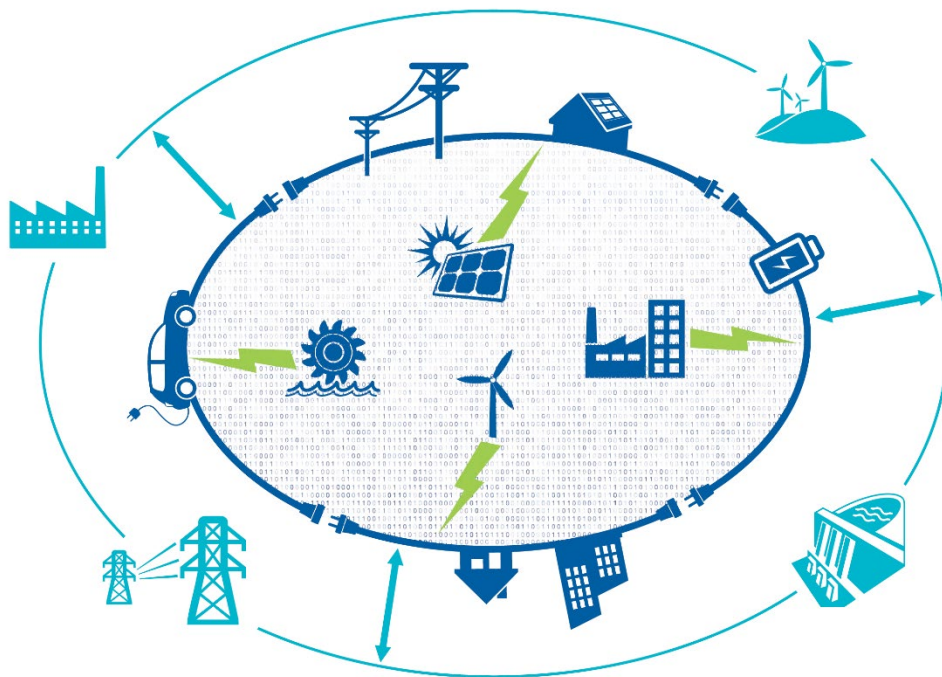


Pilot sluttrapport

AGI - Artificial Grid Intelligence for detektering av jordfeil i HSP distribusjonsnett

Authors: Atle Ripegut



CINELDI - Centre for intelligent electricity distribution

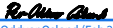

SINTEF and NTNU are the main research partners, with grid operators, technology providers, public authorities and international R&D institutes and universities as partners.

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 AGI - Artificial Grid Intelligence for detektering av jordfeil i HSP distribusjonsnett			
WORK PACKAGE	VERSJON	DATO	ANTALL SIDER
WP Pilot	1.0	2024-09-17	8
FORFATTER(E)		WP-LEDER	GRADERING
Atle Ripegut  <small>Per-Oddvar Osland (Feb 27, 2025 12:24 GMT+1)</small>		Maren Istad  <small>Maren Istad (Jan 8, 2025 08:56 GMT+1)</small>	Åpen

SAMMENDRAG

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

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

Innholdsfortegnelse

1	Bakgrunnsinformasjon om pilotprosjektet.....	3
2	Om Piloten og fysisk pilotområde.....	4
3	Resultater og innovasjoner fra Piloten.....	5
3.1	Resultater fra delaktivitet 1	5
3.2	Innovasjoner fra Piloten.....	6
4	Tekniske/faglige erfaringer fra Piloten.....	7
5	Kost-/nyttevurderinger basert på resultatene for Piloten.....	8
5.1	Kostnader	8
5.2	Nyttevurderinger	8

1 Bakgrunnsinformasjon om pilotprosjektet

Tabell 1: Bakgrunnsinformasjon

	Fra malen "planlegging av pilotprosjekt"	Viktige endringer i løpet av pilotperioden
Målsetting	<p>Overordnet målsetning for prosjektet er å utvikle AGI (Artificial Grid Intelligence) til å bli et alarmgivende vernsystem som kan varsle om potensiell høyohmige jordfeil og klare via seksjonering å identifisere hvilken seksjon som har høyohmig jordfeil.</p> <ol style="list-style-type: none"> 1. Detektere høyohmige feil og varsle om denne type hendelser på nettsentralen 2. Utvikle effektive metoder for raskt å finne denne type feilsituasjon. <ol style="list-style-type: none"> a. Få varsel om høyohmig jordfeil i distribusjonsnettet i Scada b. Kunne seksjonere seg frem til feilstedet c. Vurdere om en kan sende opp en drone med varmesøkende kamera for å avdekke feilstedet. 	
Problemstilling	<p>Glitre Nett har i mange år forsøkt å få til verndeteksjon for høyohmige jordfeil i høyspent distribusjonsnett. Høyohmige jordfeil er når en ledning er ødelagt og noen ganger ligger på bakken og det er så dårlig jordingsforbindelse at tradisjonelle vernsystemer ikke registrerer feilen. Konsekvensen er at det fortsatt vil være spenning på ledningen og dette innebærer livsfare hvis personer eller dyr kommer i nærheten av ledningen.</p> <p>Disse feilene utgjør en HMS-risiko samt at denne feilsituasjonen kan starte branner som mange nettselskaper både i innland og utland har store utfordringer med.</p> <p>Disse feilsituasjonene vil utvikle seg til permanente feil med store reparasjon og KILE kostnader.</p>	
Aktiviteter	<ul style="list-style-type: none"> - Identifisering av objekt/komponenter i nettet som er aktuelle for pilotering - Montering av måleutstyr Siprotec 5 – måleutstyr for høyoppløselig 	

	<p>(sampling 14,4 kHz) måling av strøm og spenning på tre faser.</p> <ul style="list-style-type: none"> - Skape feilsituasjoner (høyohmige jordfeil) Det er utviklet en testtrigg som kobles til nettet for å skape jordfeil. Dette brukes deretter som grunnlag for å samle inn testdata. - Innsamling av data - Utvikling av modeller for maskinlæring - Kjøring av modellene - Analyse av resultat Resultat fra AGI sammenlignes med feilsituasjonene som ble skapt (punkt over «Skape feilsituasjoner»). Man kan dermed sjekke algoritmeresultat opp mot «fast», og dermed verifisere om algoritmen fungerer. Løsningen testes også der det er faktiske jordfeil. <p>Formidling og rapportering</p>	
Kostnadsestimat	800 kkr	
Innovasjonspotensial	Stort	
Forventet resultat	Ny måte å håndtere vanskelige feil på	
Tidsplan	2025	

2 Om Piloten og fysisk pilotområde

Tabell 2: Piloten og pilotområdet

Pilotområdet	Vegusdal og Evje
Måledata og andre data som samles inn og lagres fra Piloten	Mange feilskriver opptak og video. Ca 400 opptak tatt av skarpe feil i nettet.
Personvern og/eller kraftsensitiv informasjon	ivaretatt
Måle- og kommunikasjonsinfrastruktur	IEC 61850 og comtrade opptakt
Use-case-beskrivelser og testplaner	Fysiske tester kjørt med faktiske jordfeil i 22kV nettet
Regulering og forskrifter	FEF forskrift og elektriske forsyningsanlegg

Barrierer og løsninger	
Hvem skal eventuelt ta resultater fra Piloten i bruk?	Andre DSOer
Hvem er erfaringene relevant for?	Konseptene kan videreføres på i andre problemstillinger i kraftsystemet.
Hva påvirkes av resultater fra Piloter?	Muligheter til å finne feil tidlig.
Informasjonsdeling mellom aktørene før/underveis/etterpå	God
Er det laget planer for videreføring? Skalering/fullskala implementering?	Siemens lager dette som et produkt.

3 Resultater og innovasjoner fra Piloten

3.1 Resultater fra delaktivitet 1

- Montering av måleutstyr
Siprotec 5 – måleutstyr for høyoppløselig (sampling 14,4 kHz) måling av strøm og spenning på tre faser. Dette er satt opp i både Vegusdal og Evje
Gjennomført
- Skape feilsituasjoner (høyohmige jordfeil)
Det er utviklet en testrigg som kobles til nettet for å skape jordfeil ved ulike impedanser i nettet. Dette brukes deretter som grunnlag for å samle inn testdata og validere modellen og algoritmer til systemet.
 - o Gjennomført
- Innsamling av måleverdier(data) via IEC61850 – 9-2 sample values.
Gjennomført
- Utvikling av modeller for maskinlæring
 - o Gjennomført
- Kjøring (analyse) av innsamlet data i modellen. Her har Siemens gjort det meste av jobben
 - o Gjennomført
- **Analyse av resultat**
Resultat fra AGI sammenlignes med feilsituasjonene som ble skapt (punkt over «Skape feilsituasjoner»). Man kan dermed sjekke algoritmeresultat opp mot «fast», og dermed verifisere om algoritmen fungerer. Løsningen testes også der det er faktiske jordfeil.
 - o Det er funnet signatur av hvordan høyohmige jordfeil ser ut og at dette avdekkes med 95% sannsynlighet
 - o Det er laget et dashboard som presenterer analysen fra AGIen

3.2 Innovasjoner fra Piloten

Tabell 3 Beskrivelse av innovasjoner i forskningsrådets kategorier

Forskningsrådets kategorier	Beskrivelse	Antall
Ferdigstilte nye/bedre metoder/modeller/ prototyper		
Bedrifter utenfor FMEen som har innført nye/forbedrede metoder eller modeller eller teknologi	Ja Siemens har fått bekreftet modellen og testet ut og forbedret løsningen	1
Bedrifter innenfor FMEen som har innført nye/forbedrede arbeidsprosesser	nei	
Bedrifter innenfor FMEen som har innført nye/ forbedrede metoder eller modeller eller teknologi	Ja AGI tas frem som et produkt i løpet av 2025 av Siemens AG	1
Inngåtte lisensieringskontrakter		
Registrerte patenter	Siemens Tyskland har dette under arbeid	1
Ferdigstilte nye/forbedrede produkter	Ja	1
Ferdigstilte nye/forbedrede prosesser	nei	
Ferdigstilte nye/forbedrede tjenester	nei	
Nye foretak som følge av FME'en		
Nye forretningsområder i eksisterende bedrifter	Siemens	1

4 Tekniske/faglige erfaringer fra Piloten

Overordnet målsetning for prosjektet har vært å utvikle AGI (Artificial Grid Intelligence) til å bli et alarmgivende vernsystem som kan varsle om potensiell høyohmig jordfeil og klare via seksjonering å identifisere hvilken seksjon som har høyohmig jordfeil. Underveis i prosjektet har man også avdekket og lært mye om hvordan jordfeil utvikler seg over tid i distribusjonsnett. Det har også blitt sett på mulighet for å foreta automatiske utkoblinger av visse typer jordfeil som innenfor et impedansområde som ikke konvensjonelt vernsystem vil detektere vil detektere.

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

Systemet som har blitt trent på Glitre Nett sitt nett er nå testet på lokasjoner hvor AGI funksjonen ikke har hatt trening, og det har vist seg mulig å generalisere funnene som systemet er trent på.

Det har også latt seg gjøre å retningsbestemmelse om retningen på feilen i et system. Dette er kritisk for at systemet skal ha en operasjonell verdi.

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

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

En utfordring når man ikke skal benytte fastsatte parametere til å frakoble en feil, er at det kan være vanskelig å finne området som man definerer som så alvorlig at frakobling ikke kan vente. For å oppnå slik funksjonalitet må et AI-system jobbe sammen med et konvensjonelt system. Vi ser nå på muligheten for å få en dynamiske innstillinger i det konvensjonelle vernsystemet som aktiveres av AGI systemet.

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

5 Kost-/nyttevurderinger basert på resultatene for Piloten

5.1 Kostnader

Kostnader knyttet til jordfeil i et høyspent nett er en komplisert problemstilling. Jordfeil i et høyspent nett er den hyppigste feilen i nettet. Siden 2019 har Glitre Nett sitt nett i Agder i snitt hatt 0.9 jordfeil i høyspent distribusjonsnett daglig. Denne typen feil er har et stort spekter av feiltyper, det kan være isolatorfeil, isolasjonsvikt i transformator/ kabel, trefall på linje, fasebrudd osv. Jordfeil har også den egenskapen at påfører de friske fasene i et trefase system en forhøyet spenning, ofte med en faktor på et sted mellom 1.73-2.2 av nominell fasespenning. Dette kan i noen tilfeller gi en rekke feil utløst av samme type feil.

Først og fremst er en jordfeil noe som skal frakobles i fra nettet hurtigst mulig og i henhold til de krav som stilles i FEF. Da en isolasjonsvikt eller fare for berøring av ledende komponenter medfører svært høy risiko for personskade og død. I tillegg kan en jordfeil medføre betydelige materielle skader på anlegg, men også på tredjeparts eiendom med f.eks. starte branner, enten i bygningsmasse eller i natur.

I tillegg har man kostnader knyttet til feilretting, analyse og ombygninger som følge av jordfeil. Til slutt kommer kostnader med KILE for selskapet. KILE ordningen gir kostnader når anlegg blir frakoblet nettet.

Et høyspent distribusjonsnett kan ha stor grad av variasjon og utforming. Dette kommer av ulikheter i områdene skal forsyne. Nett i bynære strøk er ofte mer kompakte og består hovedsakelig av kabler. Dermed er det mindre sannsynlig med jordfeil generelt. Selskapenes ROS vurderinger skal ligge til grunn for anleggsløsninger og valg av vernsystem i henhold til FEF.

I en slik betraktning må man da se på de stasjoner som har mye luftnett, dårlige jordingsforhold og en komplisert nettstruktur med et spesielt fokus.

Ved et system som skal kunne varsle om jordfeil tidligere, og feil som tidligere ikke har blitt utkoblet ligger det et potensial for kostnadsbesparelser.

Det er først og fremt HMS perspektivet som har vært fokuset.

Kostnader knyttet til installasjon av et kommersielt tilgjengelig system, er ikke klare enda. Men systemet bygger på tilgjengelige komponenter i fra vern og kontroll serien til Siemens. Derfor antas det at de ekstra kostandene ikke vil være betydelige i en stasjon som allerede har infrastrukturen tilgjengelig.

5.2 Nyttevurderinger

Ombygninger av luftnett, trefrydding, hyppig befarings, forsering av reinvestering kan medføre betydelige kostnader og er ofte meget ressurs krevende. Det vil uansett ikke gi noen garanti for at visse type feil kan oppstå. Når også kompleksiteten i nettet øker i en høyere hastighet enn nettselskapene har grunnlag til bygge ut. Nytteverdien å kunne installere sentraliserte løsninger i forbindelse med reinvestering av vern og kontroll anlegg være en relativt liten ekstra kostnad.

I de stasjonene som har hyppig risiko for høyohmige jordfeil, vil det først og fremst være et stort HMS løft å investere i infrastruktur som kan gi forvarsel om en feiltype og også gi mulighet for utkobling av feil som konvensjonelle vernsystem ikke kan oppdage.

Det ses også på potensiale til å videre utvikle systemet for å kunne detektere andre feil, eller feil som er under utvikling med ett slik type konsept.

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>

