

Forbedret batteri og boosterinstallasjon



IDE-prosjektet

Erfaringsnotat Arbeidspakke 3.3 FBI

Forfatter: Thomas Veflingstad, Elvia og Per Olav Dypvik, Energea

Publisert: 17.03.25, revidert 03.07.25



Innholdsfortegnelse

1	Sammendrag.....	3
2	Beskrivelse av prosjektet	4
2.1	Bakgrunn for prosjektet.	4
2.2	Prosjektets mål.....	4
2.3	Delprosjektet sin rolle i IDE-prosjektet.....	5
3	Teknologibeskrivelse	7
3.1	Overordnet teknologibeskrivelse	7
3.2	Teknologianvendelse og funksjonalitet	8
3.3	Fysiske installasjoner i nettet.....	9
4	Prosjektresultater og måloppnåelse.....	9
4.1	Forventede nytteeffekter i prosjektet.....	9
4.2	Analyse av nytteverdier og skalapotensialer	10
4.3	Måloppnåelse og resultater	10
5	Viktige erfaringer og læring fra prosjektet.....	11
5.1	Prosjektledelse og administrativt.....	11
5.2	Økonomi	11
5.3	Teknologi og løsning med Pixiis batteri og Magtechs booster.....	13
5.3.1	Nes, Pixii-skap og Magtech booster	13
5.3.2	Eidsvoll Verk/Minnesund med Pixii-skap og Magtech Booster	15
5.3.3	Fase 1b – Forbedringer på løsningen fra Magtech og Pixii.....	18
5.4	Teknologi og løsning med Energeas BFS.....	25
5.4.1	Løkenlia i Nes kommune	25
5.4.2	Sundavegen/Eidsvoll	28
5.4.3	Erfaring med Energea BFS	30
5.4.4	Narvestadveien/Indre Østfold	33
5.4.5	Konklusjoner fra utprøving av Energeas BFS	34
6	Videre planer.....	35
7	Overordnet prosjekt- og kontaktinformasjon	36

1 Sammendrag

Forbedret batteri og boosterinstallasjon (FBI) er et prosjekt som tar for seg en ny måte å utbedre problematiske, svake lavspenningsnett med lav kortslutningsytelse. Løsningen som undersøkes er en samarbeidsløsning for spenningsbooster og nettbatterier med samordnet regulering der booster fra Magtech og batterier fra Pixii blir benytta. I enkelte prototyper er det også benyttet en batteriløsning fra Energea for å undersøke nytten av alternative måter å regulere spenning for raske svingninger.

Prosjektet har med seg erfaring fra tidligere Hafslund Nett AS og Eidsiva Nett AS der det ble gjennomført en demo i forprosjektet IntegER med en prototype batteri og booster uten samordnet kommunikasjon og batterier installert fordelt i hytteområdet Susjøen i prosjektet Battflex. Elvia har også utbrett erfaring med spenningsboostere som en frittstående komponent og har over 100 boostere stående i nettet.

2 Beskrivelse av prosjektet

2.1 Bakgrunn for prosjektet.

Elektrifisering og endret kundedadferd i distribusjonsnettet gjør at Elvia, og andre nettselskaper, må se etter mer fleksible måter å utnytte nettet på enn tradisjonell reinvestering. I motsetning til en del andre industrier har utbygging av infrastruktur for elektrisitetsforsyning vært gjenstand for lite forandring de siste 100 årene. Det elektriske energiforsyningssystemet er fortsatt i stor grad basert på større, sentralisert produksjon av elektrisitet som må overføres til forbrukerne. Det er i ferd med å endre seg drastisk. Det har de siste årene vært en massiv økning i elektriske kjøretøy og med denne utviklingen har også batteriteknologien blitt rimeligere og mer anvendbar til andre formål. Samtidig fører denne endringen til økt etterspørsel etter effekt til lading.

Elvia har i overkant av 100 spenningsboostere/spenningsregulatorer i drift i nettet i 2023. En spenningsbooster leverer et spenningsløft på 20%, så dersom den mottar en inngangsspenning på over 190V vil den levere ut 230V. Kravet til langsomme spenningsvariasjoner er ifølge Forskrift om Leveranse kvalitet mellom +/- 10% av en nominell spenning på 230V, dvs. mellom 207V og 253V.

En teoretisk kartlegging av fleksibilitetspotensial for tidligere Eidsivas nettområde har vist at både forbrukerfleksibilitet og økt fleksibilitet gjennom installering av batteri i nettstrukturen kan fungere som kostnadseffektive løsninger på utfordringer med spenningsfall, overlast på trafo eller overlast på ledere. De alternative tiltakene vil ha størst verdi i områder som representerer flere av disse utfordringene samtidig.

Kartleggingen, utført i samarbeid med Thema Consulting, viste at for 17 spesifiserte kretser med sammensatte spenningsutfordringer kan alternative løsninger og en utsettelse av investering 10 år fram i tid gi en besparelse på 75 % sammenliknet med tradisjonelle tiltak, tilsvarende en besparelse på 9 MNOK for bare disse kretsene.

Tidligere Hafslund Nett AS gjennomførte en demo i forprosjektet IntegER der det ble installert en prototype batteri og booster uten samordnet kommunikasjon hos en kunde i Mysen. Installasjon og testing ble utført i samarbeid med Energea og prosjektet førte til gode resultater. Løsningen ble i forkant av installasjon i felt testet i lab der det ble satt under raske og effektkrevende laster, som f.eks kompressorer, høytrykkspylere og sirkelsager. Utstyr som er relativt vanlige hos kunder i lavspenningsnettet.

Tidligere Eidsiva Nett AS på sin side gjennomført installasjon av distribuerte nettbatterier i prosjektet Battflex. Prosjektet har videre sett på hvordan forbrukerfleksibilitet gjennom smarte varmtvannsberedere kan være med på å opprettholde spenningsnivåene i perioder med høyt forbruk i nettet. Battflex har levert spennende resultater som FBI-prosjektet har tatt med seg videre, sammen med erfaringene hentet fra drift og IntegER-prosjektet.

I FBI-prosjektet utforsker vi videre hvordan spenningsbooster i samspill med batteri kan brukes til å utsette investeringer og gjør teknologien mer moden for utbredt bruk.

2.2 Prosjektets mål

Formålet med prosjektet har vært å demonstrere og synliggjøre effekter og nytteverdier av teknologi og løsninger som er beskrevet nedenfor under kapittel 3 Teknologibeskrivelse.

FBI har som formål å få frem en prototypeløsning av batteri og booster med samordnet regulering og å teste denne i lavspenningsnettet. Videre skal FBI framskaffe et bedre kunnskapsgrunnlag vedrørende teknologiene som gjøre teknologien kan bidra til å modne teknologien for kommersiell bruk som et alternativ til tradisjonell nettutbedring.

Hovedmålene har vært:

Effektmål

Beskrivelse	Suksesskriterier
Større handlingsrom/verktøykasse og utført kost/nytte analyser av alternative løsninger for fleksibilitet i nettet ved ulike problemstillinger sammenliknet med tradisjonell nettutbygging.	Rapport for kostnadssammenlikning utarbeidet.
Et kostnadseffektivt alternativ for å løse brudd på Forskrift om Leveranse kvalitet i Kraftnettet. Reduserte investeringer i nettstruktur gjennom alternative løsninger.	En batteri- og boosterløsning som løfter spenning til akseptable nivåer i svake lavspenningsnett uten å bryte FoL på andre områder.
Mer moden teknologi, klar til kommersiell bruk som permanent eller midlertidig tiltak.	En beskrivelse av løsningen som kan deles i organisasjonen for å gjøre alternativet kjent hos de som planlegger utbedringer. Dokumentasjon av testresultater og erfaringer som viser at løsningen fungerer under reelle driftsbetingelser.

Resultatmål

Beskrivelse	Suksesskriterier
Tilegnet praktisk erfaring med nettbatterier og boostere som alternativ til nettinvestering.	Installere nettbatterier og boostere med samordna regulering hos kunder med problematiske spenningsforhold. Spre informasjon om løsningen i organisasjonen.
Forbedret samspill mellom de to teknologiene og teste med laste.	(Gjennomført prøvedrift.). Måling og analyse av løsningen under i situasjoner nære maks last hos kundene der lasten kan variere fort med tiden. (motorstart, kompressor) - Utarbeidet erfaringsnotat/resultat.
Evaluert virkning av løsningen. Klarer løsningen å løse utfordringene med underspenning og brudd på FOL?	Gjennomføre testing og analyse av løsningen i lab og i felt.
Sammenlikning kostnader for løsningen med tradisjonell nettforsterkning.	Utarbeidet Thema-rapport som viser potensialet for fleksibilitetsløsninger som alternativ til nettutbygging.
Dele FoU-resultater internt og eksternt.	Gjennomføre interne og eksterne nyhetssaker, og deltakelse på bransjefora.

2.3 Delprosjektet sin rolle i IDE-prosjektet

Delprosjekt 3.3, FBI, inngår i det nasjonale storskalaprojektet IDE - Intelligent Distribusjon av Elektrisitet. Dette prosjektet ledes av The Norwegian Smartgrid Centre som også er ansvarlig for måloppnåelse i storskala-prosjektet.

Det overordnede målet med IDE-prosjektet er å demonstrere nye teknologier og digitale løsninger i stor skala, verifisere hvordan de fungerer, samt å synliggjøre nytteverdier og skalapotensialer slik at dette bidrar til at løsninger tas i bruk i stor skala.

3 Teknologibeskrivelse

3.1 Overordnet teknologibeskrivelse

Teknologier og løsninger som er benyttet i demonstrasjonsprosjektet er beskrevet i nedenfor.

Teknologi	Beskrivelse								
Magtech MVB125-230	Magtech har utviklet og patentert en magnetisk trinnløs justerbar spole med et stort reguleringsområde. Induktansspolen er produsert av kobber og jern. Hovedviklingen på utsiden av spolen setter opp AC-fluks i kjernen. En styrevikling på innsiden av kjernen produserer DC-fluks som ligger 90° på tvers av AC-fluksen. Mengden DC-strøm i styreviklingen bestemmer hvilken induktans AC-viklingen får.								
Pixii Power Shaper2	PowerShaper2 fra Pixii, er et fullstendig moduert energilagringssystem med søtte for IP55. Produktet er klart til å kobles til nettet for å muliggjøre bruk av solceller til egent forbruk, generell lastreduksjon, topplastreduksjon og andre støttetjenester. Hvert skap kan romme opptil 50kW effekt og opptil 120kWh energilagringsskapasitet avhengig av batteritype og modell. <table><tr><td>Batteritype</td><td>Maks antall:</td><td>Maks kW</td><td>Maks kWh</td></tr><tr><td>LFP 4,8kWh</td><td>10</td><td>50kW</td><td>48kWh</td></tr></table>	Batteritype	Maks antall:	Maks kW	Maks kWh	LFP 4,8kWh	10	50kW	48kWh
Batteritype	Maks antall:	Maks kW	Maks kWh						
LFP 4,8kWh	10	50kW	48kWh						
Energea BFS, Batteri for Spanningsstøtte	Energeas BFS er en sammensatt løsning med komponenter fra ulike leverandører satt sammen av Energea og kontrollert av Energeas energiScada™. Batteritype: LFP 3.5 – 5.3 kWh per modul Like/vekselretter: 4 kW per modul Hver BFS har 2-3 batterimoduler og 2-3 like-/vekselrettere Styresystemet energiScada har en lokal enhet (IoT gateway) med grensesnitt og protokollstøtte for en rekke lokale tilkoplinger i tillegg til 5G over VPN mot server. energiScadas serverapplikasjon benyttes bl.a. til visualisering av lokal styring og til nedlasting av og sentral tilgang til data fra PQ-målere.								
Ingeniør Dypvik AS (ID AS)	ID AS har levert batterier, like-/vekselretter og IoT gateway som Energea har benyttet i BFS.								

3.2 Teknologianvendelse og funksjonalitet

Anvendelse og funksjonalitet for FBI er overordnet beskrevet nedenfor.

Systemløsning		Funksjon
Multifunksjonelt energilagringssystem Pixii AS	Installeres på utvalgte transformatorkretser i lavspenningsnettet	- Reduksjon av effekttopper for å unngå overlast på transformator - Reduksjon av spenningsfall - Kompensering av skjev lastfordeling - Reduksjon av reaktiv effekt.
Batteri for spenningsstøtte (BFS) Energea AS	Installeres nært kunde i en nettstasjonskrets i LS-nettet	- Begrenser strømtrekk fra nettstasjon til I_{lim}, en parameter som kan styres uavhengig per fase. Dette styres for å: - Redusere spenningsfall - Kompensere skjev lastfordeling - filtrere bort raske spenningsvariasjoner Systemet er raskt nok til å filtrere bort raske spenningsvariasjoner.
Sikker utkobling Energea AS	Installeres ved siste avgang mot kunde	- Måler strøm og spenning på siste linjestrekk mot kunde - Frakobler kunde dersom kortslutningstilstand detekteres - Kan tilbakestilles med fjernkontroll

3.3 Fysiske installasjoner i nettet

Prosjektet har totalt gjort fire installasjoner i felt, som vist i bildet under. Det er installert prototyper med Magtechs booster i samspill med Pixiis batteriskap i Eidsvoll Verk, Minnesund og Nes som vist i figuren under. Energeas BFS er installert frittstående i Løkenlia i Årnes, og sammen med boostere både i Narvestadveien/Indre Østfold og i Sundavegen/Eidsvoll der den erstattet Pixiis batterisystem fra juni 2024 for å teste en annen form for styring på batteriet under liknende forhold.



I tillegg har Energeas BFS vært utprøvd i Narvestadveien på Mysen i Indre Østfold sammen med en MVB fra Magtech siden 2020 gjennom et annet prosjekt. Her har det også blitt satt opp PQ-målere for å vurdere resultatene inn i FBI-prosjektet og gjøre flere erfaringer.

4 Prosjekresultater og måloppnåelse

4.1 Forventede nytteeffekter i prosjektet

Den overordnede forventningen i prosjektet har vært at løsningene som utprøves skal bidra til å redusere aktuelle problemer mer kostnadseffektivt enn ved bruk av konvensjonell nettforsterking. Gjennom en spenningsbooster er det forventa at løsningen skal håndtere langvarige spenningsfall og med batteriet er det forventa at løsningen både skal kunne ta raske spenningsvariasjoner og kunne avlaste nettet oppstrøms. Batterier kan også balansere de fasene, så nettet får bedre fasebalansering. Det er også forventa at prosjektets løsning skal:

- Håndtering av langsomme spenningsvariasjoner.
- Håndtering av raske spenningsvariasjoner.
- Avlaste nettet oppstrøms mot nærmeste nettstasjon.
- Raskere utrulling av prosjektets løsning enn tradisjonell reinvestering.
- En løsning som kan flyttes når prosjekt for reinvestering er ferdig modnet og utført.
- Utsatte investeringer i distribusjonsnettet vil gi besparelser for nettselskapet.

4.2 Analyse av nytteverdier og skalapotensialer

Analyser og dokumentasjon av nytteverdier og skalapotensialer for teknologien som er demonstrert i prosjektet vil bli foretatt i samarbeid med de øvrige nettselskapene i IDE-prosjektet, ut fra de felles prinsippene som er avtalt for dette.

Analyser og erfaringer fra demonstrasjonsfasen viser:

- Løsningen kan skaleres til å håndtere flere kunder gjennom å øke antallet batterier.
- Kostnaden til løsningen øker først og fremst med batterikostnaden, så ved å øke antallet batterier blir den også mindre konkurransedyktig sammenliknet med nettutbedringer.
- Det kan være krevende å finne best mulig plassering og dimensjonering av løsningen for å løse spenningsutfordringer.
- Løsningen løfter spenningen som forventet, men innfører også andre forstyrrelser som harmoniske og flimmer.

4.3 Måloppnåelse og resultater

Måloppnåelsen og resultatene fra prosjektet varierer. Løsningen løfter spenning som antatt, men innfører andre typer forstyrrelser som kan bidra til at FOL-grenser overskrides. Det er særlig 4 faktorer som har bidratt til dette:

- Styring av batteriet er ikke alltid rask nok til å håndtere de raskeste spenningsvariasjonene.
- Ved bortfall av last ser vi at spenningen kan bli mer enn 10% større enn nominell spenning (mer enn 253V) fordi løsningen bruker for mye tid på å skru seg av.
- Magtech booster genererer overharmoniske spenninger, spesielt 3 harmoniske.
- Styring av batteriet kan tilsynelatende gjøre at det også blir mer flimmer enn det som grensene i FOL tillater.

5 Viktige erfaringer og læring fra prosjektet

5.1 Prosjektledelse og administrativt

Prosjektet har bestått av et lite team med prosjektleder fra avdeling Distribusjonsnettprosjekter og fagressurser fra avdeling Erstatning og Skade. Magtech har fungert som hovedleverandør for løsningen og har i hovedsak stått for samarbeidet med Pixii.

Samarbeidet med Energea ble innledet et år inn i prosjektet og foregår som direkte samarbeid mellom Energea og Elvia.

Den første prototypeinstallasjonen ga en del uventede utfordringer knyttet til selve installasjonen. Batteriskapene var f.eks. koblet for 400V i stedet for 230V og det manglet en vesentlig komponent for kommunikasjonen mellom booster og batteri. Denne komponenten var en skreddersydd splitter som delte opp lederne i en TP-kabel. Siden dette var en komponent som ikke var med i standardleveransen av batteriet uteble denne fra det bestilte utstyret. Dyktige montører ordnet en løsning på stedet, men sånne typer mangler gjorde at den første installasjonen tok ca. en ukes tid. Senere installasjoner gikk vesentlig raskere og rimeligere.

Tilsvarende utfordringer opplevdes med den første installasjonen av Energeas BFS installasjon. Noen ekstra hindringer er forventa når man gjør en førstegangsinstallasjon, men for akkurat denne installasjonen ble alt arbeidet avhengig av en enkelt ressurs hos en leverandør av Energea, og Elvia hadde mye mannskaper klare på stedet som ikke hadde mulighet til å hjelpe til med arbeidet.

Målingene som ble gjort på prototypene i starten var manuelt avleste og var tungvint i prosjektet underveis da vi måtte sende ut ressurser for å lese av målerne manuelt. De avanserte PQ-målerne krever en statisk IP-adresse for å kunne sende målerdata og dette gjorde at vi måtte installere en ekstern komponent med eget sim-kort for å foreta avlesningene. Dette kom på plass gjennom samarbeidet med Energea som hadde vært med på å sette opp en tilsvarende løsning for OLTC.

Samarbeidet med leverandørene har for det meste fungert godt, men det har vært merkbart at begge leverandørene tidvis har hatt mye å gjøre på andre områder. Tilsvarende er ressursene fra Elvia på prosjektet kun satt av på deltid ved siden av en vanlig stilling og ressursenes evne til å engasjere seg i prosjektet avhenger veldig av pådraget som oppleves i den vanlige stillingen. Det har gjort at det tidvis har vært dårligere oppfølging fra Elvia enn det burde vært.

Utover det har samarbeidet internt og eksternt fungert bra. Spesielt samarbeidet med Energea har vært med på å løfte kvaliteten på arbeidet som er gjort i prosjektet.

5.2 Økonomi

Nedenfor vises budsjett og foreløpige resultater i kNOK for FBI-prosjektet. Summasjon av hver av fasene ligger over fasen. Fase 1, der vi har testet prototyper ute i felt hos kunder som ikke har klaget på dårlig spenning er avsluttet. Etter planen skulle prosjektet egentlig gått inn i fase 2, der vi gjorde installasjoner hos kunder som har klaget på spenning. Resultatene fra de første prototypeinstallasjonen viste at det var fornuftig med et spor for å forbedre den elektriske kvaliteten i løsningene leverte. Mer om dette i neste kapittel.

Av vesentlige avvik er det verdt å nevne at det ble gjennomført ekstra aktiviteter utover det som var planlagt; Fase 1b Utbedring av THD og flimmer, samt et ekstra samarbeid med Energea, fase 1c Demo med Energea, for å undersøke en annen form for regulering av batteriet. Totalt er det planlagt rundt 4 millioner til disse to fasene. Den opprinnelige FoU-ramma for prosjektet var satt til 10MNOK. Prosjektet har fått tillatelse til å overskride denne noe. I tillegg er det avtalt med avdeling Erstatning og Skade at de reelle spenningsklagene i fase 2 kan gjøres delvis over driftsbudsjettet til avdelingen.

Av enkeltposter som har overskredet det planlagte nivået, er de viktigste merket med gult. Posten Utviklingstimer leverandør har også gått noe over det planlagte nivået, men det var etter avtale med leverandørene som brukte mindre på en annen post som de brukte til utvikling - med en 50/50 fordeling av kostnad mellom leverandør og Elvia. Posten sommerstudenter har overskredet det planlagte nivået fordi prosjektet ble belastet vanlig timepris for interne ressurser for disse ressursene. Videre har Elvia brukt mer tid på prosjektet enn det som var antatt, bl.a. pga. oppfølging av studentene. Montasje av den første prototypen var dessuten som nevnt mer krevende enn antatt. Montørene har antydnet at de har ordnet noen problemer med utstyr de hadde liggende i bilen. Sånn sett unngikk prosjektet noen kostnader knyttet til installasjonen. Timene brukt til feilsøking og arbeid med Energeas BFS er også langt over det som var antatt. Det har både vært gjort mye analyse, men og en del fysisk arbeid på løsningen.

FBI gikk inn i et samarbeid om analyse og rapport fra Thema Consulting sammen med Battflex og OLTC. Denne kostnaden var i utgangspunktet ikke planlagt.

Fase 1b og 1c er nå avslutta. Den opprinnelige Fase 1 ble avsluttet oktober 2022. Fase 2 har blitt gjennomført gjennom Fase 1b og 1c. Der har reelle spenningsklager blitt håndtert med booster, batteri, SVB og en kombinasjonsløsning av booster og batteri, men siden det ble gjort gjennom de andre fasene er det ikke ført utgifter på fase 2.

	Budsjett	Resultat
Budsjett per 09.01.2023	850,000	531,000
Planleggingsfase	kNOK	kNOK
Prosjektadministrasjon tidlig 2022	500,000	223,000
Kontantbidrag Sintef	350,000	308,000

Fase 1 Test uten kundeklage	5300,000	5430,038
Innkjøp Prototyper	1500,000	1482,300
Utviklingstimer leverandør	300,000	396,447
Test og administrasjon, Magtech/pixii	2000,000	1422,100
Prosjektadministrasjon , Elvia	600,000	830,600
Sommerstudenter	500,000	663,970
Måleutstyr	200,000	219,368
Montasjekapasitet	200,000	265,440
Rapport fra Thema	0,000	120,600
Div, reise, andre kost	0,000	29,213

Fase 1b Utbedring av THD	1550,000	1541,1165
Prosjektadministrasjon Elvia	400,000	280,0375

Utvikling, testing og prosjektadministrasjon	950,000	1261,079
Endring av prototyper i felt	200,000	164,000

Fase 1c Demo med energiea	2662,000	3563,0405
Innkjøp av batterier	650,000	891,423
Timer Energea	840,000	2445,02
Innkjøp boostere	272,000	0,000
Prosjektadmin Elvia	400,000	22,348
Montasjekapasitet	250,000	82,5135
En ny PQ måler	50,000	121,736
Annen utvikling	200,000	0,000

Fase 2 Test med kundeklage	500,000	212,800
Innkjøp Prototyper	0,000	0,000
Utviklingstimer leverandør	0,000	0,000
Ekstern Prosjektadministrasjon	250,000	0,000
Intern Prosjektadministrasjon	250,000	0,000
Test av SVB?		212,8

Avslutningsfase	500,000	0,000
Prosjektadministrasjon	500,000	

Sum

11362,000

11277,995

5.3 Teknologi og løsning med Pixiis batteri og Magtechs booster

Prosjektet begynte fase 1 med utvikling av samordnet regulering mellom batteriet fra Pixii og booster fra Magtech. Resultatene fra testing i lab viste tidlig at størrelse på batteriene som i utgangspunktet var planlagt kom til å ha for liten kapasitet. Batteriene ble derfor skalert opp fra 10kWh og 10kW til 20kWh og 20kW. Videre økning av batteristørrelsen vil gi noe forbedring, men ikke så mye at det forsvaret å øke kostnaden på batteriene så mye. Erfaringer fra prosjektet har vist at det i noen tilfeller kan være nødvendig med større levert effekt fra batteriet om større laster eller flere kunder skal håndteres.

5.3.1 Nes, Pixii-skap og Magtech booster

Det ble tydelig ganske raskt etter installasjonen i Nes at FBI-løsningen med booster ikke var den rette for dette anlegget. Magtech var tydelig på at dersom kortslutningsytelsen, I_{k2min} ble for lav ville booster slite med å løfte spenningen raskt nok da spenningsfallet blir for stort for raskt. Kunden i Nes hadde en kortslutningsytelse på under 0,1kA. Når

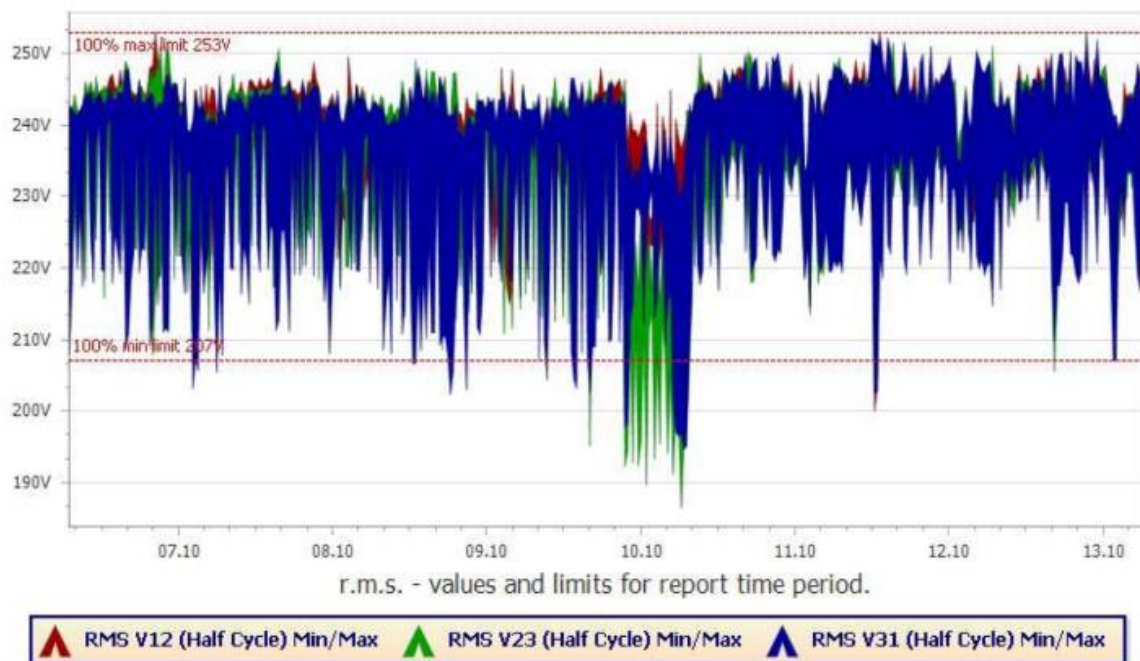
nettet blir så stivt og spenningsfallet skjer for fort til at boosterens rekke å komme i gang vil den fungere som en serieimpedans og heller bidra til å senke spenningen ytterligere til den kommer seg helt på. Dermed målte Elvia gjentatte ganger at spenningen falt under grensen til fol som vist i figuren under.

Supply Voltage Variation

Under normal operating conditions, during each period of one week 100% of the 1 min mean r.m.s. values of the supply voltage shall be within the range of $U_n \pm 10\%$.

Start time: 06.10.2022 06:59:00 End time: 13.10.2022 06:13:00

Parameter	Time[%]	Regulation min[%]	Measured min[%]	Regulation max[%]	Measured max[%]	Result [% within the limits]
V12	100	90	86,97	110	110,01	Fail (99,93%)
V23	100	90	81,08	110	109,35	Fail (99,14%)
V31	100	90	84,62	110	110,05	Fail (99,51%)



Spenningsfall målt etter boosterens mot kunden i Nes før booster skrus av.

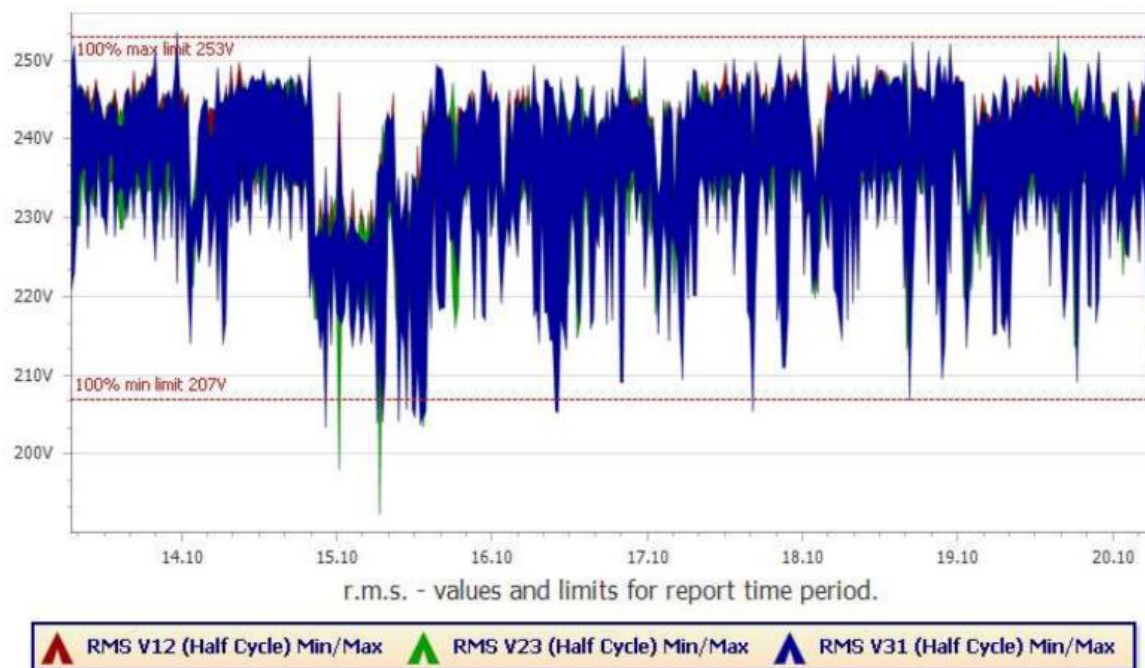
Etter analyse av disse spenningsfallene og dialog med Magtech ble det avgjort at boosterens skulle slås av og at kunden skulle få støtta kun fra batteriene. Spenningsene hos kunden ble vesentlig bedre etter at boosterens ble skrudd av, men det finnes fortsatt noen brudd på FOL der spenningsfallet kommer så raskt at batteriet heller ikke klarer å løfte. Måling fra uken etter at boosterens skrus av er vist under.

Supply Voltage Variation

Under normal operating conditions, during each period of one week 100% of the 1 min mean r.m.s. values of the supply voltage shall be within the range of $U_n \pm 10\%$.

Start time: 13.10.2022 06:59:00 End time: 20.10.2022 06:13:00

Parameter	Time[%]	Regulation min[%]	Measured min[%]	Regulation max[%]	Measured max[%]	Result [% within the limits]
V12	100	90	89,55	110	108,79	Fail (99,99%)
V23	100	90	83,68	110	110,04	Fail (99,93%)
V31	100	90	88,45	110	110,23	Fail (99,77%)



Spenningsfall målt etter boosterens mot kunden i Nes etter at booster skrus av.

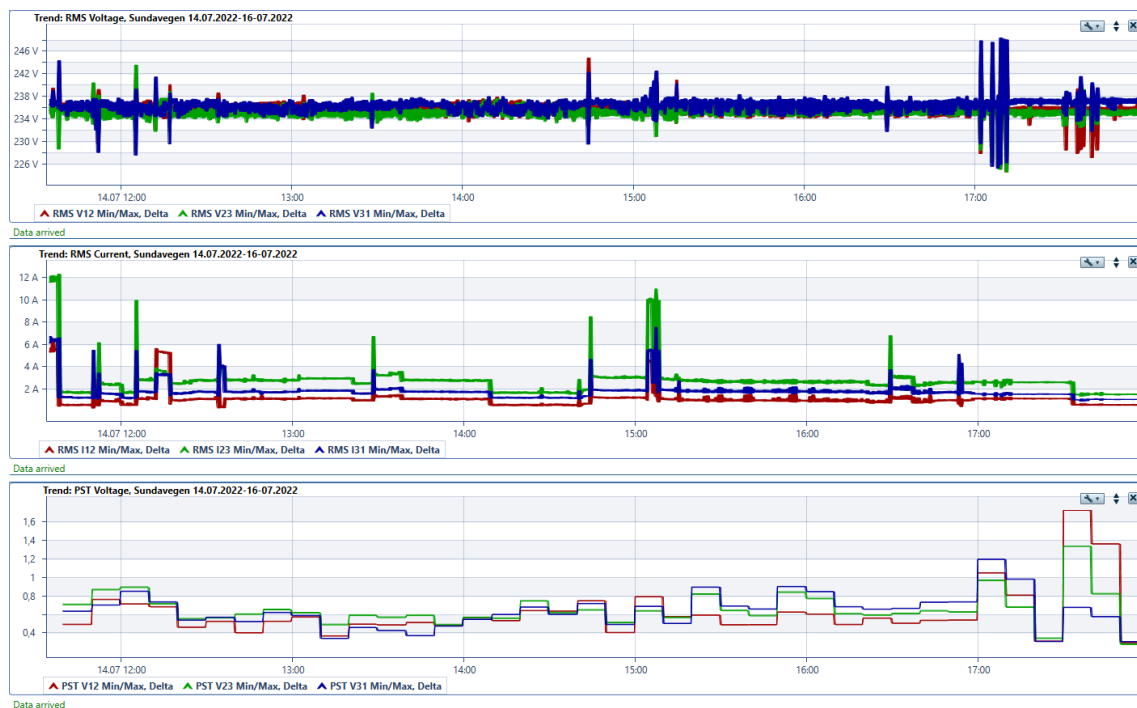
Linja i Nes ble besluttet oppgradert til 1000V og har fått forsterkning etter prosjektet.

5.3.2 Eidsvoll Verk/Minnesund med Pixii-skap og Magtech Booster

Etter installasjon i felt viste testingen at løsningen generelt sett hevet spenningen som ønsket, men at det ved spesielt raske lastendringer både ble for lave spenninger ved lastøkning og for høye spenninger ved hurtige lastreduksjoner. Eksempel på problematiske laster er høytrykksspyler og motorstart. Det kom også tydelig frem at løsningen innførte en del overharmonisk pådrag og førte til mer flimmer som vist i bildene under. Det ble derfor avgjort at prosjektet skulle utvide fase 1 med fase 1b for å gjøre forbedringer på løsningen.

For å teste Energeas BFS i helt like forhold som Pixiis batteriskap ble batteriet i Eidsvoll verk byttet ut til BFS fra Energea 31.05.2025. Denne perioden vil bli beskrevet i kapitell 5.3.5. Kunden på anlegget i Minnesund installerte solceller sommeren 2024. Dette endret driftsbildet fullstendig og gjorde at boosterens som var installert der ikke lenger var nyttig. Batteriløsningen med booster ble derfor byttet ut med en Magtech SVB, som både kan løfte og senke spenningen.

Videre i dette kapittelet blir oppdagelsene og forbedringene som ble gjort på Pixiis batteriskap og Magtechs MVB beskrevet.



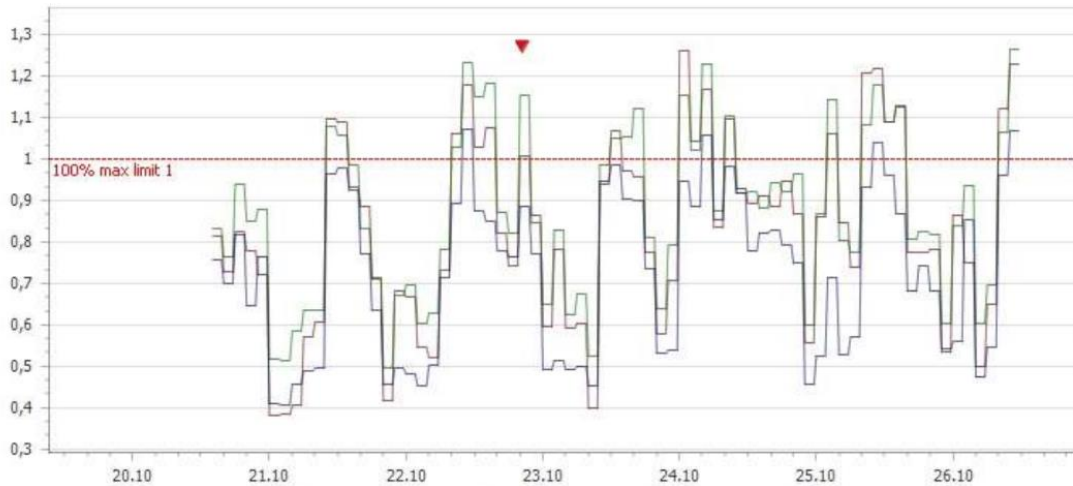
Målinger fra testing i felt med påtrykte laster hos kunden. Her holder spenningene seg innenfor kravstilte nivåer, men flimmer (PST Voltage) er noe større enn det som er kravstilt.

Flicker Severity

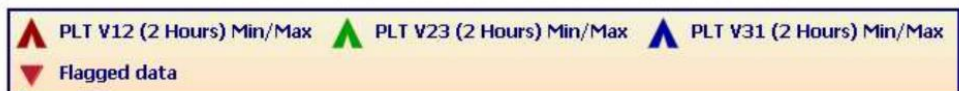
Under normal operating conditions, during each period of one week the long and Short term flicker severity Plt and Pst caused by voltage fluctuation should be according the below table

Start time: 19.10.2022 20:00:00 End time: 26.10.2022 12:00:00

Parameter	Time[%]	Regulation max	Measured max	Result [% within the limits]
PLT V12 (2 Hours)	100	1	1,262	Fail (73,24%)
PLT V23 (2 Hours)	100	1	1,266	Fail (70,42%)
PLT V31 (2 Hours)	100	1	1,073	Fail (94,29%)
PST V12 (10 Minutes)	95	1,2	1,331	Fail (89,07%)
PST V23 (10 Minutes)	95	1,2	1,352	Fail (88,95%)
PST V31 (10 Minutes)	95	1,2	1,133	Pass (97,18%)



Flicker - values and limits for report time period (PLT).



Flimmerintensitet fra FOL-rapporten til PQ-måleren plassert i Eidsvoll Verk.

Harmonic Voltage

Under normal operating conditions, during each period of one week, 100% of the 10 min mean r.m.s. values of each individual harmonic voltage shall be less than or equal to the regulation max values shown in the table below (values are given as percentage of the fundamental harmonic).

Start time: 19.10.2022 20:40:00 End time: 26.10.2022 10:20:00

Harmonic	Time Percent Limit[%]	Regulation max [%]	Measured max [%]			Result [% within the limits]		
			V12	V23	V31	V12	V23	V31
2	100	2	0,53	0,6	0,5	Pass (100%)	Pass (100%)	Pass (100%)
3	100	5	7,46	7,78	7,02	Fail (86,44%)	Fail (42,69%)	Fail (75,71%)
4	100	1	0,6	0,57	0,58	Pass (100%)	Pass (100%)	Pass (100%)
5	100	6	4,45	4,83	5,11	Pass (100%)	Pass (100%)	Pass (100%)
6	100	0,5	0,08	0,13	0,16	Pass (100%)	Pass (100%)	Pass (100%)
7	100	5	2,72	3,3	3,62	Pass (100%)	Pass (100%)	Pass (100%)
8	100	0,5	0,11	0,09	0,08	Pass (100%)	Pass (100%)	Pass (100%)
9	100	1,5	2,14	2,07	1,85	Fail (99,05%)	Fail (96,08%)	Fail (96,07%)
10	100	0,5	0,07	0,05	0,06	Pass (100%)	Pass (100%)	Pass (100%)
11	100	3,5	2,16	2,11	2,33	Pass (100%)	Pass (100%)	Pass (100%)
12	100	0,5	0,03	0,04	0,04	Pass (100%)	Pass (100%)	Pass (100%)
13	100	3	1,89	2,14	1,47	Pass (100%)	Pass (100%)	Pass (100%)
14	100	0,5	0,04	0,04	0,03	Pass (100%)	Pass (100%)	Pass (100%)
15	100	0,5	1,41	1,5	1,11	Fail (12,96%)	Fail (9,87%)	Fail (53,69%)
16	100	0,5	0,03	0,02	0,02	Pass (100%)	Pass (100%)	Pass (100%)
17	100	2	1,26	1,23	1,02	Pass (100%)	Pass (100%)	Pass (100%)
18	100	0,5	0,02	0,02	0,02	Pass (100%)	Pass (100%)	Pass (100%)
19	100	1,5	0,79	0,68	0,61	Pass (100%)	Pass (100%)	Pass (100%)
20	100	0,5	0,02	0,02	0,02	Pass (100%)	Pass (100%)	Pass (100%)
21	100	0,5	0,11	0,14	0,16	Pass (100%)	Pass (100%)	Pass (100%)

Harmoniske spenninger fra FOL-rapporten til PQ-måleren plassert i Eidsvoll Verk.

5.3.3 Fase 1b – Forbedringer på løsningen fra Magtech og Pixii

Leverandørene foreslo en håndfull tiltak for å forbedre harmoniske spenninger og flimmer. På batteriet side skulle softwareoppgraderinger på batteriet føre redusert flimmer samt å muliggjøre at batteriet setter booster i bypass modus, så strømmen kan kobles forbi boosterens på batteriets kommando. På boosterens side skulle Magtech utvikle en booster med 15% spenningsløft, som er $\frac{3}{4}$ av det boosterens vanligvis løfter. Magtech skulle også utforske reduksjon av harmoniske ved å introdusere 3. harmoniske i motfase (med H-bro). Pixii foreslo også å bruke batteri med høyere C-rate, altså et batteri som kan levere høyere effekt (kW) enn det har energilager (kWh), og som dermed kan støtte godt når spenningsfallet er raskt og kortvarig.

Den første forbedringen som var ferdig utviklet og testet var booster med redusert, 15%, spenningsløft. Under testinga av boosterens på laboratoriet til Pixii kom det frem at det å redusere spenningsløftet med $\frac{3}{4}$ også reduserte harmoniske spenninger vesentlig i det området der boosterens produserer mest harmonisk spenning. Tabellene under oppsummerer THD for boosterens med 20% løft og boosterens med 15% løft fra boosterens begynner på setpoint 0 til setpoint 80. Setpointene tilsvarer prosentvis økning av boosterens løft der 0 tilsvarer ikke noe løft (0%) og 80 tilsvarer 80%, altså 80% av maks spenningsløft.

For å forklare det med et eksempel så vil den originale boosterens med 20% løft levere 40V om den skal løfte maksimalt når spenningen faller til 200V. Utgangsspenning vil i det tilfellet være 240V. Dersom den da leverer på setpoint 80, altså 80% av maks så vil den levere 32V ($200 \cdot 0,2 \cdot 0,8$) med en utgangsspenning på 232V.

Tilsvarende vil 15% boosterens levere 230V utgangsspenning om den står på full guffe, mens på setpoint 80 ville den ha levert 224V utgangsspenning.

Tabellen oppsummerer den målte totale harmoniske forvrengningen for spenningen ved ulike %-vise settpunkt for 20%-Boosteren.

Booster Setpoint	THD L12 [%]	THD L23 [%]	THD L31 [%]
0	1.3	1.3	1.4
2	2.2	2.3	2.2
5	3.6	3.6	3.5
10	3.0	3.0	3.0
15	2.7	2.9	3.0
20	3.9	4.3	4.1
25	5.1	5.4	5.2
30	4.8	4.8	5.0
35	3.7	3.7	4.0
40	2.5	2.8	3.2
45	1.9	2.5	2.8
50	1.6	2.3	2.6
55	1.6	2.3	2.5
60	1.3	2.0	2.2
65	1.0	1.6	1.7
70	1.2	1.5	1.6
75	1.2	1.4	1.4
80	1.2	1.3	1.3

Table 1: Oppsummering for Booster 20% spennings-løft

THD på de ulike fasene for 15% booster.

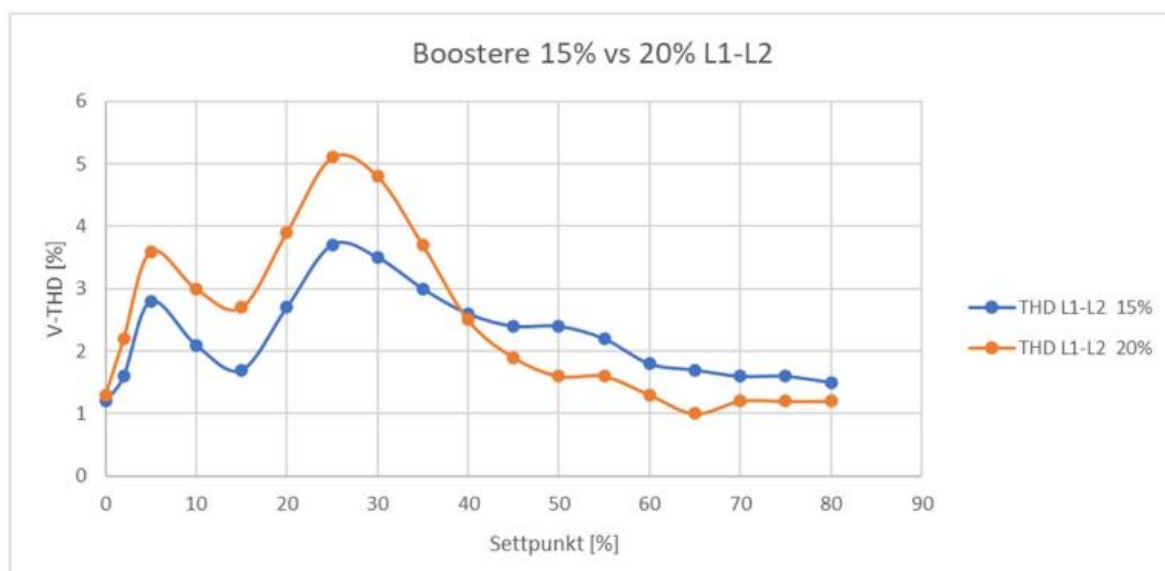
Tabellen oppsummerer den målte totale harmoniske forvrengningen for spenningen ved ulike %-vise settpunkt for 15%-Boosteren.

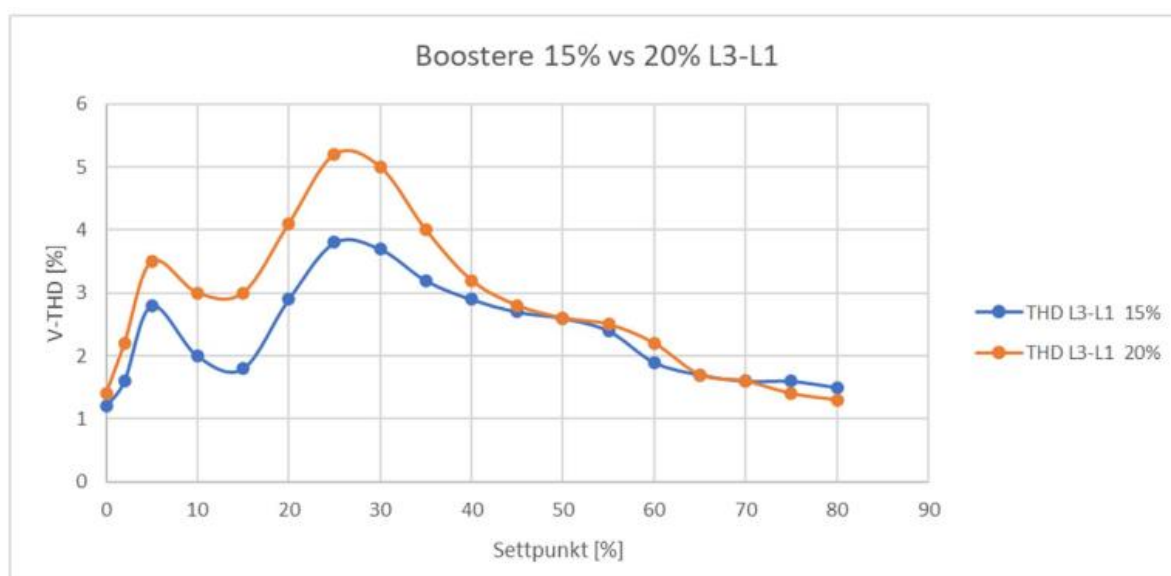
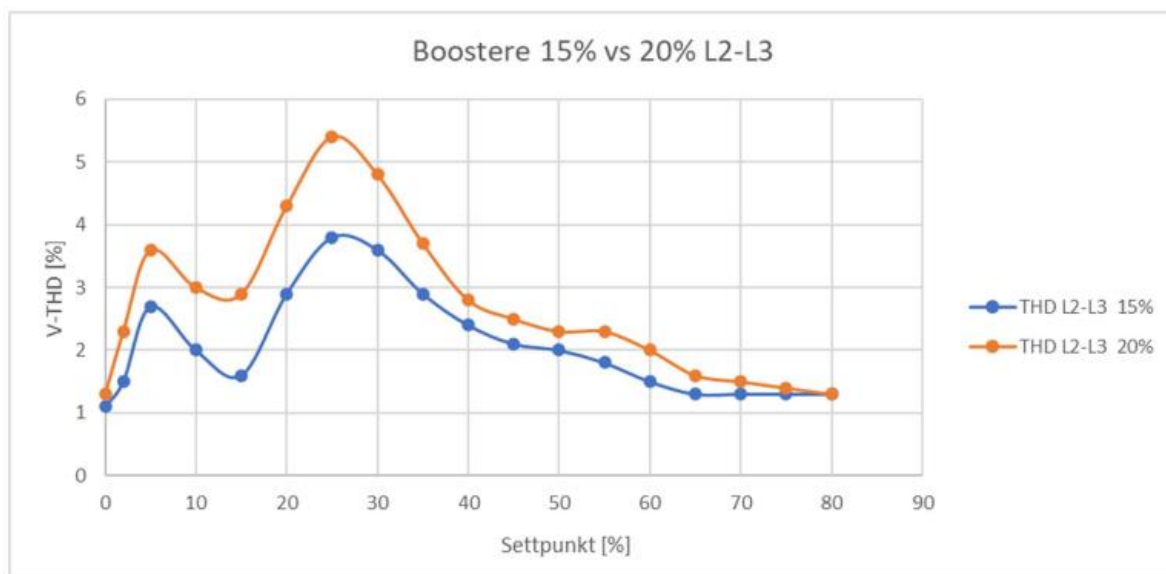
Booster Setpoint	THD L12 [%]	THD L23 [%]	THD L31 [%]
0	1.2	1.1	1.2
2	1.6	1.5	1.6
5	2.8	2.7	2.8
10	2.1	2.0	2.0
15	1.7	1.6	1.8
20	2.7	2.9	2.9
25	3.7	3.8	3.8
30	3.5	3.6	3.7
35	3.0	2.9	3.2
40	2.6	2.4	2.9
45	2.4	2.1	2.7
50	2.4	2.0	2.6
55	2.2	1.8	2.4
60	1.8	1.5	1.9
65	1.7	1.3	1.7
70	1.6	1.3	1.6
75	1.6	1.3	1.6
80	1.5	1.3	1.5

Table 2: Oppsummering for Booster 15% spennings-løft

THD på de ulike fasene for 15% booster.

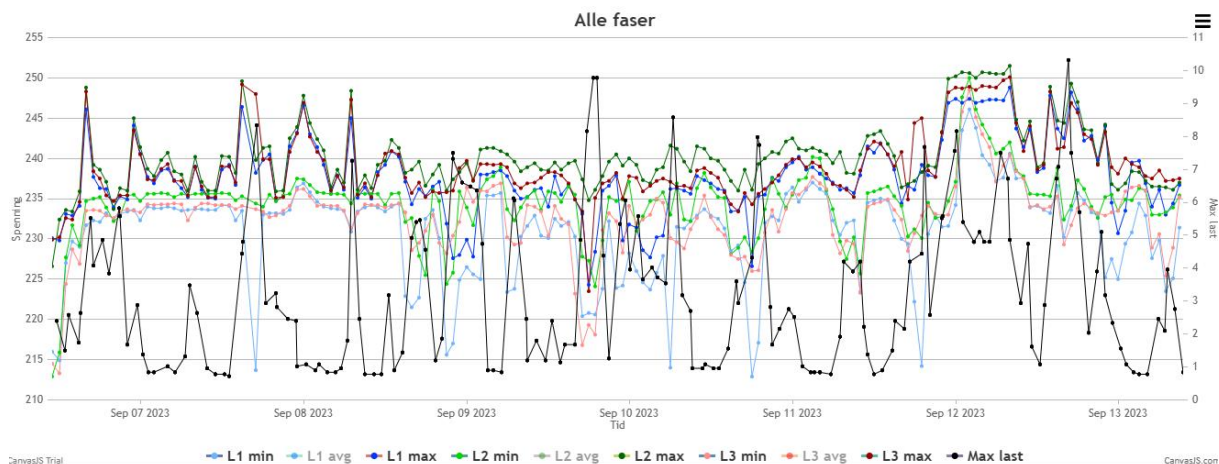
Videre kommer en fasevis visualisering av tabellene over:



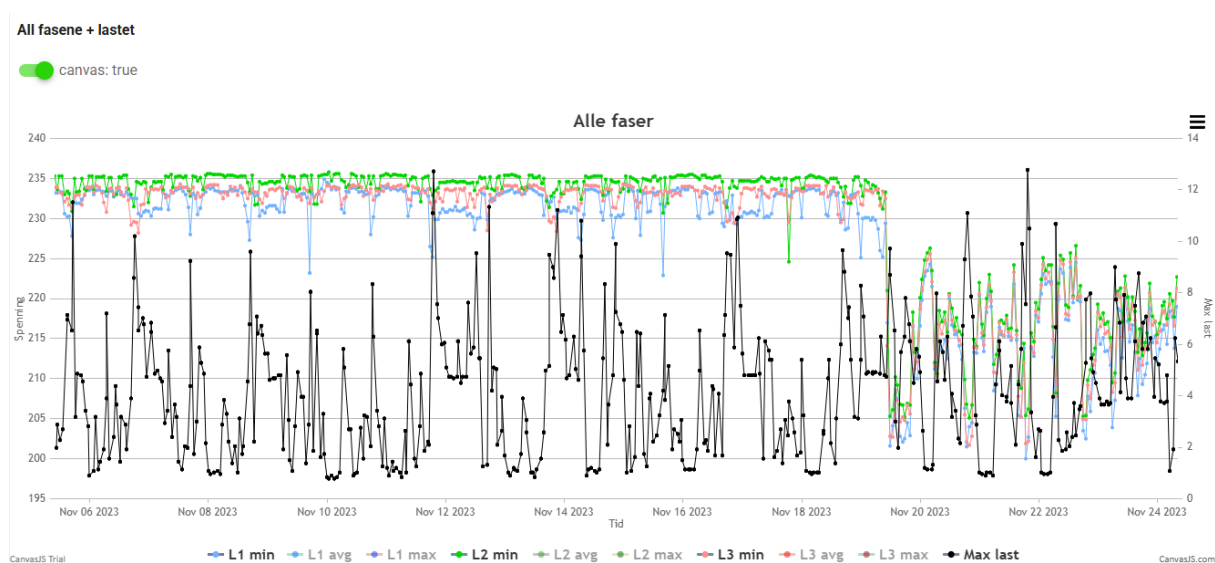


Booster med 15% løft viser vesentlig reduksjon i THD når den arbeider i området settpunkt 10 til settpunkt 70.

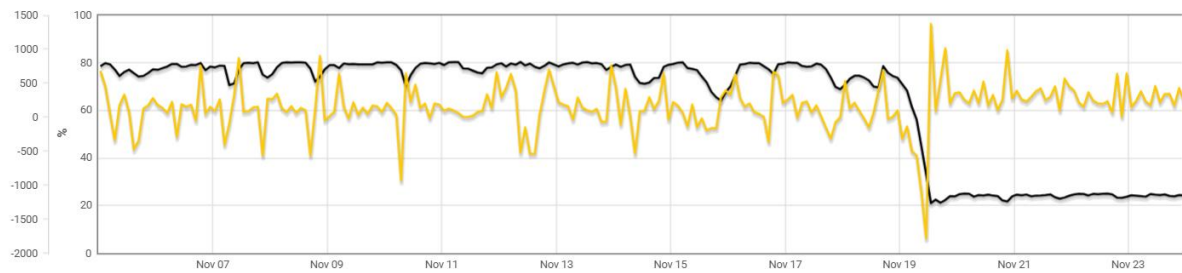
Softwareoppgraderingene har redusert flimrer vesentlig i lab, men har ikke vist like gode resultater i felt. Batteriets styring på spenning virker fundamentalt litt for treg til å kunne fikse flimrer selv om samplingsraten er økt fra 50hz til 100hz i ny software. I felt ble det også oppdaget noen uheldige hendelser der batteriet satte booster i bypass men fremdeles prøvde å kommandere den til å levere spenningstøtte. Det førte til varmegang i booster, men det ble oppdaget før det gjorde noen skade. Spenningsgrafene under, hentet fra AMS-måleren til kunden viser situasjonen i perioden da varmegangen ble oppdaget. Varmegang ble oppdaget 08.09.2023. Den svarte linja tilsvarer lasten hos kunden og ligger mellom 1kW og 10kW. De andre fargede linjene viser max og min målt for L1, L2 og L3. Vi ser at L1 min noen ganger faller helt ned til under 215V, som fortsatt er over grensene til FOL, men siden dette er målinger fra AMS-måleren er nok de momentane spenningene lavere. Kunden stod ikke fullstendig uten spenningssøtte siden batteriet fortsatt var i drift.



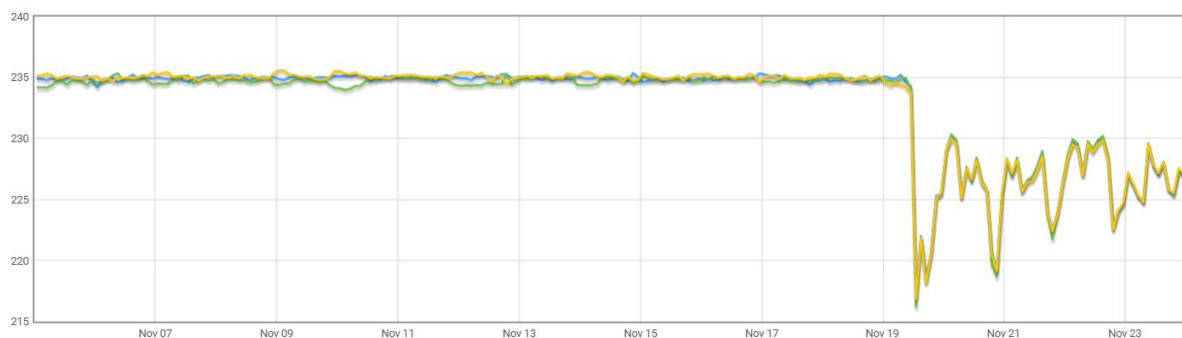
Utover varmegang ble det også oppdaget at batteriet tømte seg for energi hyppigere med den nye styringen enn den gjorde. Under er det nok en spenningsgraf fra kundens AMS-måler. Her er også svart linje kundens belastning mellom 0 og 14kW. De andre fargede linjene er spenningene på L1, L2 og L3. Den 19.11.2023 fikk kunden et plutselig spenningsfall til under grensene beskrevet i FOL. Dette spenningsfallet sammenfaller med en periode der batteriet gikk tomt for energi. Bildet under spenningsgrafen viser batteriets State of Charge (SoC) og levert effekt i samme periode.



Power and SoC



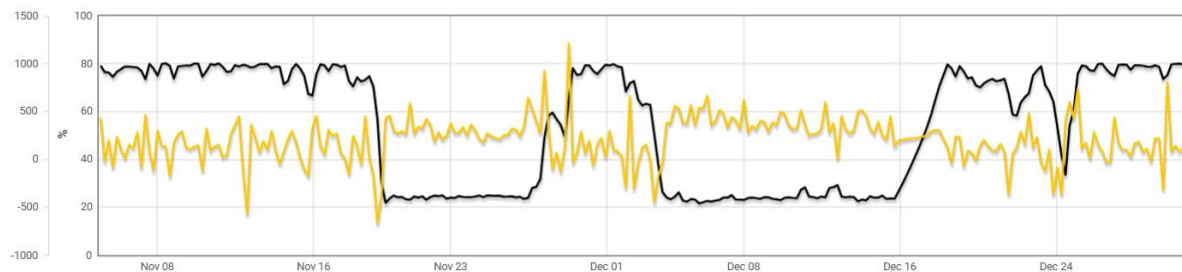
Voltages



State of Charge og levert effekt fra batteriet hos samme kunde.

Ba

Power and SoC



Voltages



Utvidet periode som viser flere hendelser der batteriet gikk tomt. Et spenningsblott viser også tilhørende spenningsfall målt fra batteriet. Disse målingene er mindre nøyaktige og antageligvis høyere enn de reelle spenningene.

Når batteriets State of Charge når 20% prøver batteriet å opprettholde dette nivået og

vil derfor ikke bare slutte å levere energi, men også begynne å lade seg opp i perioder så batteriet ikke skal nå skadelig lavt energinivå. Siden batteriet heller ikke klarte å styre inn boosteren helt riktig fikk det ikke god nok spenningsstøtte langvarig fra boosteren så batteriet kunne hente inn igjen State of Charge i rimelig tid. Dermed hadde kunden en periode der de både stod uten spenningsstøtte i tillegg til å ha en ekstra last i nettet fremfor seg.

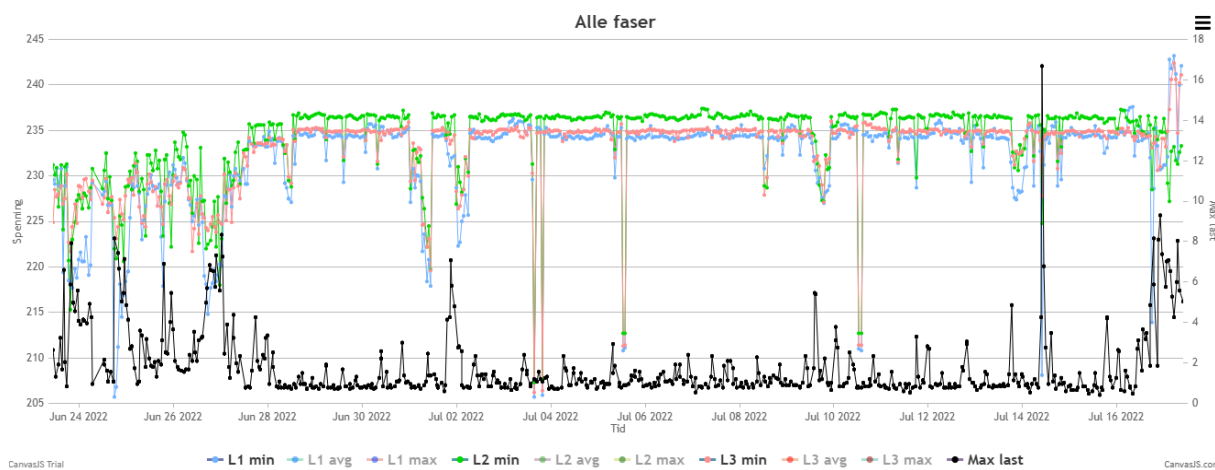
Batteriets software ble reverset til den opprinnelige versjonen i etterkant av disse hendelsene.

Løsningen for introduksjon av 3. harmoniske (H-bro) ble ferdigstilt og ferdig testet på lab hos Magtech. Dessverre ble ikke utjevning av 3. harmoniske realisert, men testingen viste veldig optimistiske resultater på reaksjonstiden på boosteren. Løsningen som tidligere hadde 200ms reaksjonstid hadde i testingen reaksjonstid helt nede i 50ms og på det verste rundt 100ms i de vanskeligste reguleringstestene, altså en reduksjon på mellom 50% og 75%. Med en reduksjon av reaksjonstiden vil boosteren være mye mer aktuell som selvstendig løsning uten batterier. Booster uten batteri vil kunne installeres til ca. 2/5 av kostnaden med batteri.

Rapporten fra testingen i laboratoriet til Greenfox, som leverer styringen til boosteren til Magtech, er konfidensiell og vi får ikke vist noen bilder fra den testingen. Utvikling av en prototype booster med rask regulering har begynt i et annet prosjekt og er skrevet mer om i kapittel 6.

Batterier med høyere C-rate hadde vært en mulighet det hadde vært interessant å undersøke da løsningen med batteri og booster i utgangspunktet får mest gevinst av effekten batteriet klarer å levere og ikke energilageret. Leveransen av disse batteriene dro stadig lenger ut i tid og til slutt ble prosjektet nødt til å sette ned foten og vedta at dette ikke var et spor vi fikk mulighet til å utforske.

Mot slutten av prosjektet ble det også oppdaget at spenningsfall hos denne kunden som ikke samsvarte med kundens last. Nærmere analyse har vist at disse spenningsfallene har inntruffet helt tilbake til prosjektets begynnelse og muligens tidligere. Etter å ha undersøkt kundene lenger opp i nettet er det oppdaget at også en annen kunde på samme kretsen opplever tilsvarende spenningsfall uten at det samsvarer med egen last. Det viser seg at disse spenningsfallene har utgangspunkt hos den tredje og siste kunden på kretsen som sitter nærmest transformatoren. Nøyaktig hva det er som forårsaker disse hendelsene er ikke identifisert, men disse målingene viser at det har foregått hendelser som påvirker spenningskvaliteten i perioden prosjektet har undersøkt løsningen. Dette vil ha hatt en effekt på noen av målingene. Elvia vil foreta tiltak mot denne kunden for å forhindre at disse hendelsene vil påvirke øvrige kunder i kretsen. En mulig løsning kan være å sette kunden som forårsaker hendelse på en egen krets.



Mistenkelig spenningsfall som ikke samsvarer med last hos kunden.

5.4 Teknologi og løsning med Energeas BFS

Styringen av Energeas batteri gjør det mulig å sette en grense for hvor mye strøm (Ilim) det tillates å trekke fra nettet. Det som brukes utover dette strømtrekker blir levert fra batteriet med en responstid på mellom 5 og 20 ms avhengig av om batteriet lades opp eller ut. Det gjør at det blir en mer sømløs overgang fra det nettet leverer til det batteriet leverer og har vist seg å føre til en mer responsiv løsning. Denne styringen har fungert med hell sammen med booster uten samordnet regulering i tidligere prosjekt i Narvestadveien på Mysen i Indre Østfold siden 2020. I Narvestadveien var anlegget bygget for utbedring av to faser for å unngå utfordringer med bruk av systemet på tre faser i et IT-nett. Den raske responstiden har der ist seg effektiv for å filtrere bort (kraftig redusere antall) raske spenningsvariasjoner.

5.4.1 Løkenlia i Nes kommune

Anlegget på Løkenlia ble satt opp i 2023 og ble opprinnelig bygget som to separate systemer, det tilsvarende anlegget i Narvestadveien med to batterimoduler og to like-/vekselrettere, og et eget system for utbedring av den tredje fasen i et separat skap med en like-/vekselretter og en batterimodul. Hvert system hadde sin egen bypass. Systemet ble satt i drift i juni 2023, og ved idriftsetting fungerte systemene som de skulle. En funksjonsfeil med styring av bypass gjorde at Energea og Elvia besluttet seg for å bygge anlegget om noe:

Bypass ble styrt av kontaktorer med 230V styrestrøm. Da vi utførte kortslutningstest skjedde noe som vi burde tenkt på før. Da systemet ble kortsluttet mot kunde falt spenning ned under 150V og bypass-kontaktor løste ut, noe som gjorde at batterisystemet fikk gjenopprettet spenningen og bypass koblet tilbake. Hvorpå dette gjentok seg.

Konklusjon: Vi byttet ut kontaktorene for bypass til 24VDC styrestrøm, og logikk på energiScada for å styre bypass.

5.4.1.1 *Utprøving av «Sikker utkobling»*

Da systemet ble testet ved igangsettingen ble også Energeas løsning for «Sikker utkobling» prøvd ut. «Sikker utkobling» er en funksjon som måler strøm og spenning og bryter forbindelsen til kunde når en kortslutningstilstand detekteres. I testene ble grensen for strøm satt til 10A, og systemet fungerte som ønsket. Strøm og spenningsmålinger ble her avlest fra en kvalitets måler (Schneider iEM31xx) av energiScada™ vha Modbus RTU.

Se rapport «Erfaringer fra idriftsetting Løkenliai Nes», datert 6. juni 2023.

5.4.1.2 *Videre tester i Løkenlia*

Høsten 2023 var systemet til Løkenlia bygget om til bypass å bruke kontaktorer med 24V DC styrespenning styrt av logikk i energiScada.

Systemene er plassert på samme stolpe, men i hvert sitt skap med klimakontroll og brytere. De har en felles PQ-måler, og en felles enhet for å få tilgang til produsentes portal. EnergiScada, som er systemet som fjernavleser PQ-målerne, er lagt inn med et felles VPN for Elvias prosjekt FBI.

Anlegget på Løkenlia er det første der Energea og Elvia har testet utbedring av alle tre faser i et IT-nett med Energeas BFS. Her er Studers anbefalinger fulgt, ved at inverterne har (på L/N) L1/L2, L2/L3 og L3/L1. Her er det også gjort tester av et system for «Sikker utkobling», der kunde blir frakoblet nettet når det detekteres indikasjoner på kortslutning. En slik funksjon kan være viktig i svake nett med lave kortslutningsytelser der Elvia ikke kan være sikker på at sikrninger vil løse ut.

Bypass er stilt inn slik at den aktiveres ved feil på batterisystemet, mens tilbakekobling krever aktiv innsats fra Elvia / Energea. Det vil si at det ikke finnes noen automatisk gjeninnkobling av batteriet om det skulle kobles om til bypass grunnet en feil. Denne innstillingen er etter ønske fra Elvia. Det er verdt å merke at denne funksjonaliteten for Bypass er annerledes enn funksjonen for "sikker utkobling". Bypass eksisterer for å koble rundt batteriet ved feil sånn at batteriet ikke skal ta skade, mens "sikker utkobling" skal ta vare på kundens sikkerhet ved å koble kunden fra nettet om det oppdages mistanke om kortslutning bak batteriet.

Systemet opplevde utfordringer med stabilitet ved at invertere så ut til å erfare uventede strømmer / spenninger som gjorde at de frakobler seg fra nettet. Om to invertere gjør dette faller to faser ut, og systemet går i bypass. Se beskrivelse av utfordring med stabilitet i «Videre arbeid» nedenfor.

Disse hendelsene medførte så store problemer at det i september 2024 ble besluttet å bygge systemet om til å bli likt Narvestadveien. Da Energea 26.9 forsøkte å koble om i

felt ble «sikker utkobling» ved en feil løst ut, og kunden strømløs inntil det ble koblet om i stolpe. I påfølgende prosjektmøte 1. oktober ble det besluttet at utstyret tas ned og sendes EL-Tjeneste på Steinkjer for ombygging med plan om idriftsetting i november.

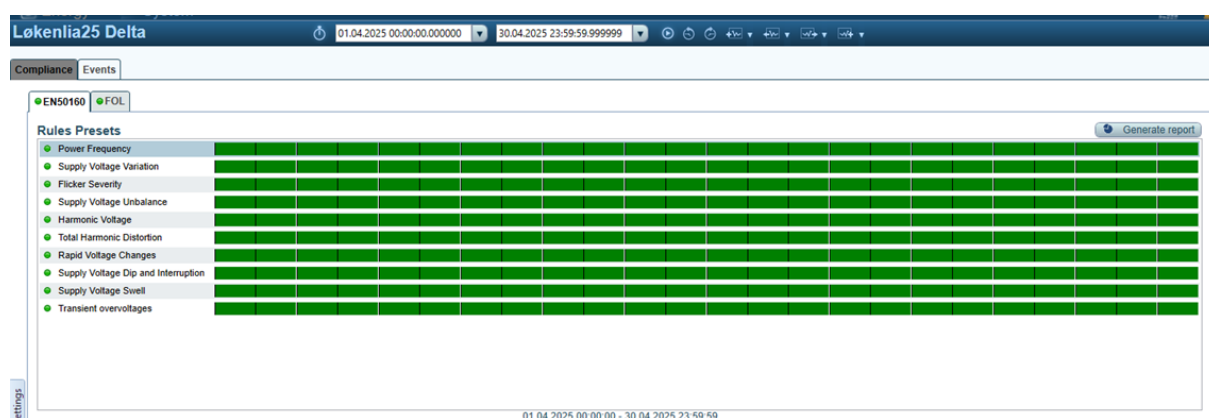
Utstyret ble sendt fra Elvias trafolager 8. oktober, og da ombyggingen var ferdig og utstyret sendt tilbake til Elvia var det blitt desember. Det ble da besluttet å vente til januar med montasje. Først i mars var systemet så montert opp igjen på Løkenlia og klar for nye tester. Systemet er nå svært likt systemet i Narvestadveien.

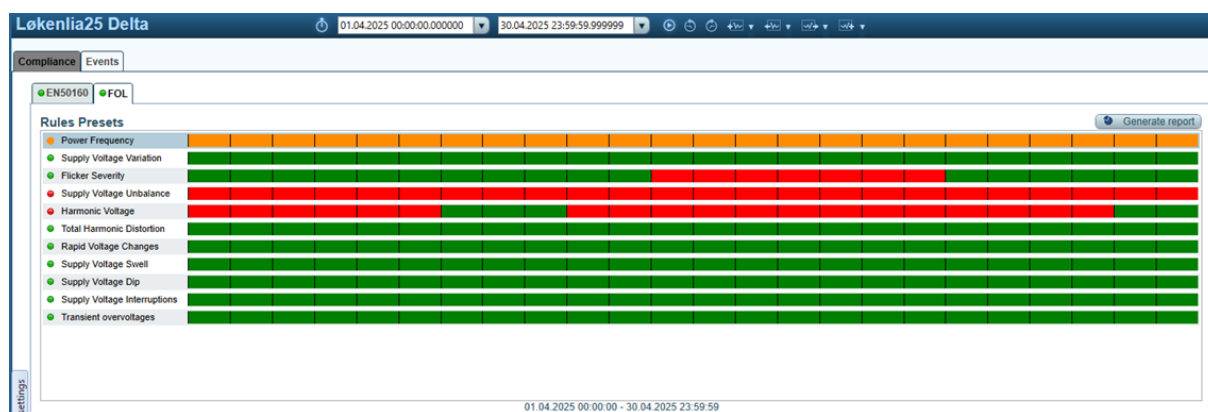
Erfaringer fra Løkenlia etter ombygging:

Systemet som ble tatt i bruk fra mars 2025 har vist den ønskede stabiliteten. Vi har ikke opplevd at systemet går i bypass på grunn av for store avvik i innspenning. Når det gjelder kvalitets-parameterne så har vi i april sett:

- Ingen brudd på kvalitetsmålinger iht. EN50160.
- Brudd på spennings ubalanse og overharmoniske spenninger iht. Fol.
- Sporadisk brudd på flikker iht. Fol.

I plott fra PQSaphire på figurene nedenfor ser vi mer detaljert på en av de verste periodene i april. Her ser vi at kravet til flikker overholdes 98.78% av tiden med maksimalverdi på 1,131 mot kravet på 1.0. Overharmoniske overholdes mer enn 99.69% av tiden på fase 2 og 3 der kravet brytes for 15. harmoniske. Alle andre overharmoniske er innenfor kravene i fol.





5.4.2 Sundavegen/Eidsvoll

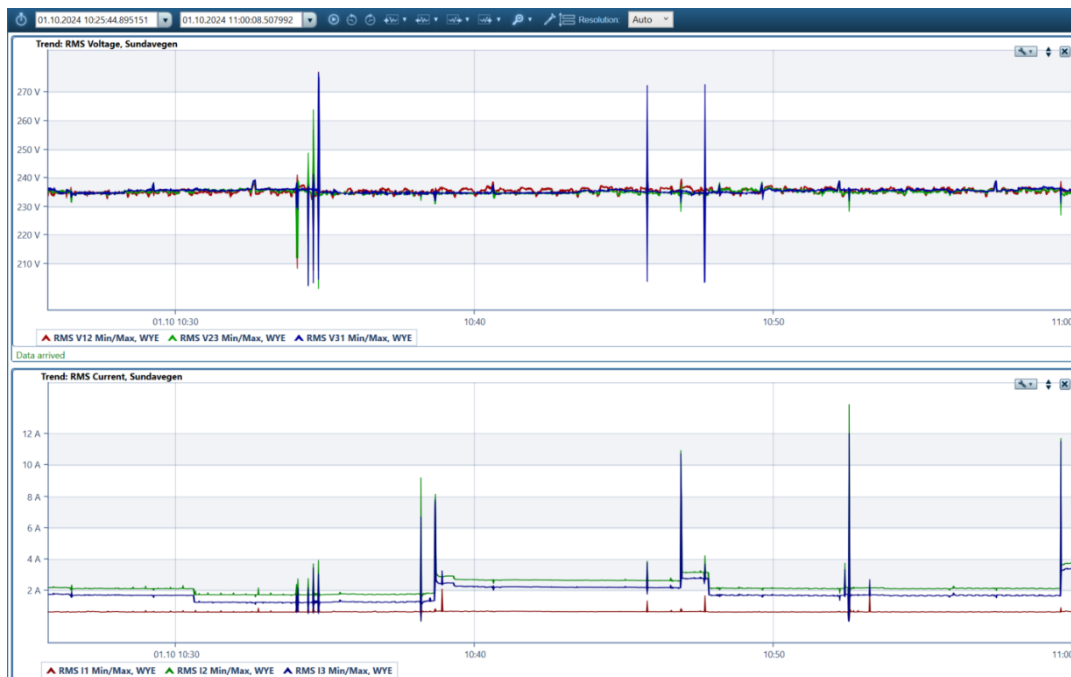
På Sundavegen sto det tidligere et batterisystem fra Pixii sammen med en spenningsbooster fra Magtech. Elvia var ikke fornøyd med samspeilet mellom batterisystemet og spenningsboosteren, og besluttet at batterisystemet fra Pixii skulle erstattes av BFS fra Energea.

I juni 2024 ble det neste BFS fra Energea levert fra tavlebyggeren EL-Tjeneste i Steinkjer. Etter erfaringene fra Nes ble dette bygget som et enhetlig system, med alle batterier i et skap og all styringselektronikk i et annet. Det ble også forenklet ved at funksjonaliteten for avlesning av PQ-måler ble satt inn i et separat målerskap.

Drift og stabilitet

Systemet på Eidsvoll viste likevel noen av de samme utfordringene med stabilitet som i Løkenlia. Målingene ble utover høsten forstyrret av at systemet gikk i bypass på grunn av for lav spenning inn via booster. På Eidsvoll benyttet Energea mye tid med produsenten av like-/vekselretterne i løsningen, og fikk på slutten av året gjort endringer som gjorde systemet mer robust.

Etter at denne forbedringen var på plass, opplevde vi driftsavbrudd også i januar. Denne gang var årsaken for lav temperatur i batteriskapet. Dette ble løst ved at EL-Tjeneste byttet ut og flyttet varmeelementet i batteriskapet. På grunn av dette ble det først mulig å starte testing igjen fra starten av april, og Elvia og Energea avtalte da å forsøke å verifisere om spennings ubalanse kan løses av systemet.



Spenninger og strømmer inn på batterisystem 1. oktober 2024

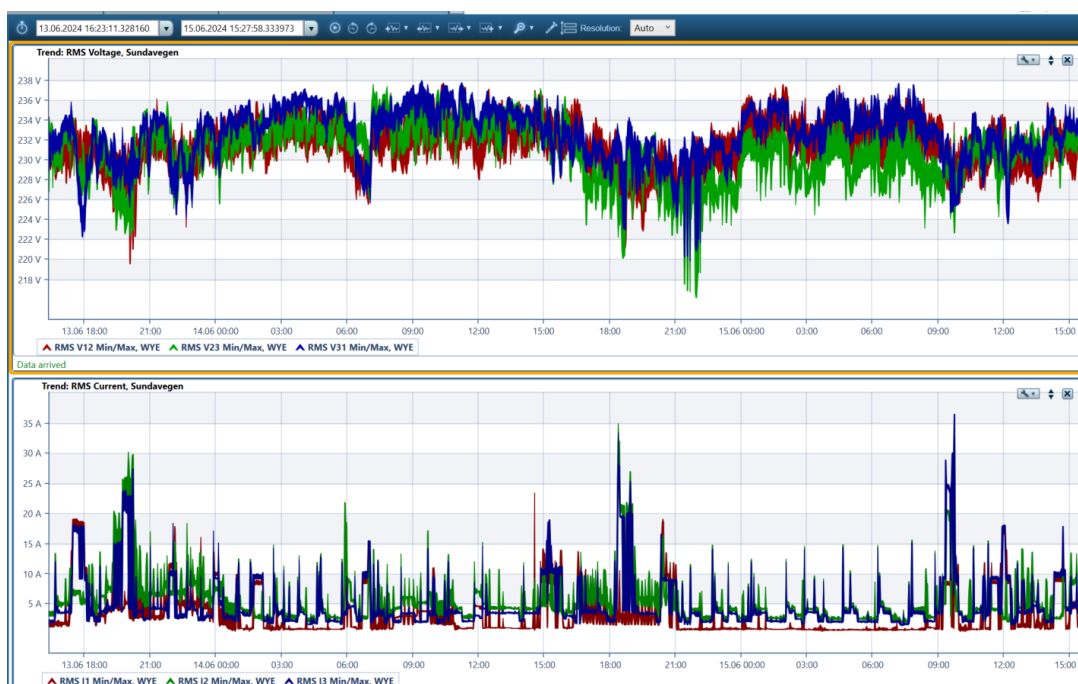
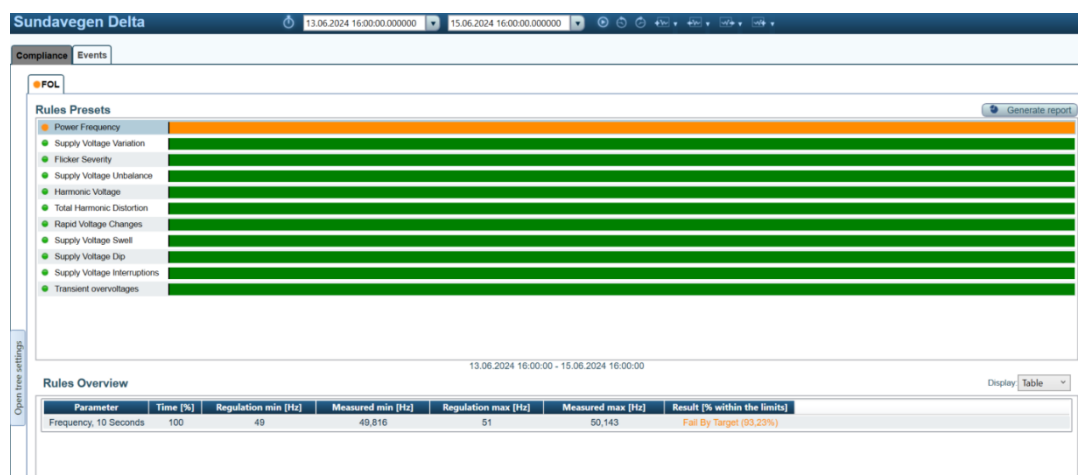
Her er det åpenbare store spenningsendringer både overspenninger og spenningsfall. Siden spenningsmålingene er foretatt på inngangen til batterisystemet kan det antas at det ikke batterisystemet forårsaket disse. Samtidig er det rimelig at disse vil utløse transfer-releet på inngangen. Fra 10. oktober har det i tillegg blir endret instillinger for å unngå feilsituasjoner med transfer-rele. Dette vil gjøre at systemet vil reagere tregere på endringer. Likevel er det fare for at det vil løse ut om spenningen stiger til over 270 V som figur 1 viser.

Observasjoner:

På Sundavegen har vi mange brudd på fol når MVB er innkoblet, med og uten batterisystem:

- Spenningsvariasjon gir brudd på fol uten batterisystem, men ikke med batterisystem.
- Spenningsubalanse gir brudd på fol, men langt færre brudd med batterisystem.
- Flimmer gir brudd på fol, men er langt færre brudd med batterisystem.
- Overharmoniske gir brudd på fol, ingen nevneverdig forskjell med og uten batterisystem
- THD gir brudd på fol, ingen nevneverdig forskjell med og uten batterisystem

Bruddene på fol i (4) og (5) antas å skyldes spenningsbooster. I perioden 13. – 20. juni var kun batterisystemet innkoblet, fordi MVB slo seg av i en uke pga. mange feil på spenningsnivåer ved igangsettingen av batterisystemet. Resultatet nedenfor, som er målinger fra en periode der batteriet har gitt spenningsstøtte på egenhånd, gir en god indikasjon på at batterisystemet kan fungere godt alene:



5.4.3 Erfaring med Energea BFS

Stabiliteten til batterisystemet er for dårlig i trefase IT-nett så det har vært. Hovedutfordringen er at invertere kobler seg fra nettet («transfer-rele» åpnes). Transfer-releet er inngangen til inverteren. Av sikkerhetshensyn har vi deaktivert UPS-modus for å unngå at nettet er spenningssatt ved strømbrydd, slik at batterisystemet ikke leverer spenning ut når inngangen er frakoblet. Dette gir store utfordringer når transfer-releet åpner på to av inverterne.

For å hindre at transfer-rele åpner ved bruk av tre invertere i IT nett har Elvia koblet ned anlegget på Nes så det kan bli bygget om til et enklere anlegg med to invertere koblet (L / N) mot L1/L2 og L3/L2, og samtidig sette «Sikker utkobling» i et eget skap.

I Eidsvoll verk har det vært jobbet videre med Studer for om mulig å løse utfordringene. I dialog med Studer har vi her flyttet spenningsprober til inngangen av batterisystemet for å finne årsak til at invertere kobler fra nettet («transfer-rele» åpnes). Deretter har vi

fra 10. oktober tatt bort funksjonen som gjør at systemet kan leverer effekt ut i nettet når batteriet skal redusere sin State of Charge (SoC) og som kan ha gjort systemet unødig følsomt for spenningsnivåer inn. I tillegg ble en del andre parametere justert i samråd med Studer.

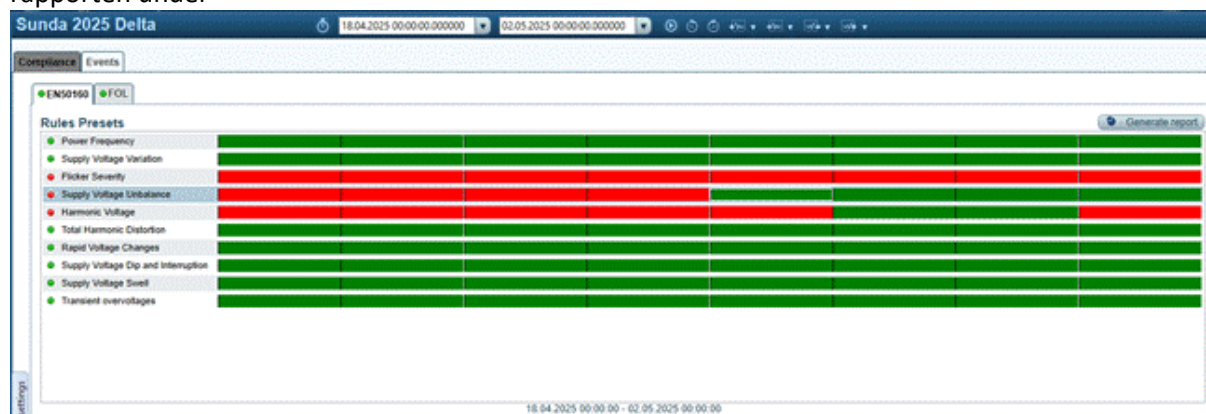
Utstyret i Eidsvoll verk står nå med fast innstilling på I_{max}, altså at det tillatte strømtrekket fra nettet er satt til et statisk nivå og ikke varierer med kundens last, som har vært gjort tidligere.

Energea har vurdert 3 tiltak som kan redusere overharmoniske, som vi har grunn til å tro stammer fra spenningsbooster:

- Å benytte batterisystemet til å styre trafoen som endrer spenning basert på forbruk:
- styre booster med CANbus slik at den legges mest mulig på et «løft» som har lav THD
- Å styre en trafo trinnbar trafo som alternativ til å benytte booster. Dette vil være en løsning som minner litt om OLTC, men at det ikke er snakk om en 22000/230 transformator.
- Å benytte batterisystemet alene, dvs. uten booster eller trafo, som vi har sett at gir god spenningsstøtte på egenhånd.

Erfaring fra spenningsforbedring

Resultatene fra PQ-måling i april/mai viser effekten av arbeidet med forbedring av spenningsubalanse. Fram til BFS ble slått på 22.4 kl. 12 var bare spenningsboosteren i drift. Målt med hensyn til EN50160 ble spenningsubalanse borte etter at BFS ble slått på. Det kommer frem fra rapporten under



Målt med hensyn til FOL var ikke resultatene like gode, da var det fortsatt brudd på også spenningsubalanse etter at BFS ble slått på, som vist under.



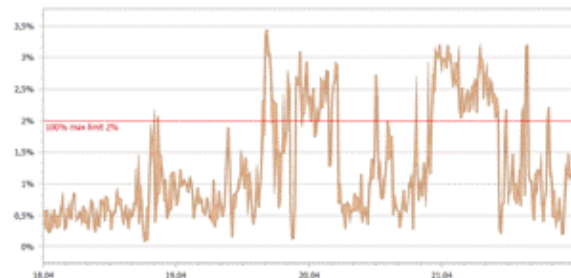
Jobben med å forbedre spenningsubalanse pågikk fram til søndag 27.4 kl 10 da ny algoritme ble lagt inn på BFS. Resultatet var lovende: ubalanse i perioden 18.-22.4 var på inntil 3,4% mens den 28.-2.5 ble redusert til 2,3%. Se rapportene «2025-04 PQ-rapport Sundavegen 18.-22. april 2025» og «2025-04 PQ-rapport Sundavegen 28.4-2. mai 2025» for detaljer.

Supply Voltage Unbalance

Under normal operating conditions, during each period of one week, 100% of the 10 min mean r.m.s. values of the negative phase sequence component (fundamental) of the supply voltage shall be within the range 0% to 2% of the positive phase sequence component (fundamental).

Start time: 18.04.2025 00:00:00 End time: 22.04.2025 00:00:00

Parameter	Time[%]	Regulation max[%]	Measured max[%]	Result [% within the limits]
Negative Sequence Unbalance (U2/U1)	100	2	3.44	Fail (172%)



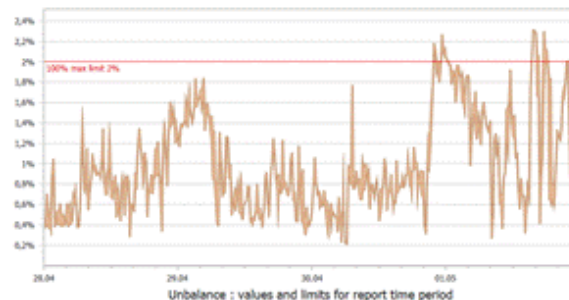
▲ Negative Sequence Unbalance (U2/U1) V3.23 (10 Minutes) Min/Max

Supply Voltage Unbalance

Under normal operating conditions, during each period of one week, 100% of the 10 min mean r.m.s. values of the negative phase sequence component (fundamental) of the supply voltage shall be within the range 0% to 2% of the positive phase sequence component (fundamental).

Start time: 28.04.2025 00:00:00 End time: 02.05.2025 00:00:00

Parameter	Time[%]	Regulation max[%]	Measured max[%]	Result [% within the limits]
Negative Sequence Unbalance (U2/U1)	100	2	2.31	Fail (95.57%)



▲ Negative Sequence Unbalance (U2/U1) V3.23 (10 Minutes) Min/Max

I likhet med på Nes har alt for store deler av testperioden vært skjemma av problemer med stabilitet. Vi har likevel fått gjort så mye testing at vi mener å kunne konkludere:

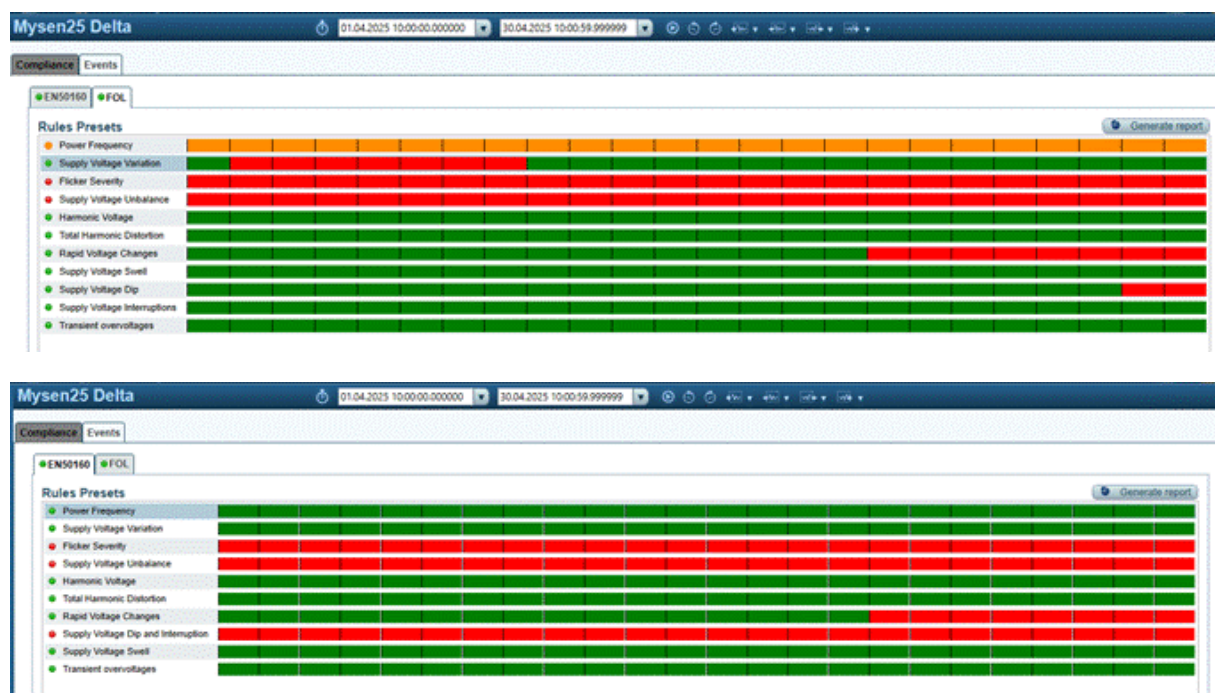
- Spenningsboosteren tilfører overharmoniske og THD som bryter fol og EN50160. Selv om BFS ved å redusere strømtrekket fra nettstasjon gir et bedre miljø for boosteren å operere i er dette ikke tilstrekkelig til å hindre brudd på fol eller EN50160.
- Benyttet alene - altså uten booster – kan BFS levere spenningskvalitet uten brudd på fol eller EN50160 mht. overharmoniske og THD. På målingene fra januar 2025 er det likevel brudd på flikker og på spennings ubalanse.
- Elvia har gjort målinger på naboeiendom og konstatert støy som gir kraftig flikker derfra. Det er grunn til å tro at uten disse forstyrrelsene vil vi ved å bruke BFS kan unngå brudd på fol eller EN50160 på flimmer.
- Riktig styrt kan BFS hindre spenningsubalanse mellom faser som skyldes ulikt strømtrekk på fasene.

5.4.4 Narvestadveien/Indre Østfold

Da Energeas BFS ble testet ut på trafostasjonen KH i Sarpsborg i 2020 var dette det første utprøvingen i sitt slag i Norge. Testene ble vurdert av Elvia (daværende Hafslund Nett) å være så interessante at systemet deretter ble plassert ut i felt i Narvestadveien på Mysen høsten 2020 og har siden stått i drift. På slutten av 2020 ble det laget en PQ-rapport vel et døgns målinger for hver av situasjonene:

- kun BFS
- kun spenningsbooster
- både BFS og spenningsbooster

Detaljene på dette foreligger i rapporten «PQ-report 2.-5.12.2020». Rapporten tyder på at overharmoniske, THD og raske spenningsvariasjoner ikke fører til brudd på fol eller EN50160 med bruk av BFS alene, og at raske spenningsvariasjoner filtreres bort ved bruk av BFS.



Kvalitetsrapporten fra april 2025 med bare BFS i drift uten spenningsbooster viser at anlegget har utfordringer med flikker og spennings ubalanse. Det er usikkerhet på om utfordringene på flikker er feil på kundens utstyr, for eksempel en vannpumpe. Den 22. april ble det gjort en endring på installasjonen som gjorde at automatisk styring av I_{lim} stoppet opp, noe som først ble utbedret 5. mai. Dette gjorde at filtrering av raske spenningsvariasjoner stoppet, og ga også noen for lave spenninger. For detaljer se «PQ-rapport Narvestad 18.-24. april 2025», som viser at det ikke er raske spenningsvariasjoner før dette skjedde 22. april.

5.4.5 Konklusjoner fra utprøving av Energeas BFS

- Spenningsboosteren tilfører overharmoniske og THD som bryter FOL og EN50160. Selv om BFS ved å redusere strømtrekket fra nettstasjon gir et bedre miljø for boosterens å operere i er dette ikke tilstrekkelig til å hindre brudd på fol eller EN50160.
- Benyttet alene - altså uten booster – kan BFS levere spenningskvalitet uten brudd på fol eller EN50160 mht. overharmoniske og THD. For lave spenninger ved høyt forbruk kan oppstå i perioder med lav spenning over tid, ved høyt forbruk.
- Riktig styrt kan BFS hindre spenningsubalanse mellom faser som skyldes ulikt strømtrekk på fasene.
- Det er mulig at BFS tilfører flikker til distribusjonsnettet, men dette kan også skyldes utstyr hos kunde. På Løkenlia/Nes har målinger i april vært uten flikker i 7 av 24 måleperioder.

Like-/vekselretterne måler strøm på L-leder, ikke på N-leder. I et IT-nett vil det gå strømmen mellom faseledere som ikke måles, som gjør både styring og måling mindre pålitelig. I tillegg er det mistanke om at slike feil i målinger kan forårsake noe av ustabiliteten vi har sett. Dersom BFS kan operere i et lokalt TN-nett vil både måling og styring bli langt mer pålitelig, og vi ønsker å vurdere også om systemet blir mer robust driftsmessig.

Dette har Energea brukt til å designe en forbedret versjon av BFS, der selve batterisystemet opererer i et TN-nett, og der man kan trinne spenningene opp og ned uten bruk av en spenningsbooster.

6 Videre planer.

Erfaringene og resultatene fra prosjektet har dannet grunnlag for nye aktiviteter og prosjekter. Dette omfatter:

- Testene som ble utført på den nye styring av booster (H-bro) hadde så positive resultater knyttet til reaksjonstid, til tross for at det ikke løste utfordringene relatert til tredje harmoniske, at et prosjekt for utvikling av en prototype har blitt startet. Dette prosjektet har bakgrunn i en skattefunnsøknad fra Magtech og er et samarbeid mellom Elvia og Magtech. Dersom resultatene fra testing i felt er like positive er det mulig at dette blir den nye styringen på boostere fra fabrikken til Magtech.
- Gjennom testing og erfaringer fra bruk av batterier i felt har Energea foreslått en liknende løsning som FBI allerede tester. Dette er en løsning der batteriet styrer en trinnbare transformator i stedet for en magtech booster. På den måten håndterer batteriet raske spenningsvariasjoner, men om behovet for spenningsstøtte blir langvarig så kan batteriet trinne opp transformatoren i stedet for å styre en booster. Det finnes foreløpig ikke noe prosjekt som skal utforske denne ideen. Denne ideen er såvidt presentert i
- Arbeidet mot REN er enda ikke påbegynt, men om resultatene fra løsningene våre i felt blir gode håper vi på å få på plass et RENblad for installasjoner av denne typen. Det vil gjøre det mye lettere å spre kunnskap om løsningen i organisasjonen og vil gjøre at våre planleggere vil anse den som et mer reelt alternativ til de tradisjonelle utbedringene som vanligvis gjøres.
- Til slutt ønsker vi å få på plass et samarbeid med REN, der det forhåpentligvis kan komme et RENblad for booster og batteriløsningen. Dette vil hjelpe vår egen organisasjon og andre nettselskaper med å ta løsningene i bruk.

7 Overordnet prosjekt- og kontaktinformasjon

Prosjektnavn:	FBI – forbedret boosterinstallasjon
Kort beskrivelse av prosjektet:	Storskala demonstrasjon av spenningsbooster og batteri med samordnet regulering i svake lavspenningsnett.
Prosjekteier:	Elvia AS AS
Prosjektdeltakere:	Elvia, Magtech, Pixii, Energea
Prosjekteier / kontaktinformasjon:	Lars Davidsen Epost: lars.davidsen@elvia.no Mobil: +4790637635
Prosjektleder / kontaktinformasjon:	Thomas Veflingstad Epost: thomas.veflingstad@elvia.no Mobil: 99698397
Prosjektets varighet:	Prosjektperioden er 2019-2024. Oppstart: 01.01.2022 Planlagt ferdig: 01.07.2024
Totalt budsjett:	IDE-prosjektet har hatt et samlet budsjett på 62,675 MNOK Elvia AS sin budsjettandel av dette er 10 MNOK
Finansiering fra offentlig virkemiddelapparat:	ENOVAs program for Storskala demonstrasjon av ny teknologi



Intelligent
distribusjon av
elektrisitet

IDE står for «intelligent distribusjon av elektrisitet» og er et storskala demonstrasjonsprosjekt del-finansiert av Enova gjennom Klima- og energifondet i perioden 2019 til 2025.

Målet med prosjektet er å demonstrere nye teknologier og digitale løsninger i stor skala, verifisere hvordan de fungerer, og estimere nytteverdi ved full skalering til distribusjonsnettet i hele Norge.

Prosjektet samler seks nettselskaper i Norge til felles utvikling gjennom ny teknologi: Elvia, BKK (tidligere BKK Nett), Tensio, Norgesnett, Lede (Tidligere Skagerak Nett), og Glitre Nett (tidligere Agder Energi Nett).

<https://smartgrids.no/prosjekt-ide/>