invalid* til *True* og det sendes en *default* verdi.

Når tjenesten henter inn data for DLR blir data fra den siste timen hentet ut (med en times oppløsning) fra APIet og den siste verdien blir returnert. Dersom verdien er over 70 minutter gammel, settes kvalitetsstampelet *non-topical* til *True*.

ASDU meldingene som sendes til SCADA inneholder et informasjonsobjekt med en *qualitydescriptor* som sier noe om kvaliteten på dataen som sendes. Der er her en setter feltene *non-topical* og *Invalid* til *True* dersom dataen ikke kommer med forventet tidsstempel. I tillegg inneholder meldingen adresse til der målingen skal lagres i SCADA, verdien av målingen og tidsstempel for når målingen ble gjort.

SCADA-integrasjonskode fra Linja

Da vi i BKK skulle starte med å sette opp denne integrasjonen fikk vi god hjelp fra nettselskapet Linja. Linja hadde satt opp en slik integrasjon mot sitt SCADA system og ønsket å dele sin kodebase med BKK da vi skulle gjøre det samme. Vi fikk en god gjennomgang av hvordan koden var satt opp og fungerte, av Linja. De har vært til god hjelp når det har vært spørsmål om koden og selve integrasjonen.

Etter å ha fått innføring i og hentet inn kodebasen fra Linja, begynte vi i BKK med å dokumentere koden, legge til logging i koden og gjøre noe omskriving. Dette for å bedre forstå hva som skjer og for å gjøre det lettere for oss å jobbe videre med koden. Deretter måtte vi tilpasset koden til vårt SCADA system og våre neuroner; med å tilpasse både id på neuroner, adresser for målinger til SCADA, port og IP-adresser for kommunikasjon i koden for integrasjonstjenesten.

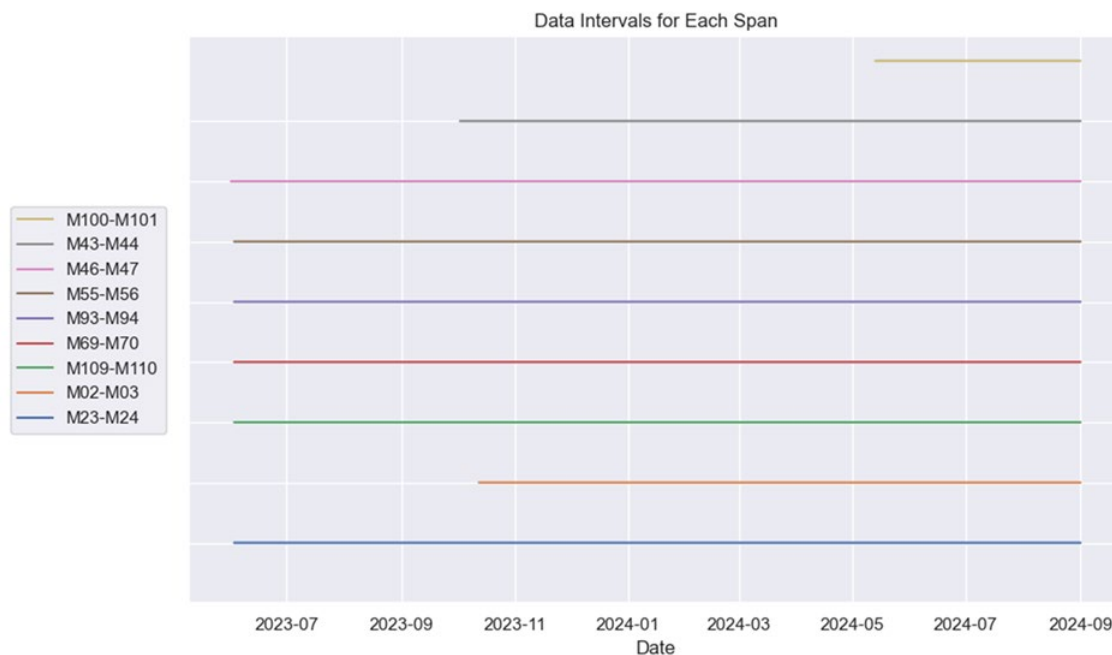
Før vi kunne ta tjenesten i bruk var det viktig for oss å kunne teste integrasjonstjenesten. Vi satte dermed opp en ny tjeneste som etterligner en IEC 60870-5 104 klient. Etterligningstjenesten lytter på innkommende meldinger på en gitt port og skriver ut mottatt data. Etterligningstjenesten lot oss effektivt teste og validere integrasjonstjenesten uten å kjøre den mot SCADA-systemet. På denne måten fikk vi fanget flere problemer tidlig i utviklingsløpet. Dette var blant annet viktig da integrasjonstjenesten, som var satt opp mot SCADA-systemet, sluttet å kjøre, da den ikke klarte å nå Heimdall sitt API grunnet nettverksproblemer. Da kunne vi ved bruk av etterligningstjenesten gjenskape problemet lokalt, finne feilen i koden, lage en håndtering av feilen i koden og teste den nye versjonen. Alt dette før vi satte den nye versjonen opp mot SCADA-systemet.

Det var viktig at integrasjonstjenesten var robust og kunne håndtere følgende feil: problemer med internettforbindelsen, mistet forbindelse til SCADA, en ikke fikk inn data fra Heimdall, serveren ble restartet eller at tjenesten ble avbrutt midt i en handling. Dermed ble det lagt inn feilhåndtering for disse

tilfellene i tjenesten, slik at koden skulle fortsette å prøve og hente data og prøve å sende data selv ved slike hendelser.

3.7.4 Analyse

Heimdall Neuronene plassert langs 132 kV Seim - Padøy kalkulerer DLR for linjen ved linjeposisjonen til hvert Neuron. Dagens løsning for 132 kV Seim - Padøy er en AAR-metodikk hvor dynamisk lastgrense regnes ut basert på meteorologiske data ved et sentralt målepunkt i regionen. Det er store lokale variasjoner i meteorologiske data og bakgrunnen for denne analysen er å undersøke hvor store variasjonene var mellom lokale målinger med Heimdall Neuroner langs linjen og den sentrale AAR løsningen som brukes i dag. Alle data i denne analysen er hentet fra Heimdall Cloud, som henter sine meteorologiske data fra Metoematics. I Figur 29 under ser vi en oversikt over for hvilke tidsintervall hvert av neuronene var aktive mellom oppstart sommeren 2023 og høsten 2024. Dette gir et datagrunnlag på over ett år, som gir et godt blikk på hvordan været og lastgrensen varierer gjennom døgn, uker, måneder og årstider. Det er dog store variasjoner i været fra år til og, samtidig som ikke alle neuronene er aktive for hele perioden. Årsaken til det kan forklares med at noen av Neuronene ble byttet ut en periode etter opprinnelig installasjon, og data er hentet ut per Neuron ID. Derfor har ikke data fra gammelt Neuron kommet med i analysen. Dette gjør at datagrunnlaget er begrenset, og må tas høyde for når man vurderer resultatene av analysen.



Figur 29: Grafen viser tidsintervallene hvor hver av de 9 neuronene var aktive. Dette er tidsintervallene som danner datagrunnlaget for analysen.

Bakgrunnen for at vi ser på meteorologiske data i sammenheng med dynamisk lastgrense er ytre faktorer som temperatur, vindhastighet, nedbørsmengde og vindretning påvirker linjetemperaturen og dermed lastgrensen. Alle de nevnte ytre faktorene har en kjølede effekt på linjen. Målinger av lufttemperatur og vind er sykliske, og fra Figur 30 observerer vi at en tendens til at variasjonen i Heimdall DLR følger variasjonene i lufttemperatur og vindhastighet. Særlig vindhastighet og Heimdall DLR ser ut til å følge

hverandre, noe som underbygges av korrelasjonskoeffisient, hvor $r = 1$ eller -1 er total korrelasjon og 0 er ingen korrelasjon.



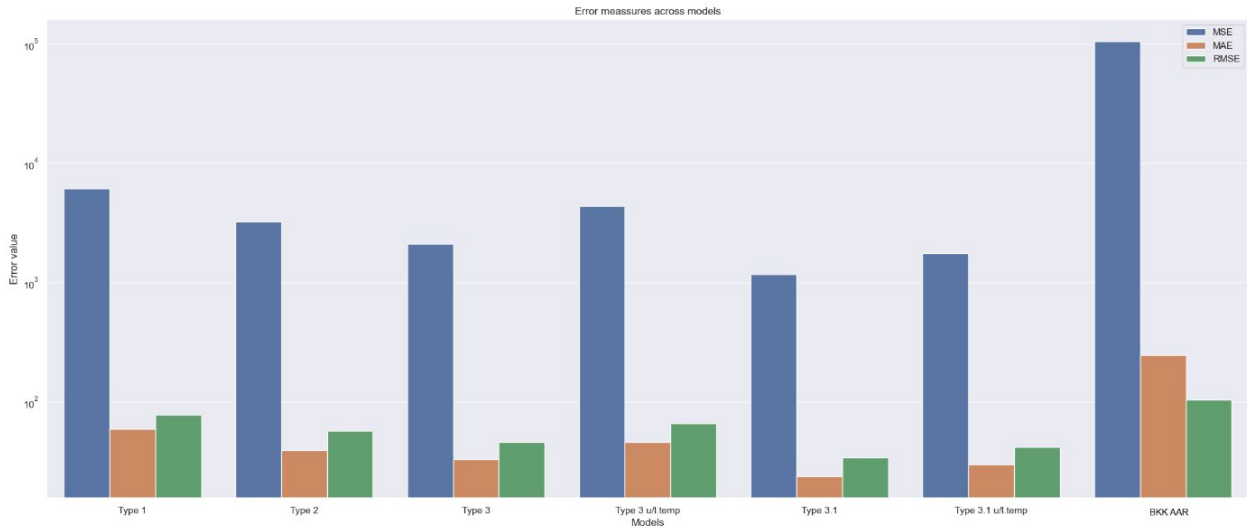
Figur 30: Graf som viser Lufttemperatur (blå), Vindhastighet (oransje) og Heimdall DLR (grønn) over en 10 dagers periode. Intervallet er valgt tilfeldig og er kort for å vise variasjonen klart

3.7.5 Metode

For å se videre på sammenhengen mellom dynamisk lastgrense kalkulert av Heimdall Neuronene og meteorologiske data ble det iverksatt flere maskinlæringsmodeller. Alle modellene er XGBoost Regresjonsmodeller, som trenes for å predikere dynamisk lastgrense gitt input data. For å trene regresjonsmodellene brukes DLR fra Heimdall Neuronene som fasit, altså det er den verdien modellen bruker til å evaluere ytelse og justere seg selv til fremtidige treningsrunder.

Vi har gjennomført tre typer modeller som alle tar utgangspunkt i ulike versjoner av hoveddatasettet. For alle modellene har vi delt opp datasettet i trenings-, validerings- og testdatasett. Modellene trenes på treningssettet, hyperparametre velges ved å sammenligne flere trente modeller mot valideringssettet, og den valgte modellen testes på et usett testdatasett. Det er ytelsen på testdatasettet som brukes som mål på hvor godt modellen generaliserer og hvordan den vil yte på fremtidige, ukjente data. Den første modellen (type 1) som ble trent og tunet var en modell som predikerer lastgrense for et enkelt punkt, og er trent opp på data for alle 9 neuronene. På testdatasettet måler vi $MAE = 59,1$ A og $MSE = 6171,7$ A². Den neste typen modell (type 2) er modeller som er trent separat for hvert neuron. Dette ga bedre resultater sammenlignet med type 1 modellen, og i snitt hadde type 2 modellene $MAE = 39,3$ A og $3271,8$ A². Altså en 33% nedgang i MAE og 47% nedgang i MSE. Den siste typen modell (type 3) ble trent for å predikere minimum DLR for alle neuronene langs linjen. Denne typen måling er den man er interessert i når man skal sette lasten for en linje, da det er den verdien som begrenser lasten. For å trene denne modellen ble datasettet delt basert på tidspunkt og data fra alle aktive neuronene for et gitt tidspunkt brukes. Her brukes minimum DLR for de aktive neuronene per tidspunkt til å trene modellen. Fra Figur 29 ser vi at datasettet begrenses noe av at ikke manglende datasett for noe av perioden for noen av Neuronene. Årsaken til det kan forklares med at noen av Neuronene ble byttet ut en periode etter opprinnelig installasjon, og data er hentet ut per Neuron ID. Derfor har ikke data fra gammelt Neuron kommet med i analysen. For denne modellen har vi $MAE = 32,8$ A og $MSE = 2125,2$ A². Her har vi også forsøkt å fjerne måling av linjetemperatur som inputvariabel og får resultatene $MAE = 46$ A og $MSE = 4409$ A². I tillegg til type 3 har vi implementert en type 3.1 hvor DLR er begrenset av en øvre grense på 960 A. 960 A er den øvre grensen som er satt for drift på komponentene som brukes i dag. Dette ga forbedrede resultater sammenlignet med 3.0, $MAE = 23,8$ A og $MSE = 1176,5$ A². Også for denne typen trente vi en modell uten linjetemperatur

som inputvariabel og fikk en økning i feilmålene sammenlignbar med den vi så for Type 3. Figur 31 viser et stolpediagram for feilmålene for de ulike type modellene vi har implementert. Lengst til høyre er feilmarginen for AAR løsningen som brukes i dag sammenlignet med Heimdall DLR. I Tabell 4 ser vi en oversikt over alle feilmålene for de 6 ulike modellene som ble trent, tunet og testet.



Figur 31: Stolpediagram som viser feilmarginene til de ulike typene modeller, sammenlignet med feilmål for AAR mot Heimdall DLR

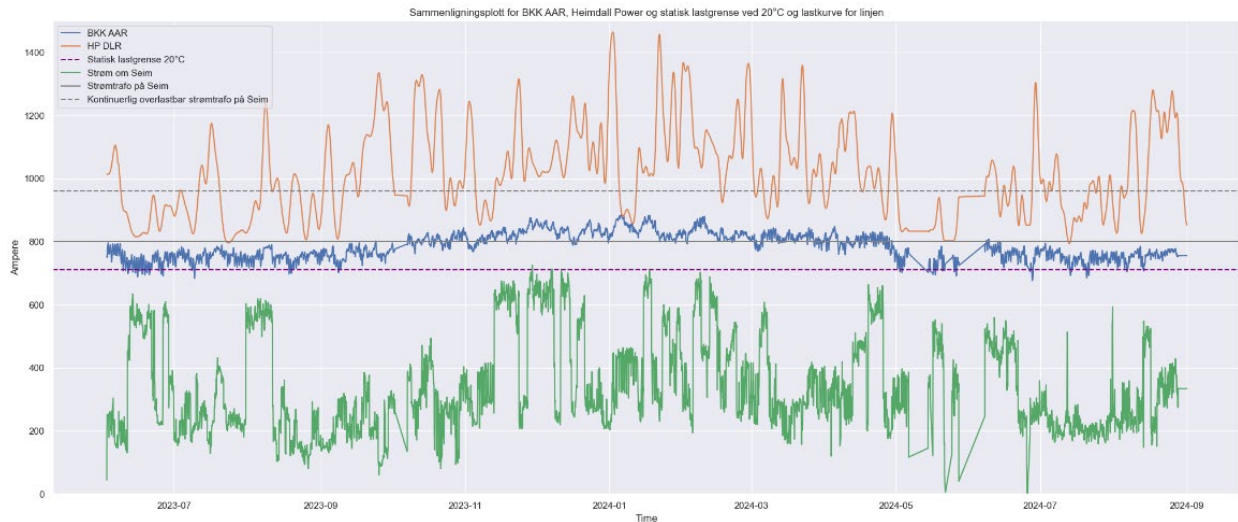
Tabell 4: Tabell som viser feilmålene for alle 6 modellene vi har trent, tunet og testet.

Modelltype	Beskrivelse	MAE (A)	MSE (A ²)
Type 1	Predikerer lastgrense for et enkelt punkt, trent på data for alle 9 neuroner	59.1	6171.7
Type 2	Modeller trent separat for hvert neuron	39.3	3271.8
Type 3	Predikerer minimum DLR for alle neuroner langs linjen	32.8	2125.2
Type 3 uten linjetemperatur	Type 3 modell uten linjetemperatur som inputvariabel	46	4409
Type 3.1	Type 3 modell med øvre grense på 960 A	23.8	1176.5
Type 3.1 uten linjetemperatur	Type 3.1 modell uten linjetemperatur som inputvariabel	29.8	1761

3.7.6 Resultater

Figur 32 viser Heimdall sin DLR (oransje) sammenlignet med dagens AAR (blå), den statiske grensen ved 20 °C (711 A), begrensninger i strømtransformatoren (800 A, overbelast til 960 A) og belastningen (grønn). Den grønne kurven som viser lasten (strøm) i ledningen over hele året viser at belastningen er lav, og går over den statiske grensen bare noen få ganger i løpet av ett år.

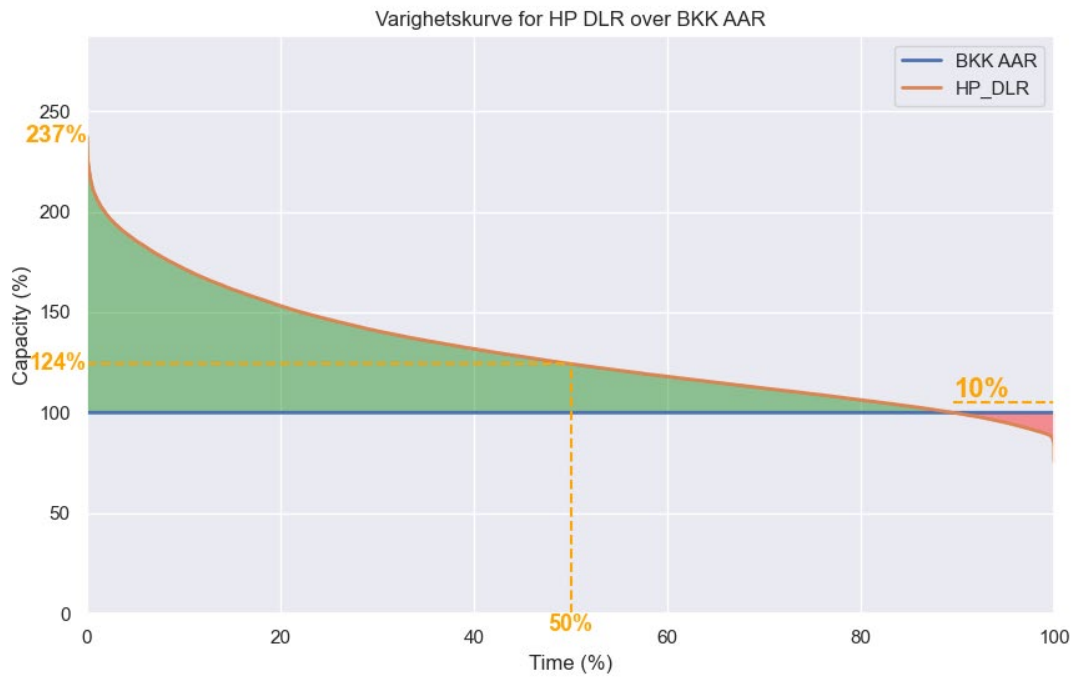
Det viser seg at Heimdall sin DLR varierer fra under 800 A til over 1400 A. Ofte er det mer kapasitet tilgjengelig enn dagens AAR viser. Men det endrer seg raskt og i perioder er den også lavere enn det dagens AAR viser. For å sjekke hvor stor andel av tiden vi har økt kapasitet ifølge Heimdall DLR og ifølge dagens AAR metodikk, har vi laget varighetskurver.



Figur 32: Sammenligning av ulike lastgrenser: blå – BKK AAR, orange – Heimdall DLR, lilla stiplet – statisk lastgrense 20°C, grønn – strøm i linja, grå – lastgrense strømtrafo Seim, grå stiplet – kontinuerlig overlastbar strømtrafo på Seim.

Varighetskurven i Figur 33 viser at det er 24% økning i kapasitet for 50% av tiden når vi bruker Heimdall neuroner for å beregne DLR sammenlignet med nåværende AAR metodikk der vi justerer lastgrenser iht. lufttemperatur. Varighetskurve i Figur 34 viser at det er økning på 10% i kapasitet for 50% av tiden med AAR metodikk enn statiske grenser. Varighetskurven i Figur 35 viser at det er en økning på 37% i kapasitet for 50% av tiden når vi bruker Heimdall neuroner i stedet for statiske lastgrenser.

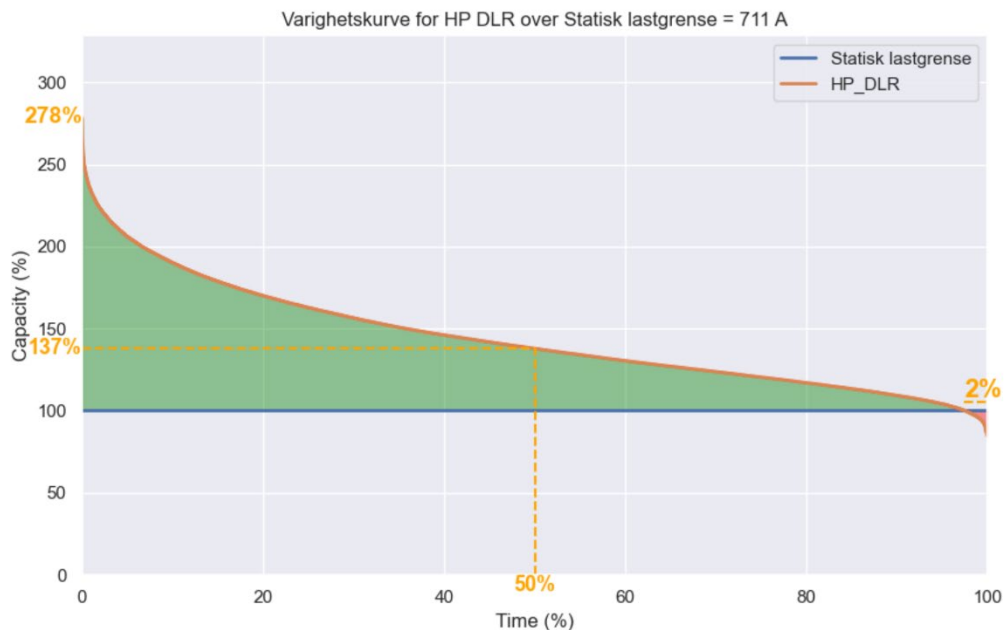
Det grønne området viser økning i kapasitet i forhold til den blå linjen. Det røde området under den blå linjen viser hvor ofte DLR/AAR vil overestimere ledningskapasitet. Resultatene viser at AAR metodikk (lufttemperatur hentet fra et sentralt sted) som BKK bruker per i dag gir en del høyere kapasitet enn statiske lastgrenser. DLR beregnet fra Heimdall neuroner og værdata (temperatur, vind) gir en større økning på kapasitet enn dagens AAR metodikk.



Figur 33: Varighetskurve for differansen mellom Heimdall Power DLR og dagens AAR



Figur 34: Varighetskurve for differansen mellom dagens AAR og den statiske lastgrensen på 711 A



Figur 35: Varighetskurve for differansen mellom Heimdall Power DLR og den statiske lastgrensen på 711 A

3.7.7 Veien videre

Per i dag er det ingen kapasitetsproblemer i BKK sitt nettområde i normaldrift, med et normalt intakt regionalnett og sentralnett. Fra varighetskurvene ser vi at BKK allerede har synliggjort 10% «ekstra kapasitet» i nettet i 50% av tiden med AAR, mens DLR beregnet fra Heimdall neuroner viser at det fremdeles er 24% «mer kapasitet» i 50% av tiden.

Det er imidlertid uklart per i dag hvordan nettselskapet skal utnytte denne «ekstra» kapasiteten til å eksempelvis knytte flere kunder til nettet, siden den tilgjengelige kapasiteten endrer seg veldig raskt i løpet av noen timer/ dager. Hvis BKK ønsker å få bedre innsikt i kapasiteten for å eksempelvis kunne knytte til flere kunder i nettet med vilkår (tilknytning på vilkår) vil DLR med Heimdall Neuroner og værdata gi veldig god innsikt i tilgjengelig kapasitet. Ettersom denne kapasiteten ikke vil være permanent tilgjengelig vil det kreve en del andre endringer i både planlegging og drift av nettet for å kunne ta denne i bruk. En innføring av DLR vil dermed ikke gi en umiddelbar økt utnyttelse av nettet, men vil gi en økt innsikt i variasjonene i den faktiske kapasiteten. Samtidig er det viktig å vurdere bytte av begrensende endepunkts komponenter som strømtrafoer, brytere, osv., for å få fullt bruk av den tilgjengelige kapasiteten.

Heimdall Power sine neuroner gir tilgang til ulike data som gir innsikt i mer enn tilgjengelig kapasitet. Andre case som kan være interessant å se på er bruk av vibrasjonsdata og overvåking av islast. Eksempelvis har ledningen Granvin – Bu i regionalnettet utfordringer med snø/islast og det mistenkes at fjordspennet er utsatt for vibrasjoner som ikke fanges opp av eksisterende vibrasjonsdempere. I denne sammenheng vil Heimdall Neuroner gi nettselskapet verdifull data som kan brukes til å vurdere tilstand ifm. vedlikehold og reinvesteringer, og gi nyttig informasjon før en ny investering.

3.8 Resultater fra Linja

Linja har montert Heimdall Neuron på to lokasjonar

- 66kV Bryggja-Begsle (3 neuron) i Ytre Nordfjord
- 120kV Fortun-Øvre Årdal 1-3 (12 neuron) i Indre Sogn

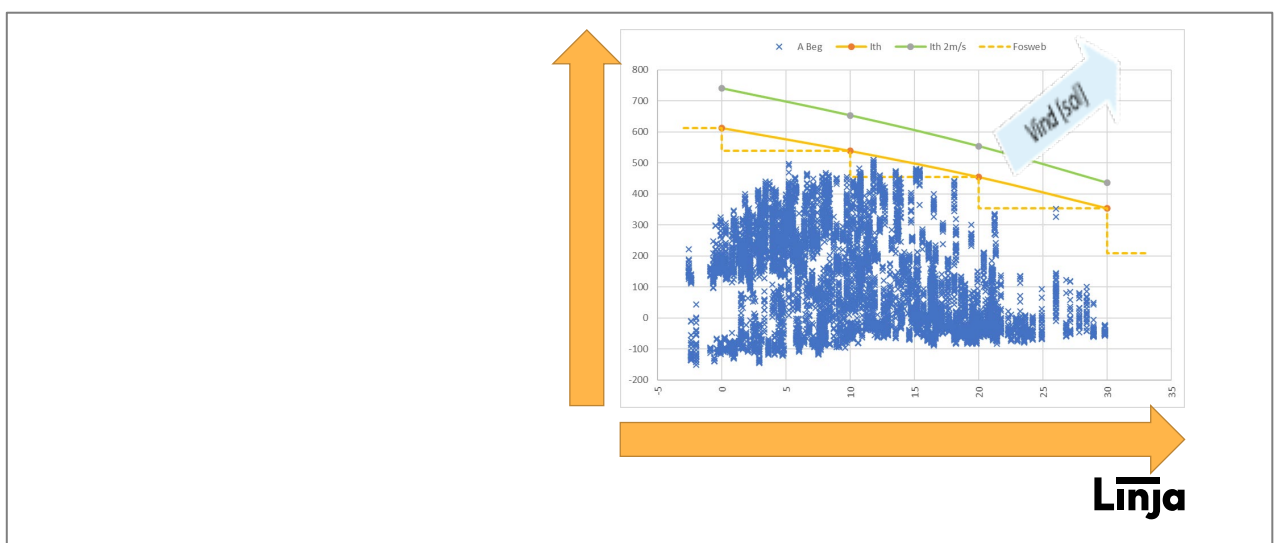
Det er utarbeida tre rapportar/notat av SINTEF/CINELDI i tillegg til ei rad presentasjonar (frå Linja) av resultat undervegs:

- SINTEF, Fleksibilitet i kraftsystemet – Ved dynamisk styrte nett, Adrian L. Pavlak (ALP), med fokus på Bryggja-Begsle [4]
- SINTEF, Fleksibilitet i kraftsystemet ved dynamisk styrte nett, Amalie Eveline Hermundstad (AEH), Med fokus på Fortun-Øvre Årdal [5]
- CINELDI, Prosjektnotat, Dynamisk linjerating for å redusere behov for spesialregulering, Silje J. Monstad (SJM), med fokus på Fortun-Øvre Årdal [6]

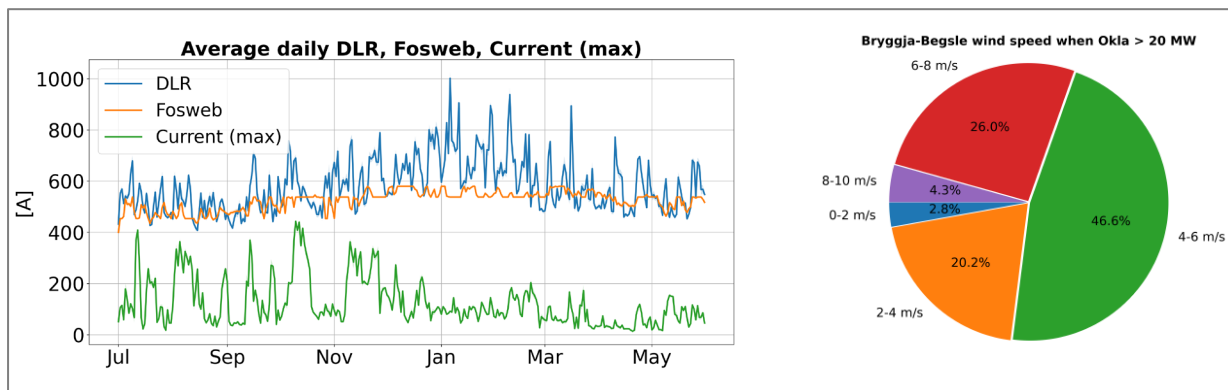
3.8.1 Bryggja Begsle 66kV

Fokusområde for denne installasjonen var å kartlegge samvariasjon vind og kjøling. Denne ledningsseksjonen er høgt belasta av innmating frå produksjon med ei samansetning av både vindkraft, uregulert småkraft og regulert vasskraft. Hypotesa var at ved høg last på ledningen, som fell saman med høg vindkraftproduksjon, så gav kjøling frå vind større belastningsevne enn grensene i Fosweb viser. Figur 36 viser arbeidshypotesa til installasjonen på Bryggja – Begsle.

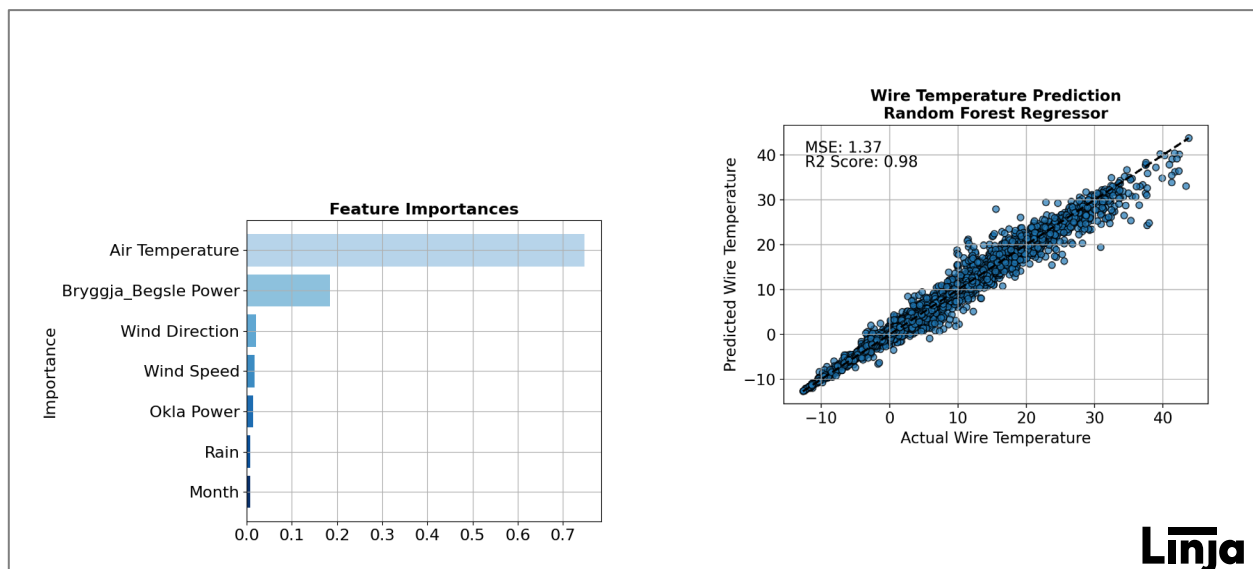
Hypotesa om at høg last på ledninga sammanfaller med mye kjøling på linja var ikkje så èintydig som vi håpte. Sjølv om målingar frå Heimdall neurona viser at reell overføringsevne (DLR) i snitt ligg over berekna overføringsevne basert på Fosweb-grenser og lufttemperatur, så ser vi at det kan være nær vindstille rundt ledningen samtidig med full produksjon frå vindkraftverket. Figur 37 visar at det i ein liten periode (2,8 % av analyssetida) er vindhastigheta ved ledningen 0-2 m/s når kraftverket produserer over 20 MW (95 % av maks produksjon). Eit anna funn var at maskinlæring kan gje god prediksjon av linetemperatur for spenn utan instrumentering som sett i Figur 38.



Figur 36 Arbeidshypotese og mål for pilot på Bryggja-Begsle



Figur 37 Utvalde funn frå rapport av Adrian Pavlak [1]: DLR og FosWeb grensa mot lasten og vindstyrke ved linje Bryggja-Begsle i perioden.



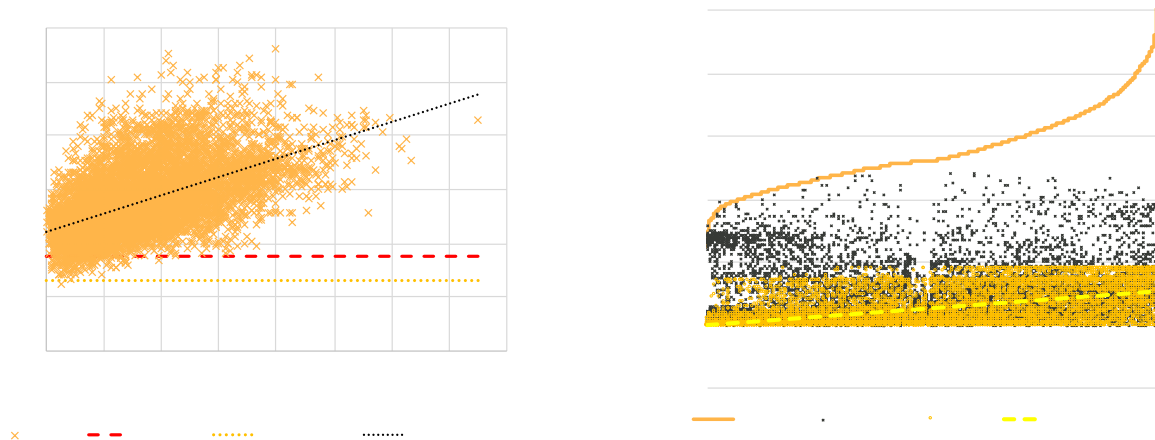
Figur 38 Funn frå utprøving av maskinlæringsalgoritmar frå rapport av Ardian Pavlak

Konklusjon

«Kan vi legge til grunn auka kjøling frå vind ved nettanalysar knytt til vindkraft?». Dette var eit spørsmål vi søkte svar på. Vurderinga ved tilknytning av Okla vindkraftverk var at dette var heilt på grensa av kva som var driftsmessig forsvarleg (DF) ut frå gjeldande overføringsgrenser i Fosweb. Vi venta då at auka vindkjøling i praksis ville gje ein tilleggsmargin opp mot dimensjonerande linetemperatur. Som dimensjonerande situasjon la vi til grunn ein varm dag med 30°C lufttemperatur

Overføringsgrense i Fosweb, som var basert på anbefalte verdiar frå REN/Sintef sitt rekneark basert på IEC-norm (m.a. 1m/s vind) er for høg på vindstille dagar. Statnett sin standard stemmer betre med observert DLR frå Heimdall (0,6m/s vind og absorpsjons- og emisjonskoeffisientar tilpassa eldre/matta liner).

Vi fann ein klar korrelasjon mellom vindkraftproduksjon og overføringsevne som sett i Figur 39, men og så stor spredning i resultatata at det ikkje er forsvarleg å bruke auka vindkjøling i DF-vurderingar, opp mot nærliggande vindkraft, som ein generell faktor.



Figur 39 Korrelasjon (X/Y plot) mellom vind på Okla og DLR på Bryggja-Begsle samt historisk overføring på Bryggja-Begsle samt produksjon Okla, sortert etter DLR Bryggja-Begsle (varighetskurve)

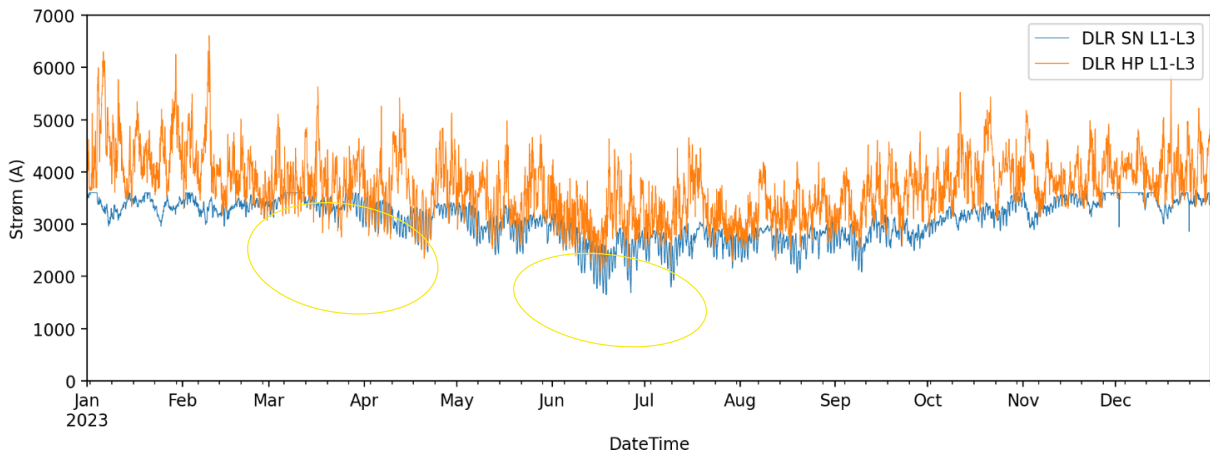
3.8.2 Fortun-Øvre Årdal

Fokus for denne installasjonen er forsyningsikkerhet og N-1 kapasitet for tre parallelle linjer. Høg industrilast utan nemnande temperaturfølsomhet gjev særlege utfordringar på varme sommardagar med låg overføringskapasitet på luftledningane. Bruk av spesialregulering av regulert vasskraft vil være aktuelt for å overholde N-1 grense.

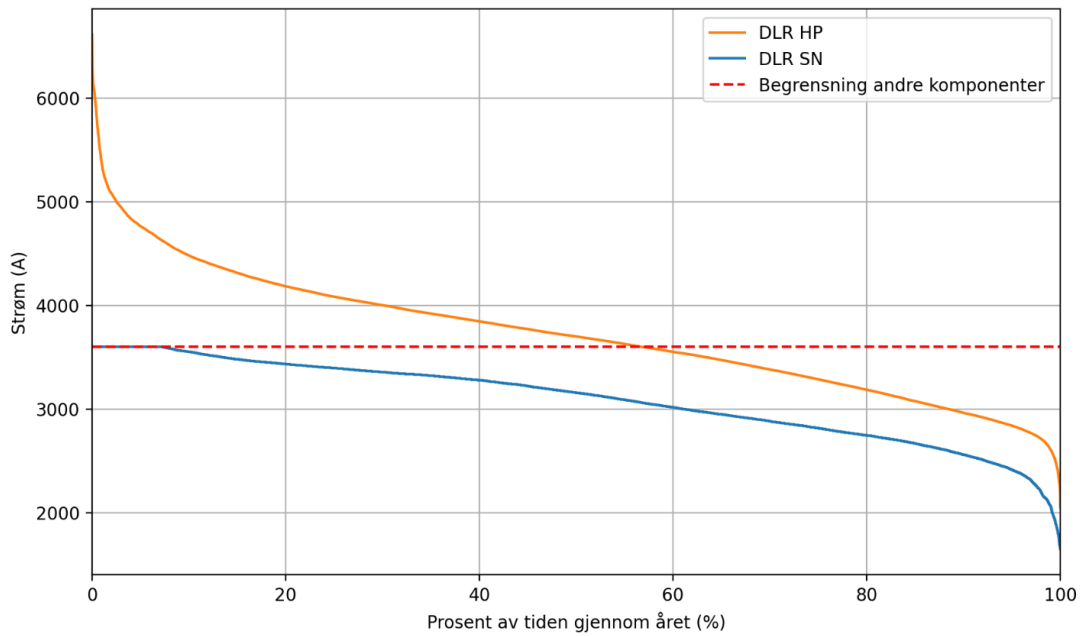
Funn frå S. J. Monstad sitt prosjektnotat ^[3] er vist i Figur 40. Resultatene viser at Heimdall DLR (DLR HP) gir høgere overføringsgrenser gjennom året enn Statnetts beregning av termisk grenselast for overføringssnittet. Det er særlig begrenset kapasitet i sommermånedene, men DLR HP viser til mer kapasitet også i disse månedene. Analysene viser derimot at det gjennom våren er flere tilfeller der DLR HP er lavere enn Statnetts grenser, og dette bør derfor undersøkes vidare. Figur 42 viser kvar mykje av året DLR HP er lavere enn Statnetts beregning.

Som resultat av høgere strømovertføringsgrenser ved DLR HP, viser analysene at N-1 i større grad opprettholdes i overføringssnittet enn hva som er dagens antakelser. Dette kan potensielt redusere behovet for spesialregulering i området.

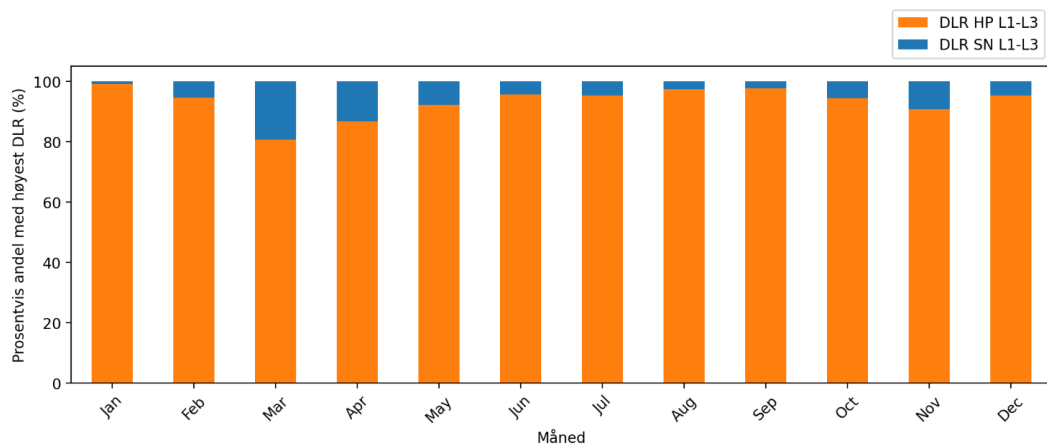
Figur 41 viser at andre anleggskomponenter i mye større grad blir begrensningen for overføringskapasiteten med utgangspunkt i Heimdall DLR framfor Statnett sine driftsgrenser. Det gir et godt argumentet for å investere i anleggskomponenter med høgare strømgrenser for å utnytte linjene mest mogleg. Dette vil også være et billigare og raskare tiltak for økt kapasitet i overføringa utan samanlikna med å bygge en helt ny linje.



Figur 40 Samanlikning av Statnett sin gjeldande temperaturkorrigering (SN AAR) og HP sin DLR



Figur 41 Varighetskurver for SN AAR og HP DLR



Figur 42 Fordeling over året for kva metode som gjev høgast overføringsgrense

A. E. Hermundstad fekk i sitt prosjektnotat ^[2] ikkje tidsnok tilgang på spesialreguleringsdata frå Statnett til å bruke dei i sin analyse av overføringa mellom Fortun og øvre Årdal. Basert på tilgjengeleg lastflyt og AAR/DLR data vart det likevel prøvd ut tre metodar for modellering av spesialreguleringsbehov. Resultata av dette vart oppsummert slik:

- Dynamiske grenser estimeres til å øke dagens kapasitet med 20%.
- Identifisere periodar med lavere kapasitet enn dagens grenser tilsier, kan redusere linjetemperaturen i disse periodene.
- Redusere behovet for (antatte) spesialreguleringer med 83%.

Linja har fått tilgang på spesialreguleringsdata, men finn det vanskeleg å gje noko bedre estimat. Hovedgrunnen til dette er at kraftverka i Indre Sogn i stor grad blir brukt til å regulere for andre flaskehalsar i nettet, og at dette truleg «maskerer» lokalt spesialreguleringsbehov.

3.8.3 Montasje og drift

Linja sine neuron vart montert manuelt. 3 neuron på 66kV Bryggja Begsle vart montert i samband med anna arbeid på fråkopla anlegg og vart karakterisert som enkelt og problemfritt.

12 neuron på Fortun-Øvre Årdal vart montert AUS med isolerstang. Master med normal hengisolator vart montert utan særlege problem av montør i mast. Master med hengisolator og dempelopp medførte litt problem å nå ut forbi dempelopp frå mast. Master med strekkjeder lot seg ikkje monterer frå mast. Det vart brukt lastebil med lift der det var vegtilkomst. Alternativ montering i nabomast (med hengkjede) vart brukt, der det ikkje var vegtilkomst.

Oppkobling av kommunikasjon til neuron var problemfritt i område med mobildekning. I høgjellet mellom Fortun og Øvre Årdal manglar mobildekning. Her var vi heldige å få tilgang til straum og fast internettforbindels for radiomodem i bompengebua til Tindevegen. Her kunne en LoRa basestasjon som kommuniserte med Neurona utan dekning monteres slik at data kunne sendes. Slik tilgang kan vi normalt ikkje rekne med å finne. Vi var her lenge utan samband, men feilretting i 1300moh ved nedsnødd bomveg vart ikkje prioritert. Feilen viste seg å være så banal som laus nettverkskabel.

Vi opplever elles periodar med manglande kommunikasjon, som kan forklarast med låg straum i linjene og då manglande energihasting til å drive elektronikken i neurona.

3.8.4 Scadaintegrasjon hos Linja

Det ble gjennomført integrasjon mot Linjas SCADA system internt for å dele data fra Heimdall Cloud inn til driftssentralen. Det viste seg noe utfordrande å innføre i skarp drift grunna manglande kapasitet til å ta dette i mot frå Statnett si side. ROS-analyse og teknisk og sikkerhetsmessig vurdering ble gjennomført.

Overordna teknisk beskrivelse av SCADA-integrasjon:

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.

3.8.5 Innovasjoner fra Piloten

Prosessinnovasjon driftsoperatør: DLR vs FosWeb

Dynamiske lastgrenser (DLR) frå Heimdall Neuroner er integrert mot SCADA på Linja sin driftsentral. Dette gjer at driftsoperatøren kan agere på alarm sett direkte på målt temperatur eller brudd på aktuell DLR, framfor ein alarm på manuelt oppdaterte straumgrenser basert på FosWeb. Dette gir høgare grad av presisjon og høve til auka utnytting av nettet. Driftsoperatørane er gjennom piloten blitt meir kjent med konseptet DLR, og kva moglegheiter dette representera, men er ikkje implementert i skarp drift ettersom nødvendig dataoverføring av dynamiske lastgrenser og samarbeid mellom DSO og TSO ikkje er blitt etablert i piloten.

Prosessinnovasjon nettplanlegging

Korrelasjon mellom vindkraftproduksjon og overføringskapasitet for luftledningar er kartlagt for casen Okla Vindkraftverk og 66kV ledning Bryggja-Begsle. Trass tydeleg korrelasjon er det og observert periodar med høg vindkraftproduksjon og låg DLR/kjøling av kraftlina.

Det er ikkje funne grunnlag for generelt å anbefale generelt høgare termisk overføringsevne for kraftliner ved høg vindkraftproduksjon uten eigen overvåking av DLR. Det er funne grunnlag for å anbefale Statnett sin berekningsmetodikk for termisk overføringsevne (m.a. basert på 0,6m/s vind) framfor anbefalte verdiar frå SINTEF/REN Planbok (excel ark basert på IEC TR 61597 m.a. med 1,0 m/s vind).

Det er likevel høg korrelasjon mellom vindkraftproduksjon og dynamisk overføringsevne for nærliggande kraftliner. Bruk av DLR og tilknytning på vilkår om produksjonsbegrensing kan være eit godt alternativ til nettförsterking.

3.9 Resultater fra DSO/TSO dataoverføring

Linja og Arva har hatt et felles framstøt mot Statnett for å kartlegge behovet til overføring av DLR-data fra DSO til TSO, og innføre dynamiske lastgrenser i skarp drift. Dette har i piloten blitt identifisert som viktig for å kunne utnytte DLR data i drift, spesielt på installasjoner i regionalnetts snitt. Dialogen mellom Linja/Arva og Statnett har vært god, men ikke ført fram til konkrete resultat i denne piloten. Dette temaet er derimot tatt vidare i AP2 i FoU-prosjektet MaksGrid – Dynamisk nettdrift, noe som er venta å føre fram til mer konkrete resultat.

3.10 Oppsummering av innovasjoner

Det er flere av deltagerne i piloten som har hatt innovasjoner. Dette er beskrevet i tabellen under.

Tabell 5 Beskrivelse av innovasjoner i forskningsrådets kategorier

Forskningsrådets kategorier	Beskrivelse	Antall
Ferdigstilte nye/bedre metoder/modeller/ prototyper	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	2

	<p>lib60870.NET-biblioteket for å kommunisere i sanntid med SCADA-systemet.</p> <p>Kode skrevet for Linjas Heimdall-klienten og metodikk for integrasjon er delt med BKK og tilpasset for integrasjon mot deres SCADA system.</p>	
Bedrifter utenfor FMEen som har innført nye/forbedrede metoder eller modeller eller teknologi		0
Bedrifter innenfor FMEen som har innført nye/forbedrede arbeidsprosesser	<p>Fagne bruker islastovervåkning fra Heimdall Cloud aktivt i drift for varsling av kritisk isoppbygging på linjer og aktiveringa av tiltak for avising av linjene.</p> <p>Tensio har demonstrert ny prosess for nettutvikling ved å se på økning av kapasitet ved å studere enkeltkomponenter i en krets opp mot DLR – muligheten til å øke kapasitet ved å bytte ut mindre komponenter fremfor å bygge ny linje.</p> <p>Arva demonstrerte ny arbeidsprosess for bruk av DLR i vedlikeholdssituasjoner ved utkobling av linjer og redusert bruk av spesialregulering.</p>	3
Bedrifter innenfor FMEen som har innført nye/ forbedrede metoder eller modeller eller teknologi	<p>Dynamiske lastgrenser (DLR) frå Heimdall Neuroner er integrert mot SCADA på Linja sin driftsentral. Dette gjer at driftsoperatøren kan agere på alarm sett direkte på målt temperatur eller brudd på aktuell DLR, framfor ein alarm på manuelt oppdaterte straumgrenser basert på FosWeb.</p> <p>Det er ikkje funne grunnlag for generelt å anbefale generelt høgare termisk overføringsevne for kraftliner ved høg vindkraftproduksjon uten eigen overvåking av DLR. Det er funne grunnlag for å anbefale Statnett sin beregningsmetodikk for termisk overføringsevne (m.a. basert på 0,6m/s vind) framfor anbefalte verdiar frå SINTEF/REN Planbok (excel ark basert på IEC TR 61597 m.a. med 1,0 m/s vind).</p> <p>Det er likevel høg korrelasjon mellom vindkraftproduksjon og dynamisk overføringsevne for nærliggande kraftliner. Bruk av DLR og tilknytning på vilkår om</p>	4

	<p>produksjonsbegrensning kan være eit godt alternativ til nettförsterking.</p> <p>Installasjon av Neuroner med bruk av drone er noe Heimdall Power har jobbet med i flere år utenfor CINELDI prosjektet. Selve innovasjonen med drone installasjon er derfor ikke en del av CINELDI, men de første kommersielle installasjonene ble gjort som del av denne piloten, hos henholdsvis Lede og BKK.</p>	
Inngåtte lisensieringskontrakter		0
Registrerte patenter		0
Ferdigstilte nye/forbedrede produkter	<p>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..</p> <p>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.</p>	2
Ferdigstilte nye/forbedrede prosesser		0
Ferdigstilte nye/forbedrede tjenester	<p>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</p>	1

	internasjonalt. Droneinstallasjon representerer nå hovedmetoden for installasjon av Neuron.	
Nye foretak som følge av FME'en		0
Nye forretningsområder i eksisterende bedrifter		0

4 Referanseliste Publiseringer

- [1] SWECO, "Kabel som alternativ til luftledning/OE-rapport 2022-8," Oslo Economics, 2022.
- [2] S. Sandell and S. B. Iver, "Evaluating grid development strategies for a regional grid using dynamic line rating sensors," IEEE PES ISGT Europe 2024 (Accepted for publication), 2024.
- [3] V. W. Nilsen and M. Utengen, "Leveraging Grid Efficiency Through Dynamic Line Rating and N-0.9 Operations: A Case Study for Reducing Costs Related to Special Regulation," NTNU, 2024.
- [4] A. L. Pavlak, «Fleksibilitet i kraftsystemet – Ved dynamisk styrte nett,» SINTEF, 2023.
- [5] A. E. Hermundstad, "Fleksibilitet i kraftsystemet ved dynamisk styrte nett," SINTEF, 2024.
- [6] S. J. Monstad, "Prosjektnotat, Dynamisk linjerating for å redusere behov for spesialregulering," CINELDI, 2024.

4.1 Publiserte blogger

- [4] «Bedre utnyttelse av strømnettet med dynamiske kapasitetsgrenser», A. L. Pavlak:

<https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/bedre-utnyttelse-av-stromnettet-med-dynamiske-kapasitetsgrenser/>

- [5] «Fleksibilitet i strømnettet med dynamisk styrte nett», A. E. Hermundstad:

<https://blogg.sintef.no/sintefenergy-nb/fleksibilitet-i-stromnettet-med-dynamisk-styrte-nett/>

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>

