

Farhad Safdari
Mohamed Almaani
Farshid Jalili

Lønnsom plassering av fjernstyrte brytere i distribusjonsnettet

Analyse for å redusere avbruddstid og KILE-kostnader ved hjelp av regneverktøy og seksjoneringsmetodikk

Bacheloroppgave i Elkraft og Bærekraftig Energi
Veileder: Tor Arne Folkestad
Medveileder: Tor Erik Svendsen
Juni 2023



Farhad Safdari
Mohamed Almaani
Farshid Jalili

Lønnsom plassering av fjernstyrte brytere i distribusjonsnett

Analyse for å redusere avbruddstid og KILE-kostnader ved hjelp av regneverktøy og seksjoneringsmetodikk



Bacheloroppgave i Elkraft og Bærekraftig Energi
Veileder: Tor Arne Folkestad
Medveileder: Tor Erik Svendsen
Juni 2023

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Fakultet for informasjonsteknologi og elektroteknikk
Institutt for elkraftteknikk



Kunnskap for en bedre verden

Sammendrag

I denne oppgaven har det blitt gjennomført en grundig undersøkelse av den optimale plasseringen av fjernstyrte brytere basert på KILE-kostnader, lønnsomhetsanalyser og en regneverktøy. Casestudien ble gjennomført i samarbeid med nettselskapet Elvia AS, og det ble avdekket at de fleste brytere ut i nettet er manuelle, per dagsdato. Samfunnet er i økende grad avhengig av pålitelig elektrisk kraft til ulike formål, og det å oppnå lønnsomhet ved strategisk plassering av fjernstyrte brytere, er av stor betydning.

Lønnsomhet oppnås når KILE-kostnadene og feil-lokaliseringstiden er på sitt høyeste i de ulike seksjonene i avgangen. Denne rapporten har utviklet en metodikk som presenterer viktige parametere som bør analyseres ved investeringer i fjernstyrte brytere i nettet. I rapporten blir det foreslått en metodikk for å ta fornuftige valg om seksjonering i avgangen Bybrua. Metodikken knytter KILE-kostnader til de ulike seksjonene og vurderer optimal plassering av fjernstyrte brytere mellom disse. For å styrke analysen har flere simuleringsverktøy, inkludert NetBas og SimaPro, blitt benyttet. I tillegg har andre programmer blitt brukt for å illustrere avgangene på en oversiktlig måte. Som en del av arbeidet med denne oppgaven ble et regneverktøy utviklet og programmert i excel for å evaluere lønnsomheten ved plassering av fjernstyrte brytere.

Resultatene fra denne casestudien viser en lønnsom investering for avgangen Bybrua med å plassere to fjernstyrte effektbrytere og seks fjernstyrte lastskillebrytere. Det er også forsøkt å utvikle en mal med trinnvise anbefalinger som kan gjelde for tilsvarende avganger. Målet er å skape en forenklet metodikk som kan benyttes av alle nettselskaper for å vurdere lønnsomheten ved plassering av fjernstyrte effektbrytere og lastskillebrytere i distribusjonsnettverket.

Det er viktig å merke seg at lønnsomhetsberegningene kun tar for seg besparelser av KILE og ILE ved plassering av fjernstyrte brytere, og ikke inkluderer andre løsninger for å redusere KILE-kostnadene. Videre forskning og utvikling kan bidra til å utforske og inkludere flere alternativer for besparelse av KILE-kostnader i fremtidige analyser.

Abstract

In this thesis, a thorough investigation of the optimal location of remote-controlled switches has been carried out based on KILE costs, profitability analyses, and a calculation tool. This case study was carried out in collaboration with the network company Elvia AS, and it was revealed that most network switches today are manual. Our society is increasingly dependent on reliable electrical power for various purposes, something which highlights the importance of achieving profitability by correctly placing remote switches. Profitability is achieved when the KILE costs and fault location time are at their highest in the various sections of the departure.

The report stemming from this study has developed a methodology that presents essential parameters to analyze when investing in remote-controlled switches in the network. This study proposes a method of making sensible choices about sectioning in the Bybrua exit: the method links KILE costs to the various sections and assesses the optimal placement of remote-controlled switches between them. Various simulation tools, including NetBas and SimPro, have been used in order to strengthen the analysis. In addition, other programs have been used to transparently illustrate the departures. Finally, a calculation tool was developed and programmed in Excel to evaluate the profitability of placing remote-controlled switches.

The results from the case study show a profitable investment for the Bybrua departure by placing two remote-controlled circuit breakers and six remote-controlled load disconnectors. A calculation tool has been used to assess the profitability of establishing remote controlled switches to reinforce the results. An attempt has also been made to develop a template with step-by-step recommendations that can apply to similar departures. The aim of this project is to create a simplified methodology that all network companies can use to assess the profitability of placing remote-controlled circuit breakers and load disconnectors in the distribution network.

It is important to note that the profitability calculations only consider savings in KILE and ILE from placing remote switches and do not include other solutions to reduce KILE costs. Further research and development can help to explore and have more options for saving KILE costs in future analyses.

Forord

Denne bacheloroppgaven er skrevet som en avslutning på det treårige bachelorstudiet i elektroingeniør med fordypning i Elkraft og Bærekraftig Energi ved Institutt for elkraftteknikk ved Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet (NTNU). Oppgaven har 20 studiepoeng og ble gjennomført i løpet av vårsemesteret 2023.

Oppgaven er gitt i samarbeid med Elvia AS sin Fjernkontrollavdeling og NTNU på Gjøvik. Først vil vi uttrykke vår takknemlighet for det gode samarbeidet med Elvia AS, som har presentert et interessant problem og bidratt med verdifull kunnskap innenfor 11 kV distribusjonsnett.

Videre takker vi vår hovedveileder Tor Arne Folkestad ved NTNU, som har veiledet og støttet oss gjennom hele prosessen. Vi vil også takke vår veileder Tor Erik Svendsen i Elvia AS, for råd og faglig innsikt.

Gjennom dette samarbeidet har vi fått muligheten til å utvide vår forståelse av 11 kV distribusjonsnett og vi har lært mye om utfordringene og løsningene knyttet til fjernstyring av distribusjonsnett. I tillegg vil forskningsresultatene våre forbedre forståelsen og praksisen innenfor dette viktige feltet.

Innhold

Sammendrag	iii
Abstract	iv
Forord	v
Innhold	vi
Figurer	x
Tabeller	xiii
Definisjoner og begreper	xiv
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling og Mål	1
1.3 Fremtidens digitaliserte smarte nett	2
1.4 Framgangsmåte	3
2 Leveringskvalitet i kraftsystemet	4
2.1 Leveringspålidelighet	4
2.1.1 Ikke Levert Energi (ILE)	5
2.1.2 KILE	7
2.1.3 KILE-beregninger	7
2.2 Avbruddsstatistikk	10
2.2.1 Registrering og rapportering	10
2.2.2 FASIT	11
2.2.3 Kompensasjon ved Strø mavbrudd	11
3 Distribusjonsnett	13
3.1 Dagens distribusjonsnett	13
3.1.1 Kabelnett og luftnett	15
3.2 Driftssentralen	17
3.2.1 Driftssentralens datasystem	17
3.3 Driftsforstyrrelser og feilhåndtering	18
3.3.1 Feilsøking	19
3.4 Metodikk for seksjonering	20

4	Komponenter	22
4.1	Brytere	22
4.1.1	Analyse av brytere: Effektbrytere, Lastskillebrytere og Skillebrytere	22
4.2	Automatisk feilretting i elektriske nett	23
4.2.1	Fjernstyrte brytere i distribusjonsnettet	24
4.2.2	Plassering av fjernstyrte brytere	25
4.3	Livssyklusanalyse (LCA) for fjernstyrte brytere	28
4.4	Selektivitet	32
5	Lønnsomhet	34
5.1	Samfunnsøkonomisk analyse	34
5.1.1	Nåverdimetoden	34
5.1.2	Kalkulasjonsmetode	36
6	Kraftsystemdata	37
6.1	NetBas	37
6.1.1	Kart	38
6.1.2	Bruk av programvare	38
6.1.3	Simulering i NetBas	39
7	Casestudie	40
7.1	VIFLAT- Transformatorstasjon	41
7.1.1	Historikk	42
7.1.2	Avbruddskostnad	44
7.1.3	Avgang Bjugstad	44
7.1.4	Avgang Hage	45
7.1.5	Hunton/Skjerven	45
7.1.6	Avgang Odnsvn 412	46
7.1.7	Avgang Østvoldvn 6	46
7.2	Avgang Bybrua	46
7.2.1	Sone 1	48
7.2.2	Sone 2	50
7.2.3	Sone 3	52
7.3	Grovanalyse	53
7.3.1	Besparelse for avbruddstid og ILE	54

7.3.2	Beregning av KILE-besparelse	58
7.3.3	Eksempel på beregning av KILE- besparelse	61
7.4	Lønnsomhetsanalyse av fjernstyrte brytere	63
7.4.1	Optimal plassering av fjernstyrte brytere med regneverktøy	65
8	Resultat av casestudie	68
8.1	Resultat av avgangen Bybrua	68
8.1.1	Resultat sone 1	69
8.1.2	Resultat sone 2	70
8.1.3	Resultat sone 3	71
9	Mal: Metodikk for plassering av fjernstyrte brytere	73
9.1	Trinn 1: Identifisering av installasjonsområder	73
9.1.1	Optimal lokalisering av effektbrytere	74
9.2	Trinn 2: Kostnadsberegning med NNV-metoden	75
9.3	Trinn 3: Vurdering av fjernstyrte brytertyper	76
9.4	Trinn 4: Lønnsomhet ved planlagt montering basert på KILE-kostnader	78
9.5	Trinn 5: Dele i seksjoner og områder	80
10	Diskusjon	81
10.1	Metode	81
10.1.1	Evaluering av casestudiet	82
10.1.2	Seksjonering	83
10.1.3	Lønnsomhetsanalyse	84
10.1.4	Evaluering av Regneverktøy	84
10.1.5	Evaluering av Malen	85
10.2	Elvia utfører tester på nytt utstyr	86
10.3	Leveringssikkerhet av strøm	86
11	Konklusjon	88
12	Veien videre og fremtidig arbeid	90
	Litteraturliste	91
A	Data som kreves for å beregne KILE-kostnader	96
B	LCA simulering for fjernstyrte brytere	99
C	Casestudie	104
D	Historisk data	106

E Sectos polmontert SF6 lastbryter 117

Figurer

2.1	Beskrivelse av hvordan pålitelighet og kostnader påvirker hverandre på en ikke-kvantitativ måte[11].	5
2.2	Beregning av mengden energi som ikke blir levert under et avbrudd, med et radialnett som eksempel [11].	6
3.1	Illustrasjon av radialnett i distribusjonsnett.	14
3.2	Illustrasjon av ringnett i distribusjonsnett.	14
3.3	Sammenhengen mellom feil og avbrudd [31].	19
3.4	Forløp av tid og hendelser under strømavbrudd.	20
4.1	Fjernstyrt bryter plassert slik at den deler nettet i seksjoner av omtrent samme størrelse og belastning.	26
4.2	Ved feil i seksjon Y langt ute, rammes alle sluttbrukere av strømbrudd.	26
4.3	Fjernstyrt bryter plassert i reserveforsyningen.	27
4.4	Fjernstyrt bryter plassert i lange linjer, spesielt i grisgrendte strøk.	27
4.5	Diagram som viser utslippene til Aluminium, bioplastik og kobber.	29
4.6	LCA	30
4.7	LCA recycling	31
6.1	Programvaren NetBas.	37
6.2	Kart i Programvaren NetBas.	38
6.3	Nettskjema for valgte avgang.	39
6.4	Avbruddsrapportering, analyse av avgangens KILE-kostnader.	39
7.1	En-linjeskjema for VIFLAT-TS.	41
7.2	Historikksdata for VIFLAT-Tranformatorstasjon.	42
7.3	Antall feil per år for VIFL- Ts.	43
7.4	KILE-kostnader for VIFLAT-trafostasjon basert på 3år	45
7.5	Fordelt sluttbrukere i de 3 sonene i avgangen Bybrua	47
7.6	Forenkelt oversikt over Sone 1 i Bybrua.	48
7.7	Forenkelt oversikt for Sone 2 bybrua.	50

7.8	Forenkelt oversikt for Sone 3 bybrua.	52
7.9	Eks. seksjon 7 og 8 med fjernstyrt bryter, samt faktorene K_{lengde} og $K_{p,effekt}$	55
7.10	Regneverktøy for bespart ILE basert på K_{lengde} og $K_{p,effekt}$	58
7.11	Kostnaden for et spesifikt avbrudd på referansetidspunktet for ulike kunde- grupper	58
7.12	Bespart avbruddskostnader $K_{\text{år}}$	63
7.13	Lønnsomhetsanalyse av fjernstyrt bryter i mellom seksjon 7 og 8 basert på beregnet besparelse i ILE, avbruddstid og KILE-kostnader	66
8.1	Forenkelt oversikt for Sone 1 bybrua med plasserte fjernstyrtebrytere.	69
8.2	Forenkelt oversikt over sone 2 i Bybrua med plasserte fjernstyrtebrytere.	70
8.3	Forenkelt oversikt over sone 3 i avgangen Bybrua med plasserte fjernstyrte- brytere.	71
8.4	Resultat for plassering av fjernstyrte brytere i avgangen Bybrua.	72
9.1	En eksempel på en-linjeskjema for avgangen Bybrua.	74
9.2	Vurdering av fjernstyrte brytertyper på stegvis.	77
9.3	Illustrerer når i året det er lønnsomt å installere fjernstyrte brytere basert på KILE-kostnader for 2019.	78
9.4	variasjonen i KILE-kostnadene i løpet av en valgt dag per måned i året.	79
A.1	Kostnadsfunksjoner på referansetidspunkt, angitt i 2017-kroner per kW [47].	96
A.2	Korreksjonsfaktorer for variasjon i avbruddskostnad over uka, veid gjennomsnitt [47].	97
A.3	Korreksjonsfaktorer for variasjon i avbruddskostnad over året, veid gjennomsnitt for hver måned [47].	97
A.4	Korreksjonsfaktorer for variasjon i avbruddskostnad over døgnet, veid gjennomsnitt [47].	98
A.5	Korreksjonsfaktorer for varslede avbrudd [47].	98
B.1	Al network.	100
B.2	Copper network.	101
B.3	Bioplastic network.	102
B.4	Recycling network.	103

E.1	Sectos typer fra venstre NXB, NXBD, NXA [48].	117
E.2	Manuell låseinnretning [48].	118
E.3	Låseinnretning for lavt trykk [48].	118
E.4	Manuell låseinnretning [48].	119
E.5	Tetthetsbryter[48].	119
E.6	Tetthetsmåler[48].	119
E.7	Manuelt betjent type 1, ved hjelp av en isolert krokstokk som trekkes opp fra bakken gjennom krok-stokkleveren i oppmekanisme boksen til bryteren..[48].	120
E.8	Fjernkontroll og automatisk seksjonskobler, REC615[48].	120
E.9	Montert direkte på stolpe Sectos av type NXB, kun denne typen kan monteres direkte på stolpe med diameter 180 mm til 250 mm[48].	120

Tabeller

2.1	krav til kompensasjon	12
3.1	Forskjeller mellom høyspent og lavspent fordelingsnett [19].	15
3.2	Forskjellen mellom kabelnett og luftnett [24].	16
4.1	Sammenligning av brytertype [33] [35].	23
4.2	Viser miljøpåvirkning i CO2 ekvivalenter hver av metallene slipper ut.	29
7.1	Utetid ved automatisk utkobling VIFLAT- Trafostasjon f.o.m 06.03.2019 t.o.m 14.08.2022.	48
7.2	Trafostasjon, energiforbruket og antall sl-brukere i sone 1 VIFLA- Bybrua. . .	49
7.3	Trafostasjon, energiforbruket og antall sl-brukere i sone 2 VIFLA- Bybrua. . .	51
7.4	Trafostasjon, energiforbruket og antall sl-brukere i sone 3 VIFLA- Bybrua. . .	53
7.5	Formler og forklaringer for justert feilsøkingstid, manuell feilsøkingstid, justert effekt og ny ILE for manuell feilsøkingstid.	55
7.6	Informasjon og kilder for analysen av ILE og avbruddstid	57
7.7	Pris for fjernstyrte komponenter (ABB), fra Elvia AS.	63
9.1	Forenklet seksjoneringsmetodikk med scenario.	80
B.1	Impact category.	99
C.1	Kostnaden for avbrudd per sluttbrukergruppe [kr/kWh].	104
C.2	KILE-kostnader pr 14/11-2019 fra kl 12 til kl 13.	104

Definisjoner og begreper

I denne teksten presenteres definisjoner knyttet til feil og avbrudd i det elektriske kraftsystemet. Disse definisjonene er hentet fra Statnett, og er utarbeidet i samarbeid med en referansegruppe som består av en representant fra NVE, Statnett, Energi Norge og SINTEF Energi, samt tre representanter fra ulike nettselskap. Definisjonene vil være nyttige for å forstå begrepene som brukes innenfor kraftsystemet, og kan bidra til å øke forståelsen for hvordan ulike feil og avbrudd kan påvirke kraftsystemet og samfunnet som helhet [1].

Forkortelse	Ordforklaring
RME	Reguleringsmyndighetene for energi
FASIT	Feil og avbruddstatistikk
ILE	Ikke levert energi
KILE	Kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi
NVE	Norges vassdrags- og energidirektorat
RTU	Remote terminal unit
Trafo	Transformator
Ts	Transformatorstasjon
Ns	Nettstasjon
FSB	Fjernstyrte brytere
LCA	Livssyklusanalyse
BE	Effektbryter
BL	lastskillebryter
BS	Skillebryter
GIK	Automatisk gjeninnkobling

Feil: Er når en enhet ikke er i stand til å utføre sin funksjon på riktig måte eller har nedsatt evne til å gjøre det.

Primærfeil: En feil som starter en driftsforstyrrelse bør registreres som primærfeil i FASIT-systemet. Det vil si at den første feilen som oppstår skal rapporteres som primærfeilen.

Sekunderfeil: Feil som enten oppstår eller blir oppdaget som en konsekvens av en primærfeil.

Varig feil: En feil som krever korrigerende vedlikehold for å bli løst. For å gjenopprette normal drift av anleggsdelen må en varig feil repareres eller justeres.

Forbigående feil: En forbigående feil kan løses ved å gjeninnkoble bryteren, erstatte utløste

sikringer eller kvittere signal, uten behov for ytterligere tiltak.

Feilårsak: Faktorer som resulterer i feil, kan være relatert til spesifikasjon, design, produksjon, installasjon, drift eller vedlikehold av en enhet. Disse faktorene kan være årsaken til feil som oppstår.

Reparasjonstid: Tiden det tar fra reparasjonen starter til anleggsdelen er funksjonell igjen og klar til drift.

Seksjoneringstid: Tidsrommet fra seksjoneringen begynner til anleggsdelen med feil er isolert mellom de nærmeste bryterne til feilstedet.

Grovseksjoneringstid: Tidsrommet fra seksjoneringen begynner til minst 50% av belastningen som ble koblet ut, har en spenning på over 90% av den avtalte spenningen.

Finseksjoneringstid: Tiden det tar fra grovseksjoneringen er fullført til anleggsdelen med feil er isolert mellom de nærmeste bryterne til feilstedet.

Avbrudd/ Avbrot: En tilstand der det ikke blir levert elektrisk energi til en eller flere sluttbrukere, og der alle forsyningsspenninger er under 5% av det avtalte spenningsnivået.

- **Kommentar:** Avbrudd kan klassifiseres som langvarige (over 3 minutter) eller kortvarige (3 minutter eller mindre), og som varslede eller ikke-varslede avbrudd.

Varslet avbrudd/ Varslet avbrot: Avbrudd som er planlagt og hvor de berørte sluttbrukerne er informert på forhånd.

- **Kommentar:** Dersom det ikke er gitt varsling minst 24 timer på forhånd, betegnes det som ikke-varslet.

Ikke varslet avbrudd/ Ikke varslet avbrot: Avbrudd som oppstår på grunn av driftsforstyrrelse eller planlagt utkobling, hvor de berørte sluttbrukerne ikke har blitt informert på forhånd.

Avbruddsvarighet / Avbrotvarsighet: Dette refererer til tiden som går fra et avbrudd oppstår, til en sluttbruker igjen har spenning på minimum 90% av det avtalte spenningsnivået.

Lengste avbruddsvarighet / Lengste avbrottsvarighet: Refererer til varigheten av et avbrudd for den sluttbrukeren som har vært uten strømforsyning i lengst tid, i forbindelse med en driftsforstyrrelse eller planlagt utkobling.

Varighet av hendelse / Varighet av hending: Tidsperioden fra første bryterkobling under en driftsforstyrrelse eller planlagt utkobling til enten den siste sluttbrukeren har spenning over 90% av avtalt spenningsnivå eller til normal drift er gjenopprettet

1 | Innledning

1.1 Bakgrunn

Elvia er ansvarlig for Norges største nettområder og leverer strøm til rundt to millioner mennesker i Oslo, Viken og Innlandet. Med en forsyning på 66 000 km strømkabler oppstod selskapet som følge av Eidsiva Nett og Hafslund Nett i 2020 [2]. utfordringene knyttet til å drive et strømnnett effektivt og pålitelig har ført til et økende behov for teknologier som fjernstyring. Fjernstyring kan hjelpe nettselskaper med å øke effektiviteten gjennom å øke sikkerheten og redusere nedetiden.

Elvia As vil vite hvor det er lønnsomt å installere fjernstyrte brytere i et 11 kV distribusjonsnett. En del av Elvia's strømnnett på Gjøvik er brukt som case i denne oppgaven.

1.2 Problemstilling og Mål

“Lønnsom plassering av fjernstyrte brytere i distribusjonsnettet: Analyse for å redusere avbruddstid og KILE-kostnader ved hjelp av regneverktøy og seksjoneringsmetodikk”

Denne bacheloroppgaven har som mål å undersøke lønnsomheten av fjernstyring i distribusjonsnett og vurdere behovet for fjernstyrte brytere gjennom en analyse av kriterier som KILE- kostnader, utetid, kundetype, og investeringskostnader.

Gjennom denne analysen vil oppgaven forsøke å:

- Identifisere de mest lønnsomme stedene for etablering av fjernstyrte brytere i strømnettet, med fokus på casen i Gjøvik.
- Koble KILE-kostnader til de forskjellige seksjonene og evaluere den beste plasseringen av fjernstyrte brytere mellom dem.
- Vurdere behovet for ulike typer brytere, som effektbrytere og lastskillebrytere og deres innvirkning på kriteriene nevnt ovenfor.
- Komme med anbefalinger til nettselskaper om hvordan de kan optimalisere bruken av fjernstyring i nettverket sitt for å øke effektiviteten og sikkerheten og redusere nedetid

og kostnader.

- Utvikle et regneverktøy som beregner ILE-og KILE-besparelse ved plassering av nye brytere. Dermed sammenligne besparelser i avbruddskostnader (KILE) med investeringskostnader.

Ved å nå disse målene kan oppgaven bidra til en bedre forståelse av hvordan fjernstyring kan gjennomføres og optimaliseres i strømmettet og mulig forbedre driften av elektriske nett for Elvia og deres kunder.

1.3 Fremtidens digitaliserte smarte nett

Fremtidens smarte nett i Norge vil være avgjørende for et mer moderne og effektivt strømmnett. Et av målene ved å utvikle smartnett-teknologi er å gjøre driften og planleggingen av fremtidens strømmnett langt mer automatisert og fjernstyrt. Gjennom avansert teknologi kan mange strømfeil oppdages og løses før de oppstår, noe som øker påliteligheten til strømmettet og reduserer tapskostnadene [3].

Fjernstyring av elektriske komponenter i distribusjonsnettet utgjør en betydelig utfordring, gitt kompleksiteten i å samle og sammenstille data fra forskjellige kilder. Disse dataene er ofte vanskelig tilgjengelige, noe som forsterker utfordringen. I den digitale tidsalder er det fortsatt mange prosesser som krever manuell innsamling av data, noe som er ressurskrevende og tidkrevende. Dette fører til at mange nettselskaper ikke har tilstrekkelig personell til å håndtere disse oppgavene effektivt, noe som kan påvirke nøyaktigheten og påliteligheten til fjernstyringssystemene.

For mange nettselskaper er prioritering av vedlikehold og reinvesteringer en aktuell utfordring. Dette er fordi de må balansere behovet for å opprettholde en sikker og pålitelig nettverksinfrastruktur med behovet for å redusere kostnadene. Samtidig må de også vurdere nye teknologier og utfordringer med å oppgradere nettet for å møte endringene i kraftbehovet og samfunnets økte avhengighet av elektrisitet. Valgene de tar nå vil ha stor innvirkning på nettverkets ytelse og funksjonalitet i fremtiden, og de må ta informerte beslutninger for å sikre at nettverket er tilpasset sluttens behov [4].

1.4 Framgangsmåte

Fremgangsmåten for å utføre deler av bacheloroppgaven involverte bruk av ulike verktøy og programvare.

NetBas er et komplett nettbasert informasjonssystem basert på GIS-teknologi, som gir praktiske verktøy for anleggsdokumentasjon, planlegging og analyse. I tillegg sørger det sentrale nettarkivet for at all nødvendig informasjon om komponenter og anlegg er tilgjengelig og gir bedre beslutningsstøtte og modeller [5]. Programvaren ble benyttet i oppgaven for å analysere distribusjonsnett med tanke på KILE-kostnader, varighet av utetid, type sluttbrukere, max/min effektbehovet, ILE, komponenter og etc.

Microsoft Visio er en vektorgrafisk applikasjon som er spesielt egnet for å lage diagrammer og illustrasjoner, inkludert tekniske tegninger og nettverkskart [6]. I denne oppgaven ble programvaren brukt til å tegne en-linjeskjema, nettverksdiagrammer og plantegninger for nettverket.

Microsoft Excel er et regnearkprogram som er mye brukt til å lagre og behandle data. I denne oppgaven ble Excel brukt til å lagre rådata som var hentet fra NetBas. Videre ble dataene analysert og behandlet i Excel for å utlede relevant informasjon. Til slutt ble det utviklet et regneverktøy.

Simapro er en programvare som tilbyr funksjonalitet for å utføre LCA (Livssyklusanalyse), og gir mulighet til å vurdere miljøeffekten av produktutvikling og bærekraftsmål. Programmet har en rekke bruksområder, som inkluderer analyse av karbon- og vannutslipp, økodesign av produkter, utarbeidelse av miljøvaredeklarasjoner (EPD) og nøkkelindikatorer (KPIs) for miljøprestasjon [7]. Programmet ble brukt i forbindelse med analysere miljøprestasjonene til brytere i utredningssammenheng.

Samlet sett bidro disse programvarene til å gjøre dataanalyse og modellering enklere og mer effektivt, og de var viktige verktøy for å utføre ulike analyser og modelleringer i bacheloroppgaven.

2 | Leveringskvalitet i kraftsystemet

Leveringspålitelighet er et essensielt mål på kvaliteten og tilgjengeligheten av elektrisk energi i et kraftsystem. Det handler om hvor ofte og hvor lenge strømavbrudd forekommer, og har direkte innvirkning på både kommersielle og private brukere. En høy leveringspålitelighet innebærer minimal forstyrrelse i strømforsyningen, noe som er kritisk for å opprettholde en stabil og pålitelig energitilførsel [8].

I henhold til Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet, er nettselskaper pålagt å registrere data om både kortvarige og langvarige strømavbrudd ved rapporteringspunktene i sitt eget nett. Dette gir et nøyaktig og pålitelig bilde av leveringspåliteligheten og bidrar til å identifisere og forstå årsaker til strømavbrudd, som igjen kan brukes for å forbedre og opprettholde kvaliteten på kraftleveransen [9].

For å sikre enhetlighet og nøyaktighet i rapporteringen, er det satt kravspesifikasjoner for hvordan disse dataene skal registreres og rapporteres. Disse spesifikasjonene følger standardene som er satt i FASIT-systemet, et felles analyse- og styringsverktøy for strømavbrudd i Norge. Slik standardisering sikrer at dataene som samles inn er sammenlignbare over tid og mellom ulike nettselskaper, og gir et solid grunnlag for analyse og forbedring av leveringspåliteligheten [9].

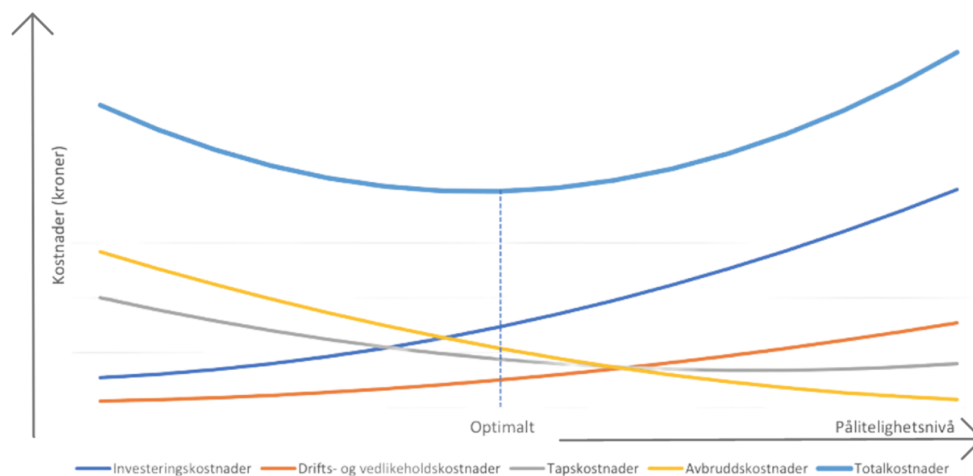
2.1 Leveringspålitelighet

Leveringspålitelighet handler om hvor ofte det er tilgang på strøm, og det kan måles ved hvor ofte strømbrudd oppstår og hvor lenge disse varer [10].

Leveringskvaliteten i et kraftsystem måles gjennom forsyningssikkerhet, spenningskvalitet og kundeservice. Avbrudd i strømforsyningen gjør forsyningssikkerheten dårlig, mens bare noen få avbrudd indikerer god forsyningssikkerhet. Derfor er avbruddsstatistikk et verdifullt verktøy som brukes til å overvåke og evaluere leveringssikkerheten i Norge og hos hvert nettselskap [10].

Prinsippet om optimalisering av leveringspåliteligheten, som fremstilles i figur 2.1, fremviser

sammenhengen mellom pålitelighet og kostnader.



Figur 2.1: Beskrivelse av hvordan pålitelighet og kostnader påvirker hverandre på en ikke-kvantitativ måte[11].

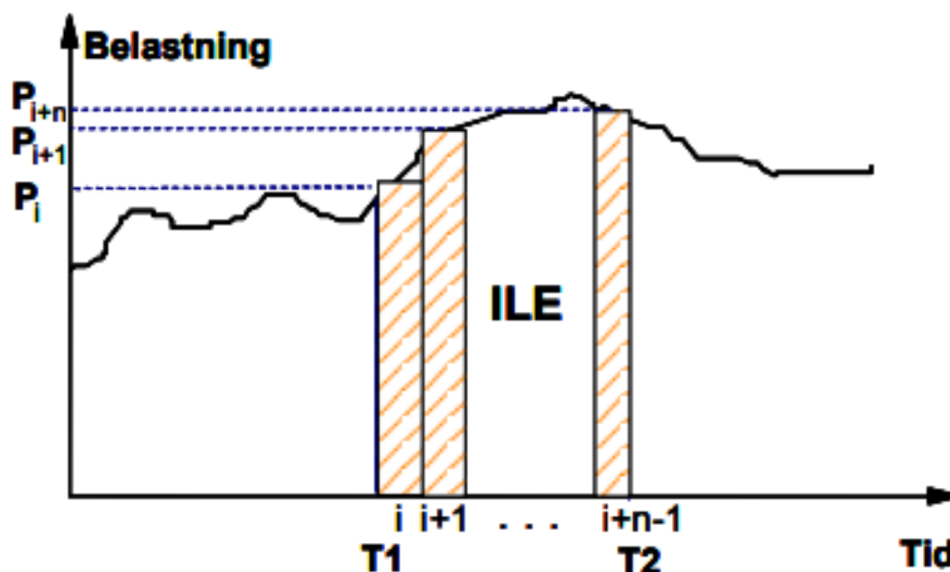
Et høyere pålitelighetsnivå enn det optimale, til høyere i figuren, medfører overinvesteringer. Dette betyr at det brukes mer ressurser enn nødvendig for å oppnå et gitt pålitelighetsnivå, noe som kan være økonomisk ineffektivt. På den annen side, et lavere pålitelighetsnivå, til venstre for det optimale punktet, indikerer at det er underinvestert med tanke på pålitelighet. Dette kan føre til hyppigere avbrudd og dårligere leveringskvalitet for sluttbrukerne. Målet er derfor å finne det optimale punktet der både pålitelighet og kostnader balanseres på en måte som gir best mulig nytteverdi for både nettselskapet og sluttbrukerne.

Leveringspålitelighet kan variere avhengig av sluttbrukernes beliggenhet i nettet, noe som kan skape forskjeller mellom sentrale og grisgrendte strøk. Sentrale områder har en tendens til å oppnå høyere pålitelighet til lavere kostnader enn avsidesliggende områder.

Når både husstander og industri er tilknyttet samme forsyningsgren, øker avbruddskostnadene for nettselskapet. Dette fører til høyere pålitelighetsnivåer for sluttbrukere i dette området, mens de som befinner seg lenger ut på radiale linjer kan oppleve lavere pålitelighet. Dette viser hvordan avbruddskostnader påvirker investeringer og prioriteringer i nettet.

2.1.1 Ikke Levert Energi (ILE)

Ikke levert energi (ILE) er en mengde elektrisitet som ikke leveres til sluttbrukeren grunnet til avbrudd i strømnettet. Strøm avbruddene kan skyldes tekniske problemer, vedlikehold,



Figur 2.2: Beregning av mengden energi som ikke blir levert under et avbrudd, med et radialnett som eksempel [11].

ekstreme værforhold eller andre uforutsette hendelser. Beregningen av ILE er viktig for å vurdere påliteligheten og kvaliteten til tjenestene som tilbys av nettverket. Beregningen av ILE tar hensyn til antall avbrudd, varigheten av hvert avbrudd og tilhørende belastning (målt i kW) som påvirkes av avbruddet. Ved å kvantifisere ILE kan nettselskapene bedre forstå hvordan infrastruktur og tjenester fungerer. Dette gir dem en mulighet til å redusere ILE og forbedre kvaliteten på strømforsyningen og dermed øke kundetilfredsheten og redusere økonomiske tap [12]. Formel 2.1 benyttes for å dele inn avbruddstiden fra T_1 til T_2 , og beregner ILE.

$$ILE_j = \int_{T_1}^{T_2} \Delta P(t) dt \approx \sum_{i=1}^n \Delta P_i r_i \quad [12] \quad (2.1)$$

ILE_j representerer det totale energitapet som skyldes avbrudd på strømforsyningen i område

T_1 og T_2 er henholdsvis start- og sluttidspunktene for tidsperioden der avbruddet fant sted

$\Delta P(t)$ er avbruddseffekten på tidspunkt t målt i kilowattimer per time (kWh/h)

n er antall tidsintervaller i perioden mellom T_1 og T_2

ΔP_i er den midlere avbruddseffekten i tidsintervall i målt i kWh/h

r_i er varigheten av tidsintervall i , målt i timer

2.1.2 KILE

KILE-ordningen, som står for kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi, ble innført i 2001 og kommer fra forskriften om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariffen [13][14]. En KILE-sats representerer avbruddskostnaden for et avbrudd med gitt varighet i kr/kW. Myndighetenes ansvar er å sørge for at nettselskapene drifter på en mest mulig samfunnsøkonomisk måte, og dette reguleres av NVE. KILE omfatter kortsiktige og langvarige avbrudd i elektriske anlegg med spenninger over 1 kV, som kan varsles og uanmeldt og stammer fra planlagte utkoblinger eller driftsforstyrrelser. Årlig utgjør de totale KILE-utgiftene cirka 800 millioner kroner i Norge. Gjennom KILE-ordningen er det lagt vekt på at nettselskapene tar samfunnsøkonomiske hensyn i sine bedriftsøkonomiske vurderinger [12]. Inntektsrammen påføres den estimerte samfunnsøkonomiske kostnaden ved avbrudd i nettet, og avbruddskostnadene blir en direkte kostnad for netteier.

KILE-ordningen gir netteieren en økonomisk motivasjon til å investere i og vedlikeholde strømmettet for å redusere avbrudd og dermed minimere avbruddskostnadene. KILE-kostnaden inkluderes som en del av selskapets inntektsramme. Når nettselskapet pådrar seg KILE-kostnader i løpet av et gitt år, vil disse kostnadene bli trukket fra inntektsrammen. Dette betyr at nettselskapet ikke kan ta betalt for den tapte energien fra sluttbrukerne, men heller må bære kostnadene selv.

Som et resultat vil nettselskapet ha mindre inntekt å arbeide med og må dermed prøve å redusere kostnadene for å opprettholde lønnsomheten. Dette gir også nettselskapet en økonomisk motivasjon til å forbedre driftsstabiliteten og dermed redusere KILE-kostnadene, siden det vil øke nettselskapets inntekter i fremtiden.

2.1.3 KILE-beregninger

I kapittelet 8 (casestudiet) benyttes programmet NetBas for å utføre automatiske beregninger av KILE-kostnadene. Funksjonene som ligger til grunn for disse beregningene blir presentert i dette delkapittelet. Her vil det bli belyst hvordan ulike kundegrupper, tidspunkt og varigheter av avbrudd påvirker KILE-kostnadene. Sammenhengen mellom disse faktorene

bør studeres, ettersom de har en direkte innvirkning på de samfunnsøkonomiske kostnadene (kapittel 5) relatert til strømavbrudd.

Kostnadene for strømavbrudd beregnes for alle hendelser som oppstår i løpet av et år. Hvert enkelt avbrudds kostnader summeres deretter for å gi den totale årlige KILE-kostnaden for nettselskapet. Ved å beregne denne totale kostnaden får nettselskapet et estimat av hvor mye det vil koste å redusere antall avbrudd og forbedre strømmettet for å unngå slike kostnader i fremtiden.

For å gi et nøyaktig bilde av den økonomiske konsekvensen av avbrudd for ulike sluttbrukere, blir disse delt inn i kundegrupper med forskjellige avbruddssatser som er presentert i vedlegg A figur A.1. Dette innebærer at noen kundegrupper kan være mer sårbare for avbrudd enn andre, og dermed oppleve større økonomiske tap som følge av avbruddet. Eksempelvis vil konsekvensene være større for industrikunder enn for husholdninger når avbrudd skjer i arbeidstiden (vedlegg D).

Tidspunkt og varighet for avbrudd er en viktig faktor som nettselskapet bør analysere. Grunn til det er at avbrudd kan oppstå i perioder med høy etterspørsel. I vinter perioden blir strøm forbruket for oppvarming er betydelig høyere. Dette vil forårsake større økonomiske konsekvenser sammenlignet med avbrudd som skjer i perioder med lavetterspørsel. Varigheten av avbruddet påvirker også de økonomiske konsekvensene, ettersom lengre avbrudd vil føre til større økonomiske tap for sluttbrukerne.

KILE-ordningen tar hensyn til både kortvarige og langvarige strømavbrudd. Kortvarige avbrudd defineres som avbrudd med en varighet på opptil tre minutter [11], mens langvarige avbrudd er de som varer lenger enn tre minutter. Inkluderingen av begge typer avbrudd i KILE-ordningen gir en mer omfattende oversikt over avbruddssituasjonen og deres økonomiske konsekvenser. Dette gjør at nettselskapene kan vurdere og prioritere tiltak for å redusere både kortvarige og langvarige avbrudd.

$$K_j = k_{p,ref} \cdot f_{K,m} \cdot f_{K,d} \cdot f_{K,h} \cdot P_{ref} \quad [11] \quad (2.2)$$

K_j er kostnaden for avbrudd på tidspunktet j .

$k_{p,ref}$ er spesifikk avbruddskostnad (kr/kW) på referansetidspunktet for en gitt varighet.

$f_{K,m}$ er korreksjonsfaktor for avbruddskostnad i måned.

$f_{K,d}$ er korreksjonsfaktor for avbruddskostnad på dag.

$f_{K,h}$ er korreksjonsfaktor for avbruddskostnad i time.

P_{ref} er brutt effekt i rapporteringspunktet (kWh/h).

I kapittel 9 blir den årlige avbruddskostnaden for et seksjon i casestudiet estimert ved hjelp av leveringspålitelighetsanalyser. Dette er en teknisk metode som benyttes for å vurdere påliteligheten og tilgjengeligheten av strømmettet. Formel 2.3 anvendes for å beregne den årlige avbruddskostnaden for et seksjon i nettet, og gir dermed et grunnlag for å vurdere og forbedre strømmettet med hensyn til driftsstabilitet og leveringskvalitet.

$$\text{KILE}_{\text{år}}(i) = P \cdot k_{p,ref}(r) \cdot \lambda(i) \quad [11] \quad (2.3)$$

$\text{KILE}_{\text{år}}(i)$	Årlig KILE-kostnad for seksjon i .
P	Effektbehovet for seksjon i (i kW).
$k_{p,ref}(r)$	KILE-sats for referanseperiode r (kr/kW).
$\lambda(i)$	Estimert årlig avbruddsfrekvens for seksjon i .

KILE-kostnadene i dette casestudiet simuleres ved hjelp av programmet NetBas, og denne forenklete ligningen gir kun en grunnleggende forståelse av beregningsmetoden som benyttes.

2.2 Avbruddsstatistikk

RME publiserer årlig oppdatert statistikk over avbrudd rapportert av alle norske nettselskaper. Statistikken omfatter avbrudd forårsaket av hendelser (driftsforstyrrelser og planlagte utkoblinger) i det norske kraftnettet og er fordelt på fylker. Det er publisert avbruddsstatistikk fra 2014 som strekker seg tilbake til 1995 [15].

Statistikk har vært av interesse for mange forskjellige grupper:

- Nettselskapet skal informere sine kunder om forventet leveringskvalitet i området etter energiloven.
- RME skal ha informasjon for å følge med på om nettselskapene oppfyller kravene i energiloven.
- RME skal ha informasjon for å følge med på om nettselskapene oppfyller kravene i energiloven.
- Nettselskaper trenger detaljert informasjon om sine tilknytningspunkter for å planlegge, bygge og drifte.

Nettet med en kvalitet tilpasset sluttbrukernes behov. Sluttbrukere kan rekvirere mer detaljert avbruddsstatistikk for enkelttilknytningspunkter direkte fra nettselskapet de er tilknyttet, som det fremgår av § 4-2 i forskrift om leveringskvalitet [15].

2.2.1 Registrering og rapportering

Nettselskaper skal registrere informasjon om korte og langvarige avbrudd i meldepunkter i sine nett. Eksempelvis skal driftsforstyrrelser og planlagte utkoblinger som reduserer leveringskapasiteten til sluttbrukere betalt over regional- eller overføringsnettet registreres som korte eller lange avbrudd. Rettighetshavere som berøres av dette skal innen 1. mars rapportere data fra foregående år til kravene fastsatt av Energitilsynet [16] [8].

Nettselskap bør bruke programvarer som etterfølger gjeldende kravspesifikasjon for FASIT ved rapportering og registrering av data etter første og annet ledd [16].

2.2.2 FASIT

Formulert på en annen måte kan man si at FASITs formål er å gi en grundig analyse av leveringspåliteligheten i det norske kraftsystemet både historisk og fremover i tid. Ved å bruke dataanalyse, ønsker de å gi et godt bilde av hvor pålitelig kraftsystemet har vært i fortiden og hva man kan forvente i fremtiden. En annen viktig målsetning med FASIT er å øke forståelsen av den totale forsyningsikkerheten i det norske kraftsystemet. Gjennom disse innsiktene håper man å kunne bidra til en mer effektiv og bærekraftig energiproduksjon i Norge. [17].

Følgende informasjon må registreres i FASIT for å oppnå bedre leveringskvalitet:

- Driftsforstyrrelser består av automatisk, tvungen og utilsiktet utkobling.
- Automatisk utkobling.
- Avbrudd som følge av planlagte utkoblinger som er utført, enten dette er varslet eller ikke.

Avbrudd refererer til en komponent- eller systemfeil som fører til at tjenesten ikke fungerer. For eksempel dekker avbrudd for rapporteringspunkter effekten av driftsforstyrrelser som sluttbrukere opplever, slik som strømbrudd, avbruddsvarighet, ILE og KILE [17].

2.2.3 Kompensasjon ved Strømavbrudd

I 2021 ble det innført endringer i forskriften som omhandler utbetaling til sluttbrukere ved svært langvarige avbrudd (USLA) i Norge. Disse endringene gjelder kun for husholdninger og fritidsboliger, og vil gi disse en kompensasjon hvis de opplever avbrudd som varer mer enn 12 timer. Nettselskapets tillatte inntekt vil øke tilsvarende USLA-utbetalingen, noe som vil bidra til at nettselskapene ikke vil pådra seg en dobbel utgift i forbindelse med avbrudd. Varigheten av et langvarig avbrudd vil regnes fra tidspunktet hvor nettselskapet visste eller burde ha visst at et avbrudd har funnet sted, til normal forsyning er gjenopprettet. Sluttbrukeren vil ikke ha krav på kompensasjon dersom de selv har skyld i det langvarige avbruddet. Kompensasjonen skal utbetales innen 12 uker etter at strømtilførselen er gjenopprettet, og utbetalingene skal skje automatisk. Disse endringene vil sørge for at husholdninger og fritidsboliger som opplever langvarige strømbrudd, vil motta en kompensasjon for tapet av strømforsyning, og vil bidra til å øke nettselskapenes ansvarlighet og fokus på å sikre en

stabil strømforsyning til kundene sine [17].

Tabell 2.1: krav til kompensasjon

Kundegruppe	Funksjon for utbetaling [NOK] $t \geq 12$ timer
Husholdninger	$500 + 40 (t - 12)$
Fritidsboliger	$125 + 10 (t - 12)$

Et langvarig avbrudd som varer 24 timer, vil eksempelvis føre til følgende utbetalinger:

- Husholdning: $500 + 40 \cdot (24 - 12) = 980$ kr
- Fritidsbolig: $125 + 10 \cdot (24 - 12) = 245$ kr

Kompensasjonen som gis til husholdninger og fritidsboliger ved svært langvarige avbrudd vil bli beregnet og utbetalt automatisk. Dette betyr at sluttbrukeren ikke trenger å søke om kompensasjon, da nettselskapet vil ha all nødvendig informasjon for å beregne og utbetale beløpet automatisk. Kompensasjonen vil bli utbetalt innen 12 uker etter at strømtilførselen er gjenopprettet, og beløpet vil bli trukket fra neste faktura. Dette betyr at sluttbrukeren vil se en reduksjon i nettleien på neste faktura, tilsvarende beløpet som er utbetalt i kompensasjon.

Det er viktig å merke seg at det samlede årlige kravet fra sluttbruker ikke kan overstige forventet innbetalt nettleie for inneværende år, som er beregnet ut ifra forventet årsforbruk og gjeldende sats for energiledet i tillegg til fastleddet. [18].

3 | Distribusjonsnett

I dette kapitlet diskuteres grunnleggende teori om distribusjonsnettet, som er en av de viktigste delene av kraftsystemet. Distribusjonsnettet er ansvarlig for å distribuere elektrisitet fra høyspenningsnettet til sluttbrukerne, som kan være industrielle eller private kunder. Forskjellen mellom kabelnett og luftnett undersøkes, og generelle aspekter ved driftscentralen og håndtering av driftsforstyrrelser og feil blir presentert. Til slutt introduseres seksjonering som en metode for å dele nettet inn i mindre områder for å gjøre det mer oversiktlig og lettere å håndtere feil og driftsforstyrrelser.

3.1 Dagens distribusjonsnett

Distribusjonsnettet tar over fra regionalnettet og fordeler elektrisk energi til forbrukeren ved hjelp av høyspentlinjer med en spenning på opptil 22 kV samt lavspentlinjer som har blitt transformert ned til 400 V eller 230 V [19].

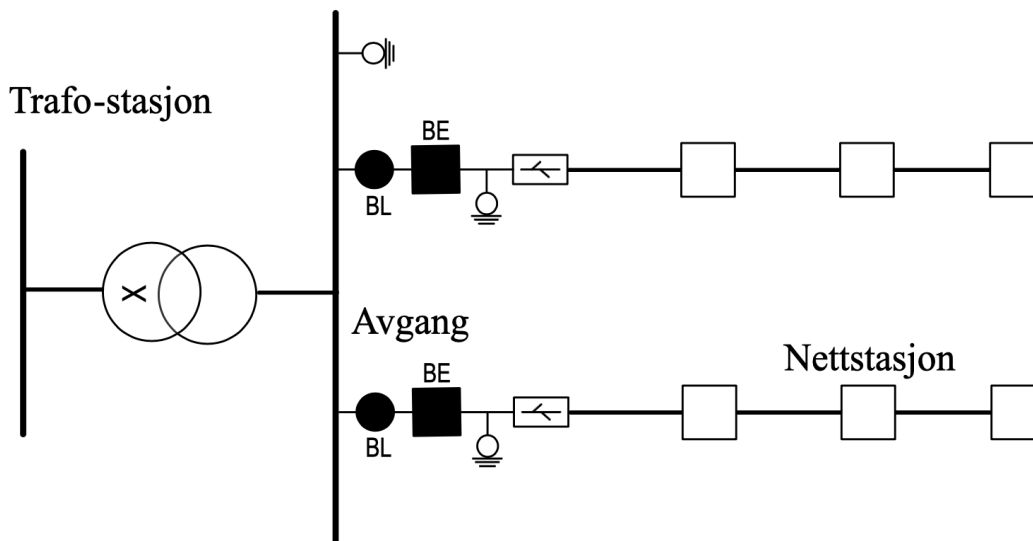
I distribusjonsnettet finnes det nettstasjoner med fordelingstransformatorer som omformer spenningen til 400V eller 230V for bruk av sluttbrukere. Det høyspente distribusjonsnettet kan være sammensatt av tre systemstrukturer:

- Radialnett
- Ringnett
- Gjennomløpende kabelnett

En kombinasjon av disse systemstrukturene kalles maskenett [20].

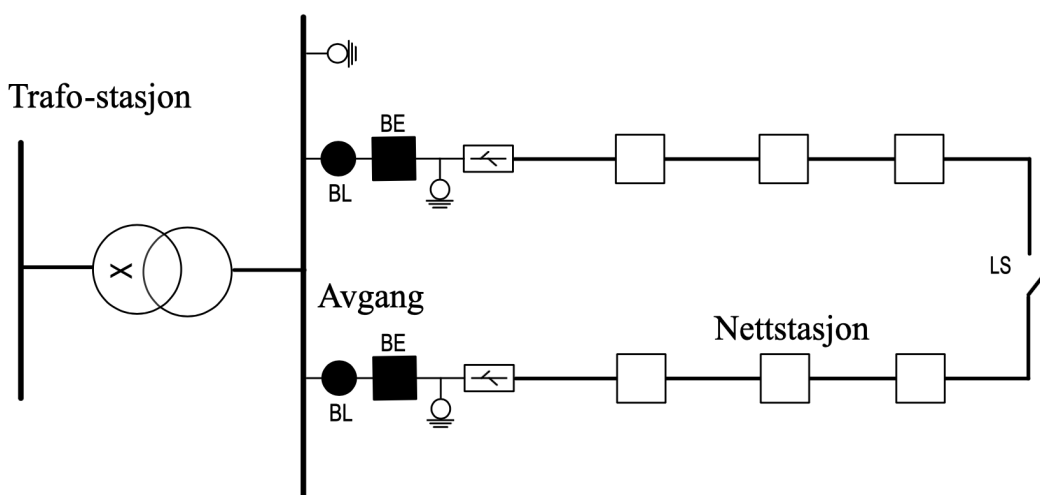
Et radialnett er karakterisert ved at strømforsyningen til avgangene kommer fra én bestemt retning, noe som betyr at radialnett har en lineær struktur som en serie av koblinger vist i figur 3.1. Denne strukturen er den enkleste og billigste løsningen. Hvis det oppstår en feil i nettet, vil alle etterfølgende nettstasjoner miste strømmen inntil feilen er utbedret [21].

Nettselskapet har plikt til å bygge og vedlikeholde fordelingsanlegg opp til 22kV innenfor sitt konsesjonsområde [22]. Dette innebærer at netteieren er ansvarlig for å sørge for pålitelig og effektiv distribusjon av elektrisk energi til sluttbrukere innenfor sitt geografiske område.



Figur 3.1: Illustrasjon av radialnett i distribusjonsnett.

På en normal tilstand er oppdelingspunktet åpent i nettet med gjennomgående mating, og hver av avgangene driftes radielt, som vist i figur 3.2. Hvis det oppstår en isolert feil, kan bryteren i oppdelingspunktet settes inn, og de resterende friske seksjonene nedstrøms feilstedet kan fortsatt forsynes.



Figur 3.2: Illustrasjon av ringnett i distribusjonsnett.

Tabell 3.1: Forskjeller mellom høyspent og lavspent fordelingsnett [19].

	Høyspent fordelingsnett	Lavspent fordelingsnett
Spenningsnivå	22 kV eller 11 kV	<1000 V
Topologi	Radiell (strålenett) uten parallellkoblinger	Kan ha parallellkoblinger eller kundeeid nett (privat stikkledning)
Transformatorenhet	Transformator	Nettstasjon eller trafokiosk
Linjekonfigurasjon	Radiell (strålenett) uten parallellkoblinger	Kan ha parallellkoblinger eller kundeeid nett (privat stikkledning)
Spenning i nettet	Konstant spenning	Variabel spenning avhengig av nettvarianten (TN, IT eller TT)
Nettstasjoner/trafokiosker	Ikke nødvendig rundt bolig- og industriområder	Nettstasjoner eller trafokiosker er nødvendig rundt bolig- og industriområder

3.1.1 Kabelnett og luftnett

Kabelnett og luftnett er to hovedtyper av distribusjonsnett som har forskjellige fordeler og ulemper avhengig av bruksområdet. Kabelnett består av kabler som ligger under bakken og gir høyere pålitelighet og mindre sårbarhet for vær- og miljøpåvirkninger. Kabelnett er også mer estetisk tiltalende og har større kapasitet enn luftnett. I områder med gårdsbruk og mindre boligfelt, benyttes luftledninger av økonomiske og praktiske årsaker, mens kabelnett ofte brukes i urbane områder og steder med hyttebebyggelse.

Ved feil i luftnettet kan feilen vanligvis lokaliseres i løpet av en time og repareres innen fem timer, uavhengig av om det skjer om dagen eller natten. Men i kabelnett må feilstedets posisjon lokaliseres med elektriske målinger langs kabelnettet. Dette kan ta tid, og gjennomsnittstiden for reparasjon og graving vil være rundt 16 timer, og det vil skje i løpet av dagen. Valget mellom kabelnett og luftnett avhenger av økonomi, pålitelighet, miljøpåvirkning, og tilpasning til terrenget[23].

Tabell 3.2: Forskjellen mellom kabelnett og luftnett [24].

	Kabelnett	Luftnett
Materialer	Isolerte kabler og jordkabler	Linjer, master og isolatorer
Vedlikehold	Lite vedlikehold trengs, men isolerte kabler er sårbare for mekanisk skade og korrosjon	Hyppigere vedlikehold nødvendig, særlig på grunn av vind og nedbør
Feil	Mindre utsatt for feil og mindre sårbar for vær og miljømessige påvirkninger	Mer utsatt for feil og mer sårbar for vær og miljømessige påvirkninger
Kapasitet	Begrenset kapasitet, men mulig å legge kabler i bakken i tettbebygde områder	Høyere kapasitet, men begrenset tilgjengelighet i områder med terrengvansker eller begrenset plass
Miljø-påvirkning	Begrenset miljøpåvirkning, men krever større inngrep i bakken	Krever mindre inngrep i naturen, men kan ha en viss miljøpåvirkningsom følge av linjenes plassering og form
Kostnader	Høyere installasjonskostnader, men lavere driftskostnader over tid	Lavere installasjonskostnader, men høyere driftskostnader over tid
Fleksibilitet	Mindre fleksibilitet når det gjelder å legge til eller endre strømforsyning til ulike områder	Mer fleksibilitet når det gjelder å legge til eller endre strømforsyning til ulike område
Bruksområde	Ofte brukt i tettbebygde områder og underjordiske installasjoner	Ofte brukt i åpent landskap og i områder med terrengvansker
Sikkerhet	Mindre risiko for å forårsake farlige situasjoner, for eksempel kortslutning eller brann	Høyere risiko for farlige situasjoner, for eksempel kortslutning eller lynnedslag
Kvalitet på Strømtilførsel	Bedre kvalitet på strømtilførselen, mindre følsom for overspenning og -strøm og elektromagnetiske forstyrrelser	Mindre kvalitet på strømtilførselen, mer følsom for overspenning og -strøm og elektromagnetiske forstyrrelser

3.2 Driftssentralen

Driftssentralen utgjør en avgjørende oppgave i driften av distribusjonsnettet, med hovedansvar for overvåkning av nettet og effektiv håndtering av eventuelle feil som oppstår. Driftssentralen er bemannet kontinuerlig gjennom hele året og har flere oppgaver, inkludert styring av brytere, kundehenvendelser og loggføring av FASIT-rapporter, som er påkrevd for å rapportere avbrudd til NVE. Tett samarbeid og kommunikasjon med montører er avgjørende ved kobling av høyspentanlegg og arbeid med finlokalisering og seksjonering [25]. Enkelte avdelinger har installert automatiske gjeninnkoplingsfunksjoner (GIK) det vil bidra med automatisk gjenoppretting av strømforsyningen ved kortvarige strømbrudd. Driftssentralen har tilgang til viktig informasjon om driften av nettet, inkludert strøm- og spenningsnivåer, fjern- og manuelt styrte brytere, transformator-temperaturer og overvåkning av nettet [26]. Kommunikasjon og samarbeid med montører og andre aktører i distribusjonsnettet er essensielt for driftssentralen for å sikre stabilitet og pålitelig strømforsyning til alle kunder.

3.2.1 Driftssentralensdatasystem

Kraftselskaper i ulike deler av verden bruker SCADA-systemer for å administrere sine kraftnett. Supervisory Control and Data Acquisition, eller SCADA, er et datasystem som gir kraftselskapene oversikt over nettselskapets nett og kraftsystemdata fra de ulike kommuniserende enhetene [27]. Dette gir operatørene en helhetlig oversikt over kraftsystemet, og muliggjør effektiv styring og drift av kraftnettet.

Elvia AS bruker SCADA-systemet til å samle inn data fra ulike feltutstyr som sensorer, fjernterminalenheter (RTU-er) og programmable logic controllers (PLC-er). Dette feltutstyret er plassert i kraftnettet og gir informasjon om blant annet spenning, strøm og bryterstatus. SCADA-systemet samler denne informasjonen og sender den til kontrollsentret [28]. Dette gjør det mulig for operatørene å overvåke statusen til kraftnettet i sanntid og identifisere avvik og foreta nødvendige tiltak raskt og effektivt.

SCADA-systemet spiller en kritisk rolle i driften og styringen av kraftnettet, og hjelper kraftselskapene med å opprettholde sikkerheten og effektiviteten til deres kraftsystem. Systemet gir operatørene muligheten til å kontrollere fjernstyrte brytere, varsle operatører om bryter-

fall og gi en helhetlig oversikt over kraftsystemet. Dette bidrar til å forebygge strømbrudd, redusere feil og bidrar til å opprettholde en stabil strømforsyning.

3.3 Driftsforstyrrelser og feilhåndtering

Det kan være frustrerende å oppleve et strømbrudd, men det er dessverre en del av livet som vi ikke alltid kan kontrollere. «*Elvias strømnnett er svært robust, og strømbrudd forekommer heldigvis ganske sjeldent*». Det er flere grunner for feil som oppstår i nettet, men oftest er det på grunn av uvær og tekniske feil [29].

Det er flere mulige årsaker for strømbrudd som f.eks lynnedslag, Uvær, graveuhell, trefall i tillegg til dyr som kan komme i kontakt med strømledningene. De vanligste årsakene til strømbrudd er imidlertid ekstremvær og feil på det elektriske anlegget [29].

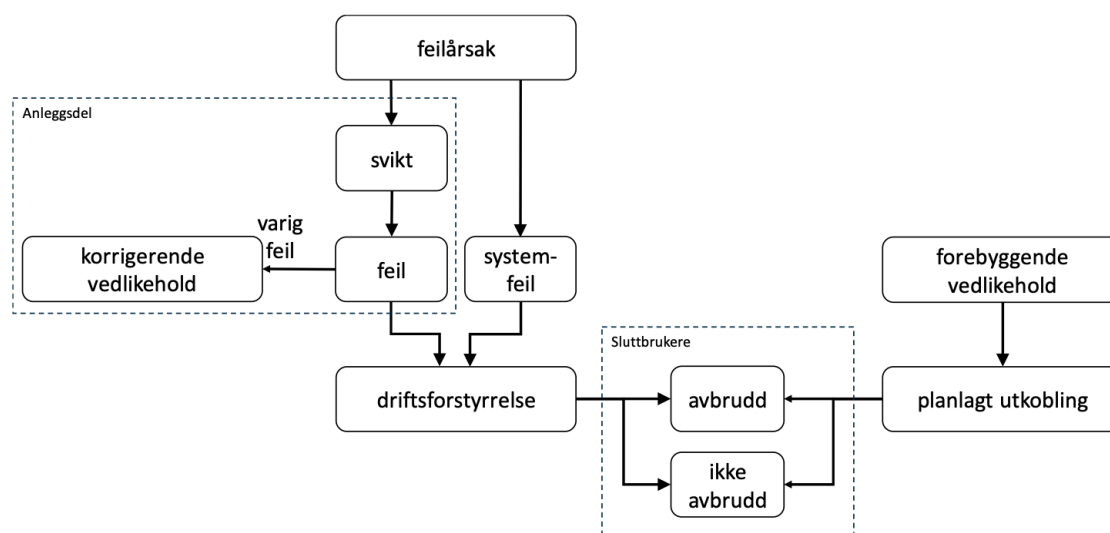
Feil i distribusjonsnettet kan hovedsakelig klassifiseres i to kategorier:

- Transiente (forbigående) feil
- Permanente (varige) feil

Transiente feil er midlertidige feil som kan oppstå som følge av uforutsette hendelser, for eksempel lynnedslag, fugler eller kvister som kortslutter linjene. Disse feilene kan ofte løses automatisk gjennom bruk av automatisk gjeninnkobling (GIK). Effektbryteren kobler ut på grunn av feil, men kobles inn igjen ved hjelp av GIK'en. Disse typene feil behøver ikke nødvendigvis at nettselskapet utplasserer teknikere for reparasjon, og kan ofte bli adressert raskt og effektivt uten direkte menneskelig inngrep.[26].

På den annen side kan varige feil være mer alvorlige og kreve mer tid og ressurser å rette opp. Dette kan skyldes faktorer som komponentsvikt, trær som faller på linjene eller andre faktorer som fører til permanent skade eller feil på nettet. Varige feil krever ofte manuell koordinering av driftssentralen og seksjonering av nettet for å isolere feilen og minimere påvirkningen på resten av nettet. Slike feil kan ta lengre tid å rette opp og kan gi høy belastning på komponentene. Dette kan skape potensielt farlige omstendigheter for teknikerne mens de utfører arbeidet [30].

For å håndtere feil i distribusjonsnett er det viktig for nettselskapet å ta hensyn til person-sikkerheten og velge kostnadseffektive alternativer for å minimere miljøpåvirkningen. En grundig analyse av forskjellige metoder for feilretting, samt vurdering av kostnader og risiko, kan hjelpe nettselskapet med å velge den mest hensiktsmessige løsningen for å håndtere forskjellige typer feil i distribusjonsnett [30].



Figur 3.3: Sammenhengen mellom feil og avbrudd [31].

3.3.1 Feilsøking

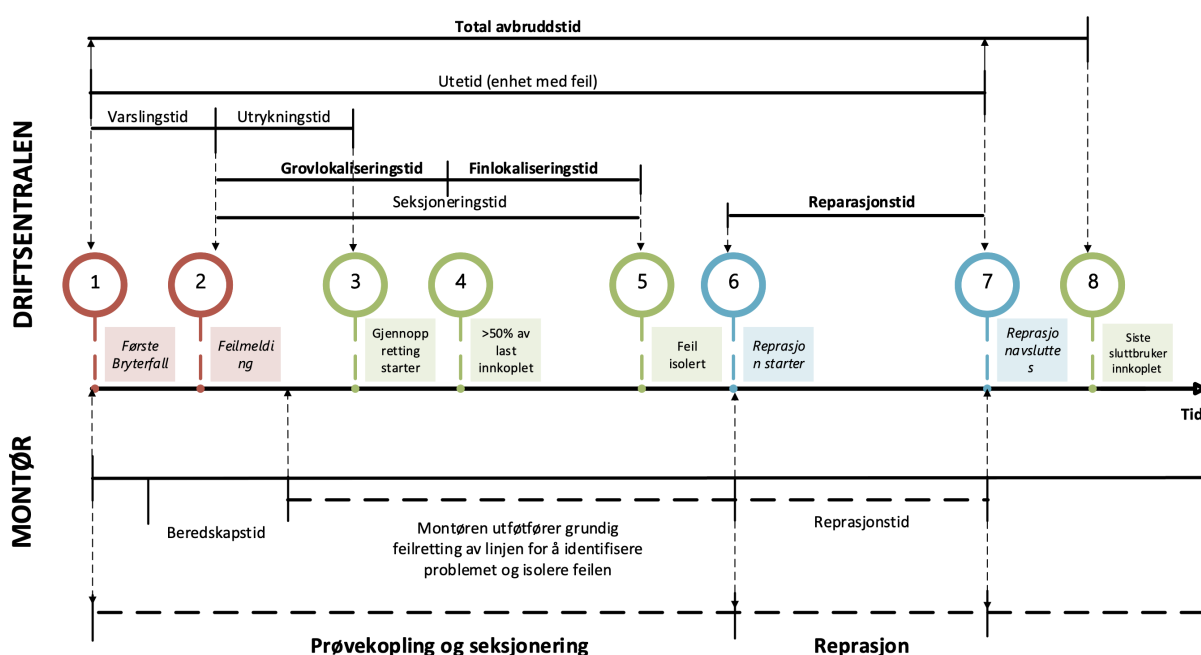
En av de mest brukte metodene for feilsøking i distribusjonsnett er prøvekopling, som innebærer manuelt eller fjernstyrt utkobling av brytere for å isolere feilen og begrense påvirkningen på resten av nettet.

Når en feil blir oppdaget, vil montører dra til feilstedet og samle informasjon om størrelsen på området og feilhistorikken. I nettstasjonene finner man vanligvis seksjoneringspunkter som består av brytere, og ved å åpne og lukke disse bryterne kan topologien og driftsforholdene endres. Valg av bryter typer er en viktig faktor som vil bidra til å begrense feilområdet og sikre stabiliteten i nettet. Kriteriene for valg av brytere kan variere avhengig av faktorer som størrelsen på feilen, området som påvirkes, og tilgjengelig kapasitet.

Ved å seksjonere feilområdet kan man begrense påvirkningen av feilen og sikre strømforsyning til områdene som ikke er berørt. Dersom det oppstår et nytt avbrudd, indikerer dette

vanligvis at feilen befinner seg innenfor bryteren som er koblet ut. I slike tilfeller vil reservematingen vanligvis forsynes fra samme transformatorstasjon, men med en annen effektbryter som vil være åpen. Operatøren må vurdere om det er tilstrekkelig med kapasitet fra reservematingen og om det er hensiktsmessig med tanke på avbruddeskostnader.

Den vanlige prosedyren for feilsøking er å fortsette prøvekopling på brytere i midterste nettstasjoner og velge hvilken side av nettstasjonen feilen befinner seg på. Noen nettstasjoner er utstyrt med kortslutnings indikatorer som gir informasjon om hvilken side av nettstasjonen feilen befinner seg på. Man fortsetter prøvekoplinger til man kommer mellom de to nærmeste bryterne og feilen er isolert. En vellykket feilsøking vil bidra til å minimere tiden for avbrudd og redusere påvirkningen på sluttbrukere, samt sikre stabiliteten i distribusjonsnett. Det er viktig å ha gode rutiner og strategier på plass for å sikre en effektiv og sikker feilsøkningsprosess i distribusjonsnett [32].



Figur 3.4: Forløp av tid og hendelser under strømavbrudd.

3.4 Metodikk for seksjonering

Seksjoneringsmetodikk er en metode for å sikre strømforsyning til så mange kunder som mulig, samtidig som man isolerer strømbrudd i mindre områder for raskt å kunne gjenopprette strømforsyningen. Metoden innebærer å dele inn strømmettet i mindre områder, kalt

seksjoner, ved hjelp av effektbrytere og lastskillebrytere. En effektbryter løser ut når innstilt verdi oppnås på Overstrøm, Kortslutning eller jordfeil. En lastskillebryter må aktivt betjenes, enten manuelt eller via fjernstyring. En effektbryter kan også betjenes manuelt eller fjernt.

Ved en feil i nettet vil seksjonene med feil bli isolert fra resten av nettet ved hjelp av effektbrytere og lastskillebrytere. Dette gjør at strømforsyningen til de ikke-berørte seksjonene opprettholdes, samtidig som man kan jobbe med å gjenopprette strømforsyningen til den berørte seksjonen. Seksjonering er derfor en viktig metode for å redusere omfanget av strømbrydd og for å gjøre gjenoppretingsprosessen mer effektiv.

Seksjonering av strømmettet er en kompleks prosess som tar hensyn til flere faktorer for å sikre pålitelig strømforsyning. Avgjørelsen om seksjonering baseres på ulike kriterier, som radiallengde, kundetyper, linjeavstand, avgreninger, tilgjengelige brytere og kundemasse. En kombinasjon av KILE-kostnader med seksjonering gir en oversikt til driftsentralen om hvilket seksjoner som må prioriteres ved feilsøking. Slik kan driftsentralen velge de seksjonene med kritiske kunder og høyest KILE-kostander. Denne metodikken er brukt i kapittel 9. I tillegg tar man i betraktning erfaringer fra området, værforhold og tilgjengelige montører. Ved å plassere brytere mellom seksjonene kan topologien og driftsforholdene endres ved åpning og lukking av disse bryterne. Dette reduserer feilsøkingsområdet og gjør det mulig å gjenforsyne enkelte seksjoner.

Figur 3.4 viser de generelle trinnene i seksjoneringsprosessen. Ved punkt 1, når den første bryteren faller ut, blir det sendt varsler og montørene påbegynner utrykningstiden til de når frem til seksjonen. Etter grovseksjonering vil noen sluttbrukere fortsatt ha strømforsyning, spesielt dersom det er mulig å bruke reservemating. Deretter utføres finlokalisering for å gjenforsyne flertallet av sluttbrukerne. Når feilen er reparert, får de gjenværende sluttbrukerne strømforsyningen tilbake. Gjennom denne prosessen sikres rask gjenforsyning av strøm og reduserer konsekvensene av strømbrydd for sluttbrukerne.

4 | Komponenter

4.1 Brytere

I distribusjonsnett blir det hovedsakelig brukt tre typer brytere: effektbryter, lastskillebryter og skillebryter. Der effektbryter brukes til å koble strømmen av og på i normale driftsforhold og ved vedlikehold av nettet. Lastskillebryter brukes til å koble ifra last, den brukes ofte i forbindelse med vedlikehold og reparasjoner [33]. Skillebryter brukes til å koble spenningen av og på, den brukes også for å isolere en del av nettet fra resten av systemet ved f.eks feilsøking. Dermed er valg av riktig brytertype er en viktig faktor for å sikre at distribusjonsnett fungerer på en effektiv og sikker måte. Det er viktig å ta hensyn til faktorer som laststrøm, spenning, strømstyrke og driftsforhold når man velger brytertype. Videre vil også kostnad, levetid og pålitelighet være faktorer som vil spille inn i valg av brytertype [34].

4.1.1 Analyse av brytere: Effektbrytere, Lastskillebrytere og Skillebrytere

I denne delen presenteres en detaljert sammenligning av de tre hovedtypene av brytere som benyttes i 22 kV nettet: effektbrytere, lastskillebrytere og skillebrytere. Disse bryterne spiller en viktig rolle i driften og stabiliteten til det elektriske nettverket. Tabell 4.1 gir en grundig og systematisk sammenligning av disse brytertypene, med hensyn til deres funksjoner, dimensjonering, styring og betjening, konstruksjonstype, isolasjonstype, mekanisk levetid, plassbehov og vedlikeholds krav. Sammenligningen bidrar til å fremheve de viktigste forskjellene og likhetene mellom de ulike brytertypene og hjelper leseren med å forstå deres respektive bruksområder og begrensninger.

Tabell 4.1: Sammenligning av brytertype [33] [35].

Egenskap	Effektbrytere	Lastskillebrytere	Skillebrytere
Hovedsikring	Slutter og fører normale belastningsstrømmer; bryter spesifiserte kortslutning strømmer	Kobler inn og ut normale belastninger; kan også bryte kortslutningsstrømmer	Skiller anleggsdelene fra hverandre ved service eller seksjonering
Dimensjonering	Designet for å tåle og bryte belastnings- og kortslutningsstrømmer i henhold til spesifikasjoner	Bryteevne på 10-50 MVA; designet for å bære og bryte belastningsstrømmer og kortslutningsstrømmer («lastskillebryter», 2023)	Designet for å tåle spenningen i anlegget, men ikke for bryting av strøm
Styring	Manuell eller fjernstyrt	Manuell eller fjernstyrt (avhengig av installasjon og systemkrav)	Manuell eller fjernstyrt (avhengig av installasjon og systemkrav)
Betjening	Kan betjenes under spenning	Kan betjenes under spenning	Betjenes spenningsløst
Konstruksjonstype	Trykkluft, SF6 gass, vakuum, oljefattig, ekspansjonsbryter	Kan være enkelt eller dobbelt brytende, med eller uten jordfeilbryter	Typisk basert på mekaniske kontakter og isolatorer
Isolasjonstype	Luft, SF6 gass, olje, vakuum (avhengig av konstruksjonstype)	Luft, SF6 gass, olje, vakuum (avhengig av konstruksjonstype)	Luft, SF6 gass, olje, vakuum (avhengig av konstruksjonstype)
Mekanisklevetid	Opptil 10,000 - 30,000 driftssykluser (avhengig av konstruksjonstype og vedlikehold)	Opptil 5,000 - 10,000 driftssykluser (avhengig av konstruksjonstype og vedlikehold)	Opptil 2,000 - 5,000 driftssykluser (avhengig av konstruksjonstype og vedlikehold)
Plassbehov	Relativt høyt plassbehov grunnet driftsmekanismer og isolasjon	Moderat plassbehov grunnet driftsmekanismer og isolasjon	Lavt plassbehov grunnet enkel konstruksjon
Vedlikeholds krav	Periodisk vedlikehold av driftsmekanismer, smøring og rengjøring av kontakter og isolatorer	Periodisk vedlikehold av driftsmekan	Periodisk vedlikehold av driftsmekan

4.2 Automatisk feilretting i elektriske nett

I dette kapittelet vil det bli utforsket og analysert fjernstyrte brytere: lastskillebryter og effektbryter. Disse fjernstyrte bryterne benyttes for å oppnå automatisk feilretting i elektriske nett (dette er presentert i kapittel 7). Automatisk feilretting er et viktig aspekt innen drift og vedlikehold av strømmnett, da det bidrar til raskere feilretting og gjenoppretting av strømfor- syningen. Denne oppgaven fokuserer på komponenter fra ABB, hvor data er levert av Elvia As. Disse dataene er presentert i tabell 7.4.

I Avganger med kabelnett benyttes ofte ringkabelanlegg istedenfor mastemonterte linjebry- tere. Når det gjelder avganger med luftledninger, er det mest passende å bruke mastemon- terte last- og effektbrytere, enten med integrerte sensorer eller med eksterne sensorer [26].

De fleste bryterløsningene som blir vurdert i denne oppgaven, har muligheter for ettermontering av utstyr for å tilegne seg nye funksjoner. Dette gir en høy grad av fleksibilitet. I tillegg til muligheter for tilpasning til endrede krav og forhold [26].

For å sikre effektiv kommunikasjon mellom ulike komponenter i et automatisert feilrettings-system benyttes en Remote Terminal Unit (RTU). En RTU (Remote Terminal Unit) fungerer som en koblingsenhet mellom SCADA-systemet og bryteren for fjernstyring. Den kan også overføre analoge og digitale signaler mellom vern, feilindikatorer og måletransformatorer [36].

I denne oppgaven vil fjernstyrte komponenter fra ABB bli valgt for å analysere plasseringen av bryterne i den aktuelle avgangen. Formålet er å oppnå en grundig forståelse av den optimale plasseringen, slik at gjenoppbygging av strøm og feilsøking blir enklere for drifts-sentralen.

4.2.1 Fjernstyrte brytere i distribusjonsnettet

Innføringen av fjernstyrte brytere i distribusjonsnett gir flere fordeler, og det er viktig å forstå hvordan disse kan bidra til en mer kostnadseffektiv og sikker drift. En av de viktigste fordelene ved fjernstyring er at det kan redusere risikoen for ulykker og redusere tidsbruk for montører, ettersom bryterne kan betjenes fra et kontrollrom uten behov for fysisk tilstedeværelse på stedet. Videre kan fjernstyring redusere reisetid og utstyrs kostnader forbundet med vedlikehold og feilretting i nettet, og dermed bidra til en mer kostnadseffektiv drift. Selv om fjernstyrte brytere ikke kan redusere antall avbrudd på nettet, kan de redusere varigheten til avbruddet ved å tillate driftssentralen å samle inn mer informasjon om hvor feilen oppstod og hvilke områder som er påvirket av avbruddet.

For å sikre en effektiv bruk av fjernstyrte brytere, er det nødvendig å gjennomføre grundige pålitelighetsanalyser som vil bestemme hvor mange fjernstyrte brytere som skal installeres og hvor de skal plasseres. Dette vil bidra til å sikre at fjernstyrte brytere brukes på en hensiktsmessig og optimal måte, og at de vil være pålitelige og effektive når de trengs. Videre er det viktig å ta hensyn til feilhyppigheten til de fjernstyrte bryterne som allerede er i bruk eller som planlegges å bli brukt, ettersom feilhyppigheten kan ha en betydelig innvirkning

på resultatene av analysen. Hvis feilhyppigheten til de fjernstyrte bryterne ikke blir inkludert i analysen, kan det føre til at resultatene av analysen ikke er nøyaktige eller korrekte, og at fjernstyring kan bli mindre effektiv enn ønsket. Derfor er det viktig å utføre grundige analyser og evalueringer før innføringen av fjernstyrte brytere i alle typer nett.

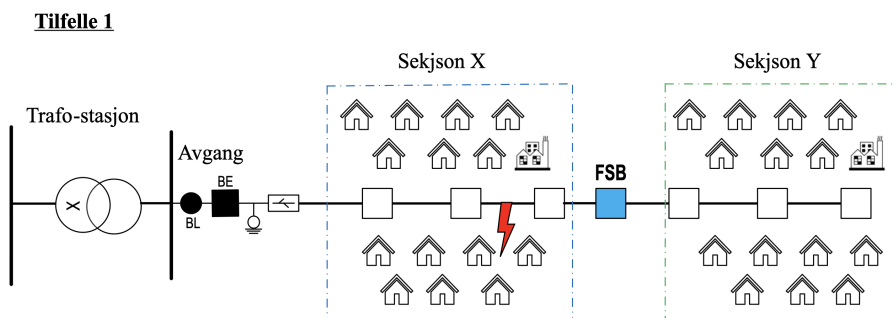
I oppgaven er fjernstyrte lastskillebrytere fra ABB, spesielt Sectos-serien, og tilhørende komponenter brukt som datagrunnlag for lastskillebryterne. For linjenettet er Sectos-bryteren valgt, som inkluderer RTU (Remote Terminal Unit) og kommunikasjonsfunksjoner. Disse lastbryterne er SF6-isolerte og er utstyrt med kombisensorer som sender data til SCADA-systemet [33].

Når det gjelder effektbrytere, er en ny nettsatsjon med 1v+2k+1T (enfasig, tofasig, trefasig) brukt, som også er utstyrt med RTU og kommunikasjonsmuligheter. Prisene for disse to fjernstyrte bryterne er levert av Elvia AS og er presentert i tabell 7.7. I tillegg er dataene for bryterne presentert i vedlegg E [33].

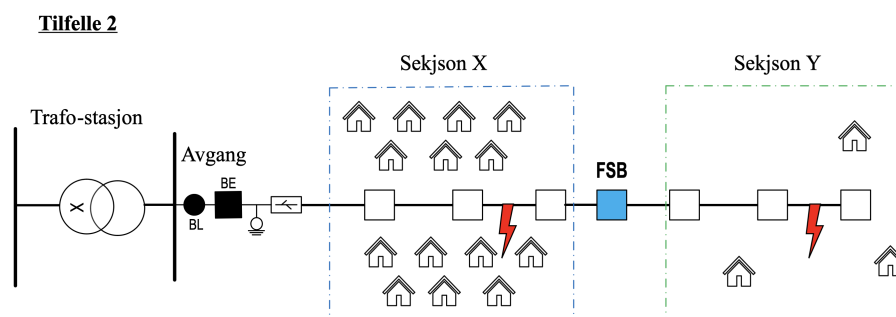
4.2.2 Plassering av fjernstyrte brytere

Plasseringen av fjernstyrte brytere i distribusjonsnett kan være hensiktsmessig i områder der nettet har flere avgreninger. Dette skyldes at fjernstyrte brytere kan bidra til å oppdage hvor feilen befinner seg i hvilken avgrening. I praksis vil prøvekobling vanligvis skje omtrent midt på nettet, etterfulgt av forsøk på å legge inn igjen effektbryteren som har falt ut illustrert i figur 4.1. Utfallet av prøvekoblingen vil avgjøre om spenningen opprettholdes eller ikke, og om feilen befinner seg lenger ute i nettet enn der bryteren er. Plassering av fjernstyrte brytere i slike områder vil derfor være aktuelt, da det kan bidra til raskere seksjonering av området.

Tilefelle 1 illustrerer ved å plassere fjernstyrt bryter (FSB) slik at distribusjonsnettet deles inn i seksjoner med omtrent lik størrelse av sluttbrukere og belastning, kan feil lokaliseres og isoleres mer effektivt. Dette reduserer både tiden og ressursene som kreves for feilretting og fører til bedre driftssikkerhet.

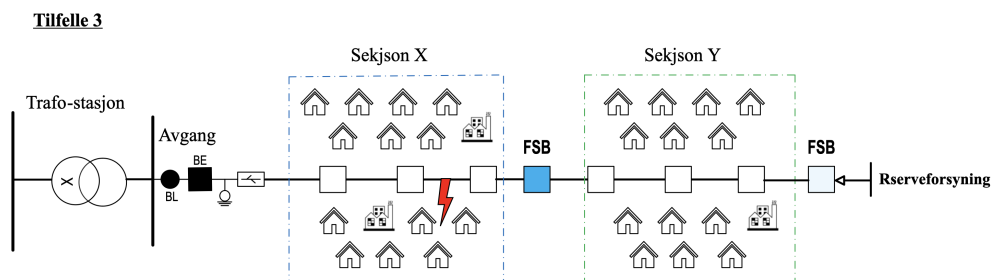


Figur 4.1: Fjernstyrt bryter plassert slik at den deler nettet i seksjoner av omtrent samme størrelse og belastning.



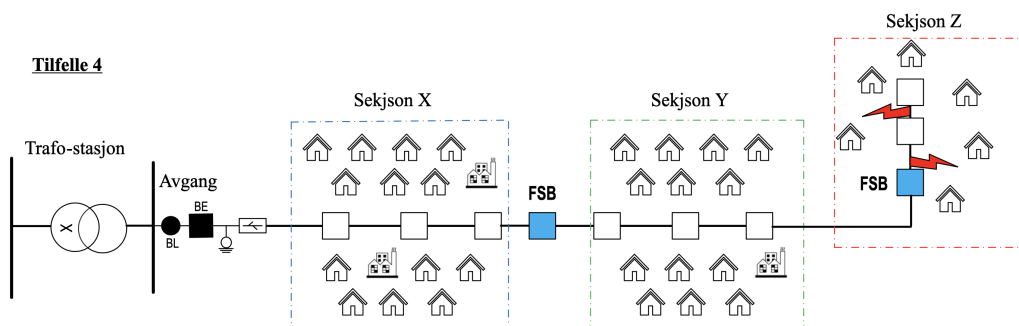
Figur 4.2: Ved feil i seksjon Y langt ute, rammes alle sluttbrukere av strømbrudd.

Tilfelle 2 demonstrerer at dersom en feil oppstår i seksjon Y som er langt ute i linjen, vil samtlige sluttbrukere oppleve strømavbrudd. Imidlertid, ved å implementere en fjernstyrt bryter (FSB) på en strategisk posisjon langs linjen, er det mulig å isolere de få sluttbrukerne som befinner seg lengst ute i nettet og samtidig opprettholde strømforsyningen til det området av linjestrekket som har høyest sluttbrukertetthet. I tilfelle en feil skulle inntreffe i seksjon X, vil samtlige sluttbrukere fortsatt bli berørt av strømavbruddet. Imidlertid vil prosessen for feillokalisering og feilretting bli mer effektiv [36]. Dette kan tilskrives at montørene nå kun behøver å undersøke halvparten av linjestrekket, i stedet for manuelt å seksjonere og feilsøke hele strekket.



Figur 4.3: Fjernstyrt bryter plassert i reserveforsyningen.

Fjernstyrte brytere vil også være en fordel der det er reserveforsyning, ettersom fjernstyring kan øke hastigheten og effektiviteten av feilrettingen. Hvis reservekoblingene ikke er fjernstyrt, kan det være vanskelig eller tidkrevende for montører å koble inn reserveforsyningen manuelt. Tilfelle 3 illustrerer i figur 4.3 en situasjon der en fjernstyrt bryter har med reserveforsyning fra enden av linjen til seksjon Y. Denne reserveforsyningen kan komme fra en annen transformatorstasjon eller en annen avgang i samme transformatorstasjon. Dette sikrer at strømforsyningen til seksjon Y opprettholdes selv når det oppstår feil på hovedlinjen. Ved å ha en reserveforsyning i en slik konfigurasjon, forbedres driftssikkerheten og kontinuiteten i strømforsyningen til sluttbrukerne i seksjon Y.



Figur 4.4: Fjernstyrt bryter plassert i lange linjer, spesielt i griségrendte strøk.

I områder med spredt bebyggelse og store avstander mellom befolkningsgrupper, kan det være mer utfordrende å rette opp feil i distribusjonsnettets på grunn av vanskelig tilgjengelighet. Plassering av fjernstyrte brytere kan derfor være et nyttig verktøy for å optimalisere feilrettingen i disse områdene.

Effektbrytere spiller en avgjørende rolle i å opprettholde driftssikkerheten og stabiliteten i distribusjonsnettets ved å forhindre at feil spres seg til andre deler av nettet. Når en feil oppstår, vil effektbryteren automatisk koble ut det berørte området fra resten av nettet, dermed isolere det feilbefengte området og beskytte kundene som er tilkoblet strømfor-

syningen innenfor effektbryterens rekkevidde. Dette bidrar til å opprettholde kontinuerlig strømforsyning for disse kundene, selv om områder utenfor effektbryteren påvirkes av feilen. Som et resultat kan levert energi (ILE) reduseres, noe som fører til en reduksjon av KILE-kostnadene.

Når det gjelder plassering av fjernstyrte effektbrytere, er det viktig å velge et punkt i strømmettet som ligger omtrent like langt fra begynnelsen og enden av nettet. Dette punktet fungerer som et referansepunkt for å dele strømmettet i to like deler, og dermed avgrense hvilken del av strømmettet som kan ha en feil. Ved å plassere effektbryteren på denne måten kan man også identifisere og isolere forgreninger som har høye KILE-kostnader, stor belastning og kritiske kunder. Dette bidrar til å minimere risikoen for ytterligere skade på nettet og sikre en mer stabil og pålitelig strømforsyning for alle kunder. Selv om dette gir generelle retningslinjer, vil den nøyaktige plasseringen av fjernstyrte brytere i et distribusjonsnett avhenge av nettets spesifikke topologi, belastning, kundetyper og geografiske forhold.

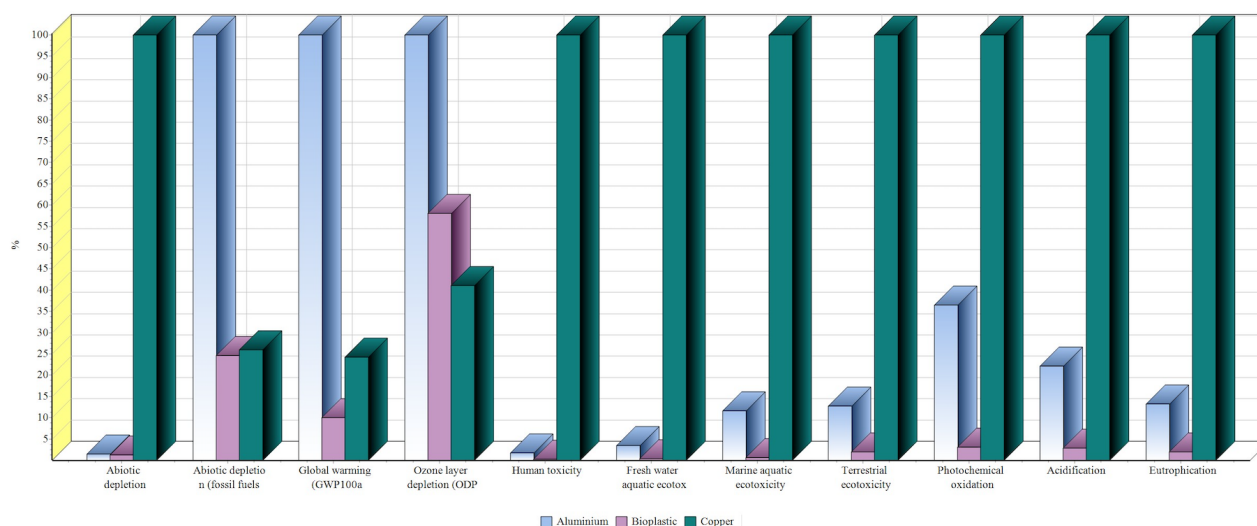
4.3 Livssyklusanalyse (LCA) for fjernstyrte brytere

Formålet med å gjennomføre en livssyklusanalyse er å få en oversikt over miljøpåvirkningen av et produkt, en tjeneste eller en prosess. En riktig utført livssyklusanalyse vurderer alle aspekter av produktets levetid, fra utvinning av materialer, transportmetoder som brukes, behandlingsprosesser og resirkulering eller avhending av produktet [5] [37].

I denne delen av oppgaven blir det tatt hensyn til livsløpsanalyse (LCA) i programmet SimaPro for fjernstyrte komponenter som lastskillebrytere og effektbrytere. Hensikten er å analysere komponentens CO₂-fotavtrykk, som inkluderer utslippene som oppstår under produksjonen. Med tanke på de globale utfordringene knyttet til økt global oppvarming og behovet for å redusere CO₂-utslipp, er det avgjørende at alle tiltak som kan bidra til å redusere utslippene, blir vurdert nøye og implementert der det er hensiktsmessig og mulig. Elvia engasjerer seg for fornybar energi, med mål om å tilby bærekraftige, energieffektive og fremtidsorienterte løsninger [38]. Derfor kan en løsning være å undersøke hvordan produksjonen og bruken av fjernstyrte brytere påvirker miljøet og å finne måter å redusere utslippene på. En annen viktig faktor å vurdere er muligheten for resirkulering av materialene som brukes i fjernstyrte brytere. Dette kan bidra til å redusere avfallsproduksjon og

behovet for å utvinne nye råmaterialer. Enkelte komponenter, som kobber og aluminium, kan være verdifulle ressurser som kan gjenvinnes og brukes igjen.

Tilvirkningen av fjernstyrte brytere involverer bruk av materialer som aluminium, bioplast og kobber. Tabell 4.2 viser det tilhørende CO₂-fotavtrykket i kilo for hele prosessen, fra utvinning av råmaterialer og mineraler til ferdigstilte halvfabrikata som er tilgjengelige på markedet for salg. Disse dataene er basert på den kinesiske modellen for produksjon, som gir et innblikk i miljøpåvirkningen av fjernstyrte brytere. Det er viktig å ta hensyn til CO₂-fotavtrykket knyttet til materialene og produksjonsprosessen for fjernstyrte brytere, slik at man kan arbeide for å minimere den negative miljøpåvirkningen og fremme bærekraftig praksis i produksjonen. Gjennom å velge miljøvennlige materialer og optimalisere produksjonsprosesser, kan produsenter av fjernstyrte brytere bidra til å redusere CO₂-utslipp og støtte global innsats for å bekjempe klimaendringer.

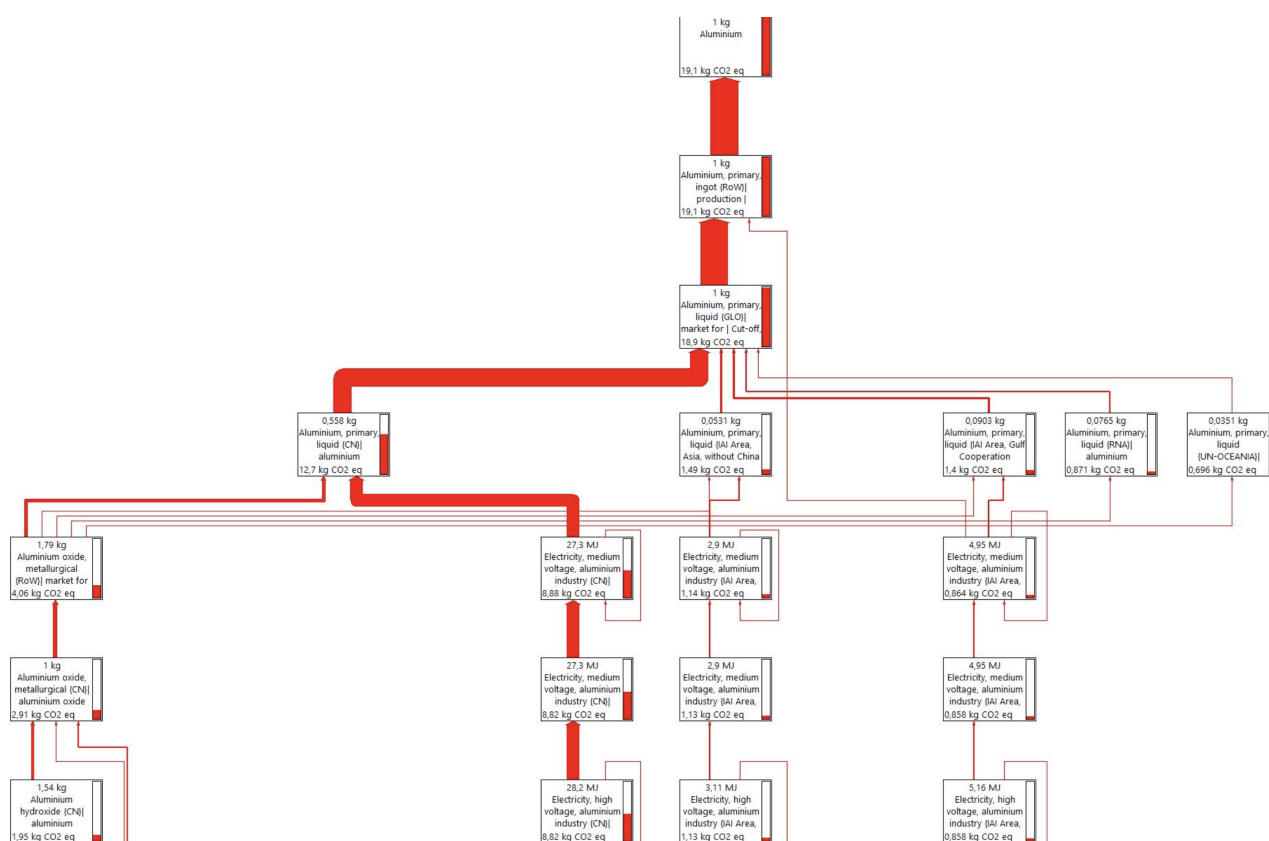


Method: CML-IA baseline V3.06 / EU25 / Characterisation
Comparing 1 kg 'Aluminium', 1 kg 'Bioplastic' and 1 kg 'Copper'.

Figur 4.5: Diagram som viser utslippene til Aluminium, bioplastik og kobber.

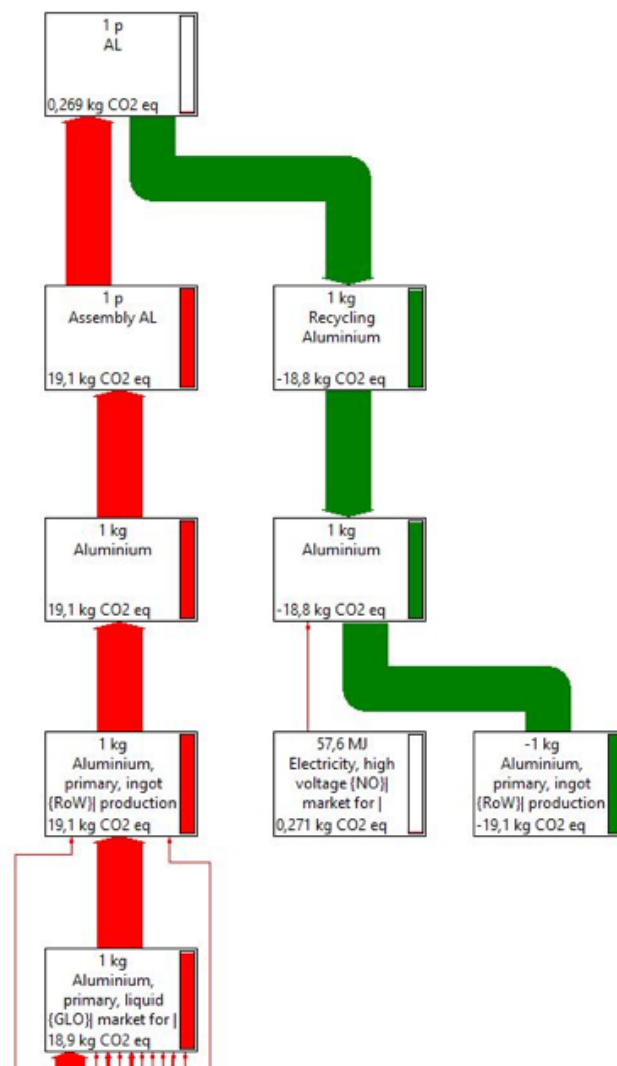
Tabell 4.2: Viser miljøpåvirkning i CO₂ ekvivalenter hver av metallene slipper ut.

Global warming (GWP100a)	Aluminium	Bioplastic	Copper
kg CO ₂ eq	19.09	1.92	4.63



Figur 4.6: LCA

Datsettet representerer produksjonen av 1 kg primær aluminiumsblokk. Smeltet aluminium produsert fra den elektrolytiske prosessen tappes fra reduksjonsceller, veies, prøves og analyseres før det helles i en holdeovn og varmes opp til ca. 750°C ved bruk av naturgass som drivstoff. Legeringselementer, som magnesium, silisium og mangan, for ytterligere styrke, korrosjonsbestandighet og andre egenskaper, tilsettes aluminiumet [39]. Datsettet som viser produksjonen av 1 kg kobber og bioplast er inkludert i vedlegget til denne studien. De interesserte leserene kan finne detaljert informasjon om CO2-utslipp og miljøpåvirkningen knyttet til produksjonen av disse materialene i vedlegg B tabell B.1.



Figur 4.7: LCA recycling

Figur 4.7 illustrerer produksjonen og resirkuleringen av 1 kg aluminium. Totalt genererer denne prosessen 19,1 kg CO₂-utslipp. Med en antagelse om at 50 % av komponentene blir resirkulert, vil 18,8 kg CO₂ bli spart. Dette resulterer i en netto differanse mellom produksjon og resirkulering på 0,269 kg CO₂. Dette eksemplet understreker viktigheten av resirkulering i forhold til miljøpåvirkningen og CO₂-utslipp. Ved å resirkulere materialer som aluminium, kan vi redusere CO₂-utslippene betydelig og dermed bidra til å redusere klimagassutslipp og støtte globale klimatiltak. Resirkulering av materialer er en viktig brikke i arbeidet for å oppnå en mer bærekraftig og miljøvennlig produksjonsprosess, og det bør oppmuntres og fremmes i alle relevante industrier, inkludert produksjon av fjernstyrte brytere.

4.4 Selektivitet

Selektivitet i strømmettet handler om å organisere sikringer og brytere slik at feil kan fikses raskt og pålitelig. Målet er å begrense problemer når noe går galt og holde det berørte området så lite som mulig [40].

For å få til dette må sikringene i strømmettet være ordnet slik at den nærmeste sikringen til feilen alltid slår seg av før andre sikringer lenger unna. Dette gjør at strømmen kan fortsette å fungere i områder som ikke er direkte berørt av feilen, og reduserer dermed avbrudd og problemer for kundene [40].

Ved å ha flere enn 3-4 effektbrytere i et nett kan selektiviteten bli betydelig påvirket. Effektbrytere er utformet for å være selektive, noe som betyr at de er i stand til å oppdage en feil i nettet og kun isolere den delen av systemet som er berørt av feilen. Selektivitet i nettet er en utfordring, spesielt ettersom det stadig skjer endringer og utbygginger. I et elektrisk system kan det være flere beskyttelsesreleer plassert på forskjellige steder.

Når en feil oppstår, vil beskyttelsesreleene reagere, men selektiviteten sikrer at kun releet nærmest feilstedet utløses først. Dette kan oppnås ved å justere tidsforsinkelser og definere soner i systemet, slik at beskyttelsesreleene i sonen nærmest feilen reagerer raskere enn de i andre soner. Dermed vil bare bryteren nærmest feilstedet kobles ut, og resten av systemet vil fortsette å fungere som normalt.

Riktig koordinering av beskyttelsesreleer sikrer at bryteren nærmest feilen utløses ved første feil, men systemet må også kunne håndtere sekundære feil. Derfor er det viktig at systemet har muligheten til å endre koordineringen i tråd med endringer i topologien og strømretningen, for å opprettholde selektivitet og sikre en effektiv beskyttelse av systemet. Dette understreker viktigheten av nøye planlegging og konfigurering av beskyttelsessystemet for å oppnå optimal selektivitet og driftssikkerhet i nettet.

For å sikre dette, er det noen prinsipper man må følge:

1. **Tidskoordinering:** Sikringene må ha en tidsinnstilling som gjør at de nærmeste feilen slår seg av før de lenger unna. Dette kan gjøres ved å bruke forsinkede sikringer, der de nærmere feilene har kortere utkoblingstider enn de lenger unna.

2. **Strømkoordinering:** Sikringene må ha en strøminnstilling som gjør at de bare slår seg av ved strømverdier høyere enn deres innstilte grense. Dette forhindrer at sikringene slår seg av unødvendig ved små overbelastninger eller kortvarige forstyrrelser.
3. **Sonering:** Strømnettet kan deles inn i beskyttelsessoner, der hver sone har sin egen gruppe av sikringer og brytere. Dette gir en mer strukturert og enklere feilhåndtering.
4. **Kommunikasjon og automatisering:** Avansert kommunikasjon mellom sikringer, brytere og kontrollsentre kan bidra til raskere feilgjenkjenning, isolering og gjenoppretting. Dette kan oppnås ved bruk av moderne teknologier som fjernstyring og SCADA-systemer (overvåking og datainnsamling) [40].

5 | Lønnsomhet

5.1 Samfunnsøkonomisk analyse

Investeringer i kraftnettet involverer ofte betydelige kostnader, og det er derfor avgjørende å sikre at disse investeringene gir avkastning og bidrar til et mer robust og effektivt kraftsystem. I denne oppgaven er fokuset begrenset til investeringer i nye fjernstyrte brytere i distribusjonsnettet. Investeringen i nye fjernstyrte brytere vil være en kostand for Elvia As, mens inntekten vil være KILE-besparelsen. For å kunne treffe veloverveide valg, benyttes samfunnsøkonomiske analyser for å belyse alle aspekter ved investeringsalternativene. Dette hjelper nettselskapene med å ta informerte og balanserte investeringsbeslutninger [41] [42].

Det finnes ulike metoder for samfunnsøkonomiske analyser, og i denne oppgaven er nytte-kostnadsanalyse valgt som metode. Dette skyldes at de andre metodene ikke fullt ut tar hensyn til både kostnadene og fordelene (nyttevirkningene) ved investeringene. I en nytte-kostnadsanalyse identifiseres alle relevante kostnader og fordeler, kvantifiseres og tildeles en verdi i kroner. Deretter summeres kostnadene og fordelene. Hvis summen er positiv, det vil si at fordelene overstiger kostnadene, betraktes tiltaket eller investeringen som samfunnsøkonomisk lønnsom [42].

Ved å bruke nytte-kostnadsanalyse kan man sammenligne ulike alternativer på en systematisk måte, vurdere de potensielle konsekvensene av hver investering og velge det alternativet som gir mest verdi for samfunnet som helhet. Denne tilnærmingen sikrer en helhetlig vurdering av kostnader og fordeler knyttet til investeringene, og bidrar til å identifisere de mest hensiktsmessige investeringsvalgene i kraftnettet [4].

5.1.1 Nåverdimetoden

I nytte- og kostnadsanalyser oppstår nytte- og kostnadsvirkninger sjelden på samme tidspunkt. Derfor er det nødvendig å bruke en metode som kan omregne de årlige effektene til en felles verdi på nåtidspunktet. Nåverdimetoden er den vanligste metoden for å sammenligne og summere effektene som påløper i ulike år. Nåverdien er verdien i dag av samlede

nytte- og kostnadseffekter som oppstår i ulike perioder. For å beregne nåverdien diskonteres fremtidige effekter med en positiv diskonteringsrate. Dette betyr at jo lenger frem i tid en effekt oppstår, jo mindre vekt får den i nåverdiberegningen [43].

$$NNV > 0 \rightarrow \text{gunstig}$$

$$NNV < 0 \rightarrow \text{ikke gunstig}$$

Netto nåverdi er nettoverdien i dag av alle de verdsette nytte- og kostnadsvirkningene ved et tiltak. Formelen 5.1 for beregning av netto nåverdi (NNV) tar utgangspunkt i en nytte-kostnadsanalyse, men også ved rene kostnadsanalyser er det nødvendig å neddiskontere framtidige kostnader for å beregne nåverdien [43].

$$NNV_0 = -I_0 + \sum_{t=1}^n \frac{U_t}{(1+K)^t} \quad [43] \quad (5.1)$$

NNV	Netto nåverdi
I_0	Investeringskostnad eller den initielle utgiften
U_t	Kontantstrømmen for år t i investeringsperioden
K	Diskonteringsrenten som brukes til å diskontere kontantstrømmene til nåverdiene
n	Antall år i investeringsperioden
$(1+K)^t$	Diskonteringsfaktoren, som representerer verdien av penger

Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE) har utarbeidet en liste over nytte- og kostnadseffekter som bør inkluderes i en samfunnsøkonomisk analyse av investeringer i distribusjonsnett. Disse inkluderer investeringskostnader (korrigert for eventuell restverdi), drifts- og vedlikeholdskostnader, tapkostnader, avbruddskostnader, og flaskehalskostnader. Imidlertid har denne oppgaven kun tatt hensyn til investeringskostnadene for fjernstyrte brytere, som er presentert i tabell 8.7. De andre kostnadene som er nevnt i NVEs liste, har ikke blitt inkludert i beregningen av nåverdien (NNV) i denne studien. Dette er et område som kan forbedres i fremtidige analyser for å gi et mer helhetlig bilde av de samfunnsøkonomiske konsekvensene av slike investeringer [20].

5.1.2 Kalkulasjonsmetode

Ifølge NVE er den estimerte referanserenten for 2023 på 7,51%. Dette estimatet baserer seg på prognosene for konsumprisindeksen (KPI) for årene 2022, 2023, 2024 og 2025, som er henholdsvis 5,8%, 5,0%, 2,3% og 1,7%. Den gjennomsnittlige prognosen for inflasjon i disse årene er 3,7% [44].

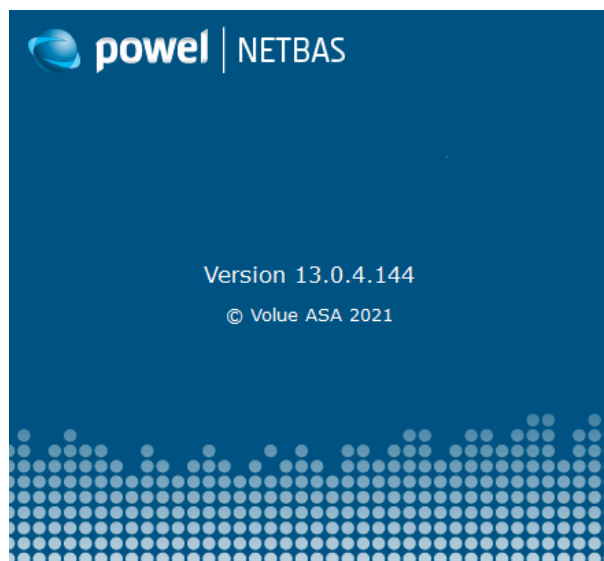
I denne oppgaven er referanserenten som brukes ved beregning av nåverdi (NNV) avrundet til 7,5%. I tillegg er levetiden for fjernstyrte brytere, ifølge Elvia, satt til 20 år. Dette er viktige parametere som har påvirket analysen og resultatene i oppgaven.

6 | Kraftsystemdata

6.1 NetBas

Powel NetBas er en programvare som Elvia As bruker til å administrere og tilrettelegge kraftnettet. Programvaren har en omfattende database som dekker alle aspekter av kraftnettet, fra målinger og analyser til drift og vedlikehold. Den bruker sine database for å gjøre kraftnettet mer effektivt, sikkert og den inkluderer også verktøy for å overvåke og planlegge nettet. Det sentrale nettarkivet inneholder all relevant informasjon om komponenter og anlegg, og gir nødvendige data til avanserte simulerings- og analyseverktøy. Resultater og data fra systemet kan presenteres på ulike måter, for eksempel i kart, grafikk, linjediagrammer eller som alfabetiske lister og oppslag, avhengig av brukerens behov og preferanser[5].

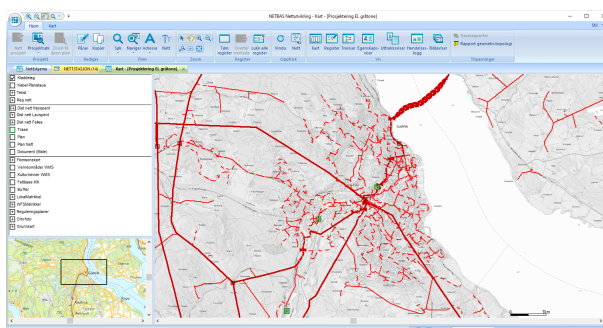
I databasen til programmet lagres det tekniske informasjon om kabler, kraftlinjer, generatører og transformatorer tilhørende nettselskapet, i tillegg til informasjon om sluttbrukere og FASIT-rapporter. NetBas har flere innebygde moduler, og avbrudds- rapporteringsmodulen er spesielt relevant i denne oppgaven. Denne modulen brukes av nettselskapene til å beregne KILE-kostnader for FASIT-rapportering, og også for å kartlegge behovet for investering i for eksempel ny fjernstyrt bryter [5].



Figur 6.1: Programvaren NetBas.

6.1.1 Kart

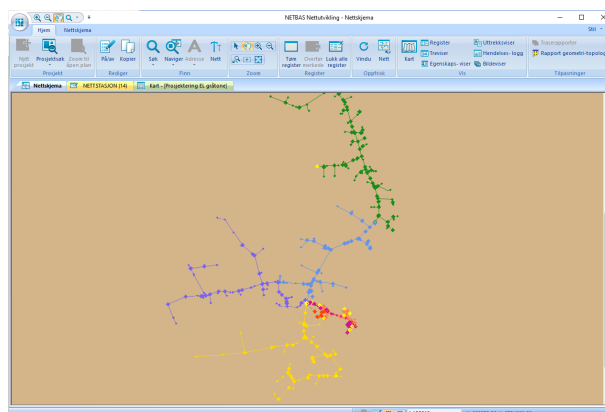
NetBas inneholder en digitalisert oversikt over alle kraftsystemets linjer, kabler og transformatorstasjoner som er geografisk plassert og registrert fra kart med ulik nøyaktighet. Ved å integrere NetBas og GIS-teknologi kan man lage temakart som gir en oversikt over kraftsystemet. Det første nasjonale ledningsatlas ble laget i 1996 og ble oppdatert i januar 2007 med detaljerte kart for større byområder og delt inn i 7 landsdeler. Det siste kartet ble oppdatert i august 2020, og neste oppdatering er planlagt for høsten 2022. E-verk og andre som trenger tilgang til informasjonen kan få tilgang til kartene [5].



Figur 6.2: Kart i Programvaren NetBas.

6.1.2 Bruk av programvare

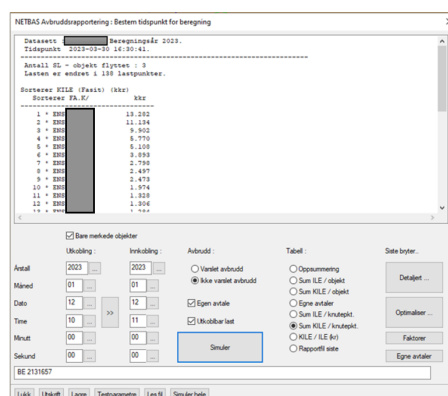
Analysen i dette avsnittet er sentrert rundt avgangen fra VIFL-transformatorstasjonen til BYBRUA, og denne avgangen hentes ut som en egen fil i NetBas. Figur 6.3 viser hvordan avgangen ser ut i nettskjema, hvor kun 11KV distribusjonsnett, inkludert kabelnett og luftlinjenett, er inkludert. Sumlastobjektet spiller en viktig rolle i nettstasjonen, da det inneholder nødvendig informasjon for å beregne KILE-kostnadene. Denne informasjonen blir brukt av NetBas til å simulere avbruddssituasjoner, og inkluderer blant annet antall sluttbrukere, kundegrupper og årlig estimert energiforbruk. Det er av stor betydning at denne informasjonen er oppdatert og nøyaktig, slik at KILE-kostnadene kan beregnes korrekt. Ved å simulere nettet i NetBas kan man få tilgang til data som KILE-kostnad, bryteres inn- og utetider, sluttbrukertype, lastforbruk og informasjon om kabeltype, brytere, transformatorstasjoner og føringer.



Figur 6.3: Nettskjema for valgte avgang.

6.1.3 Simulering i NetBas

Denne avgangen simuleres manuelt i NetBas under avbruddsrapportering-modulen ved å utføre flere trinn. Først må man trykke på "beregninger" og deretter velge "grafisk", som åpner et nytt vindu. Deretter velger man avbruddstype, for eksempel "ikke-varslet", og trykker på "simuler effektbryterfall". Deretter kan man justere temperaturen og trykke "OK". På neste side kan man velge dato og klokkeslett for når avbruddet skal skje. Når man trykker på "simuler", vil resultatene vises. Avbruddsrapporteringen gir informasjon om KILE-kostnader og utetid knyttet til avbruddet og berørte nettstasjoner. Den gir også en oversikt over kostnadene til hver nettstasjon og kundegruppe, og kan brukes til å identifisere hvilke som har størst innvirkning på resultatet. Figur 6.4 viser et eksempel på avbruddsrapportering for en bestemt tid og KILE-kostnader for ikke-levert energi.



Figur 6.4: Avbruddsrapportering, analyse av avgangens KILE-kostnader.

7 | Casestudie

Dette kapittelet har som formål å analysere VIFLAT-trafostasjon i Gjøvik distribusjonsnett til Elvia As, med tanke på å identifisere behovet for investeringer i fjernstyrte brytere og effektbrytere for å redusere avbruddstid og avbruddskostnader. For å oppnå dette formålet, vil en tilstandsanalyse bli utført på de avgangene i VIFL-trafostasjon. Denne analysen vil gi en grundig oversikt over avgangens ulike forutsetninger, og vil avdekke eventuelle mulige problemer eller behov som må tas hensyn til. Informasjonen som vil bli samlet inn vil komme fra en rekke ulike kilder, inkludert driftssentralen til Elvia, NetBas og FASIT-rapporter. Det er viktig å merke seg at dataene som blir samlet inn, vil ikke nødvendigvis være helt nøyaktige eller fullstendige. Derfor er det viktig å være kritisk til de dataene som blir samlet inn. Disse dataene vil bli nøye analysert for å gi en grundig beskrivelse av avgangens nåværende tilstand og behov for tiltak. Gjennom denne tilstandsanalysen vil det bli gitt en dypere forståelse av avgangens funksjon og vil gi grunnlaget for å identifisere mulige forbedringer som kan øke avgangens effektivitet og pålitelighet med tanke på fjernstyrte brytere.

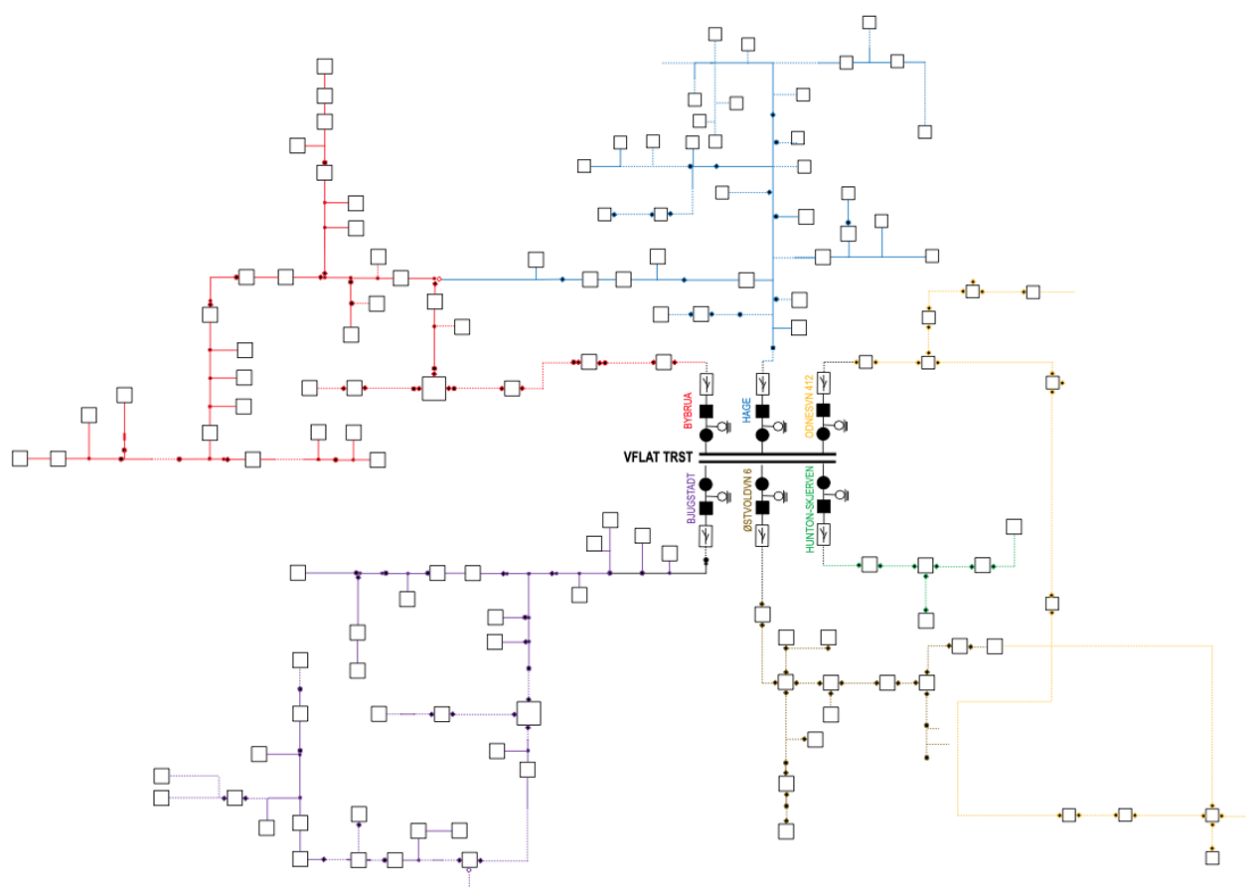
Basert på disse resultatene og vurderingene blir det gitt anbefalinger til Elvia AS om hvilken systemløsning som er best egnet for å optimalisere plasseringen av fjernstyrte effektbrytere i Bybrua. Disse anbefalingene vil være viktige for å øke effektiviteten og påliteligheten i strømmettet, og samtidig bidra til å redusere kostnadene for vedlikehold og drift.

Det er viktig å presisere at det ikke finnes noen effektbrytere i de ulike sonene i Bybrua-avgangen, og at montører manuelt må koble ut lastskillebryteren i tilfelle avbrudd. Dette gir en betydelig utfordring med tanke på tidsforbruk og kostnader. Å plassere fjernstyrte effektbrytere vil kreve en betydelig investering, men det vil være en langsiktig løsning som kan spare store kostnader i form av KILE-kostnader på sikt. Å investere i fjernstyrte effektbrytere vil øke driftssikkerheten og gi muligheter for raskere respons og gjenoppretting i tilfelle avbrudd. Det er viktig å vurdere både kortsiktige og langsiktige kostnader og gevinster når man tar beslutninger om investeringer i strømmettet.

7.1 VIFLAT- Transformatorstasjon

VIFLAT-trafostasjonen består av seks forskjellige avganger, men det er ingen fjernstyrte effektbrytere eller lastbrytere ute på avgangene. Dette betyr at eventuelle feil i systemet vil måtte rettes manuelt, og kan føre til lengre utetid og forstyrrelser for kundene.

For å forbedre situasjonen, utføres en grundig analyse av hver av de seks avgangene i trafostasjonen. Analysen innebærer å undersøke utetiden for hver avgang, antall berørte kunder i tilfelle en feil oppstår, og antall hendelser som har oppstått på hver avgang de siste 3 årene. Avgangen Bybrua er valgt for nærmere analyse, basert på feilhistorikk og årlige avbruddskostnader. Figur 7.1 gir en oversikt over de seks avgangene i VIFLAT-trafostasjon, og illustrerer omfanget av analysen som skal gjennomføres.

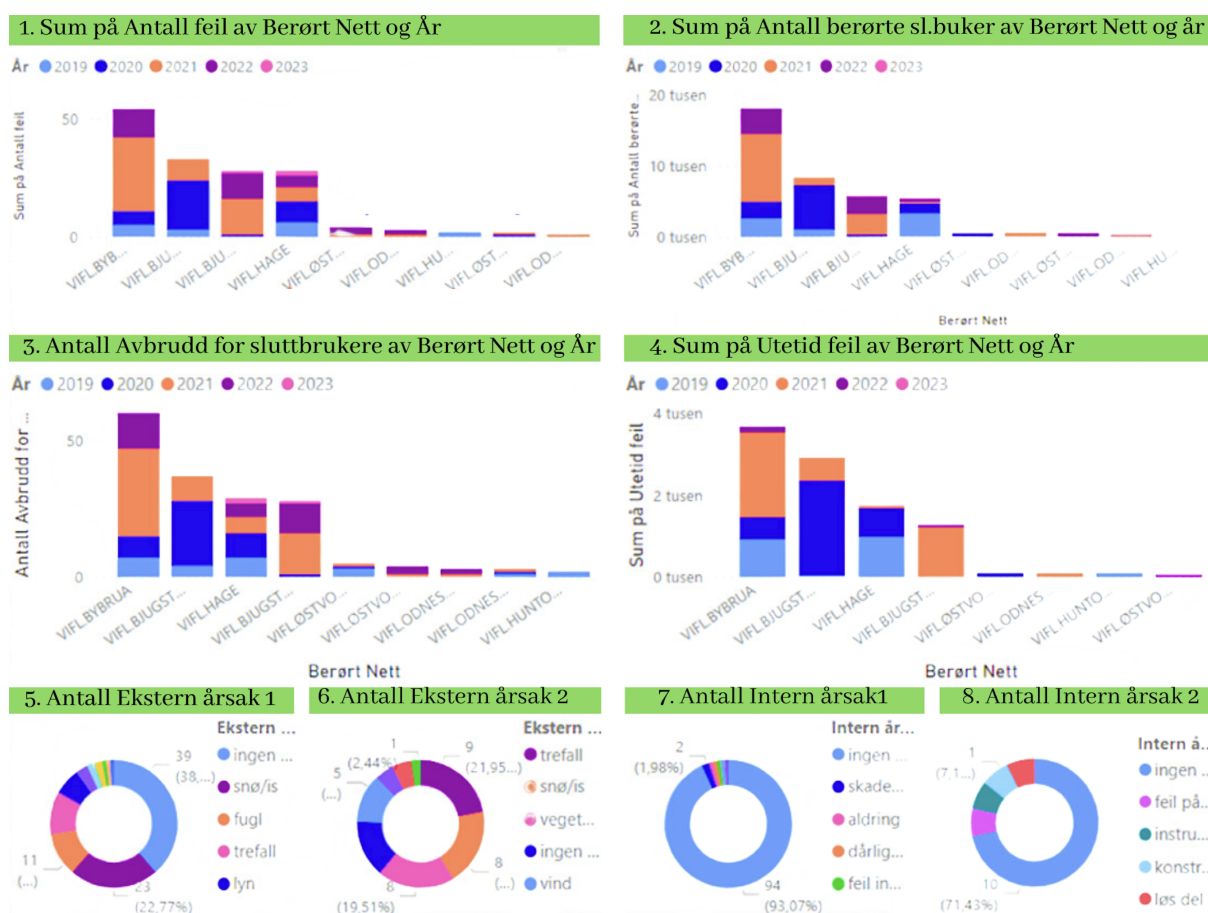


Figur 7.1: En-linjeskjema for VIFLAT-TS.

7.1.1 Historikk

I denne delen vil det bli sett nærmere på historiske data som er basert på informasjon fra oppdragsgiveren, Elvia AS. Informasjonen som er tilgjengelig dekker perioden fra 2019 til 2023 og kommer fra to kilder: NetBas og FASIT-rapporter.

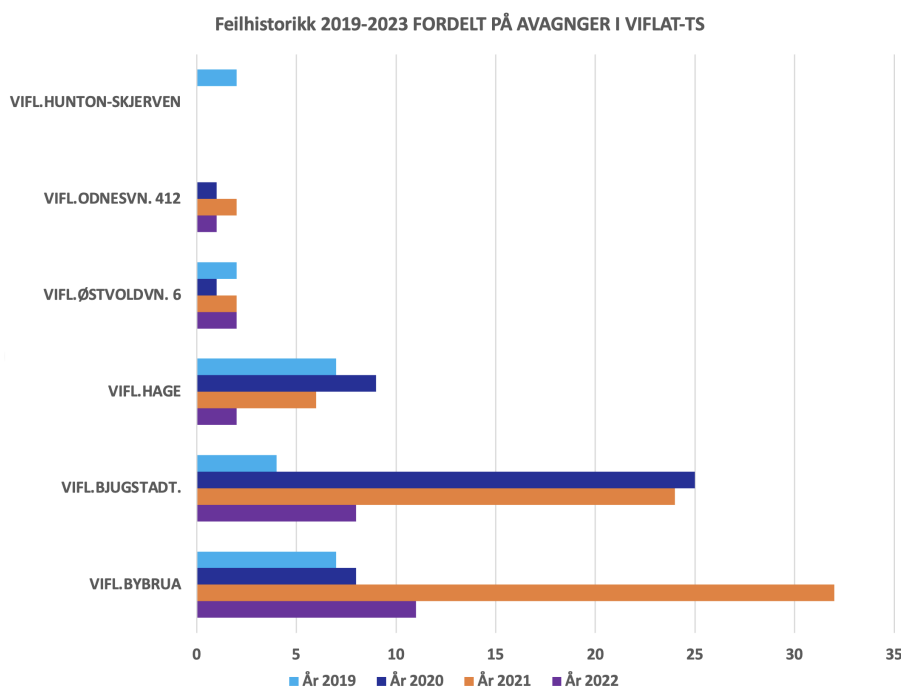
Det er viktig å forstå hvordan KILE-kostnader blir påvirket av ulike faktorer. Basert på statistikken for de siste tre årene, er det klart at KILE-kostnadene er mest kritiske om vinteren, da det skjer flest feil på nettet. Data er presentert i vedlegg D. Dette viser behovet for å ta hensyn til årstidene når man planlegger og optimaliserer kraftsystemet.



Figur 7.2: Historikkdata for VIFLAT-Tranformatorstasjon.

I figur 7.2 presenteres et dashboard som gir et oversiktsbilde av historisk data relatert til strømbrudd og tilknyttede feil i de seks avgangene. Dashboardet viser antall feil som har berørt nettet, summen av antall berørte sluttbrukere, antall avbrudd som har skjedd for sluttbrukere, summen av utetid for feil og årsakene til feil i løpet av perioden fra 2019 til starten av 2023. Ved å gi et visuelt bilde av dataene, kan dashboardet hjelpe med å identifi-

sere mønstre og trender i strømbrudd og feil i nettverket. Figuren viser at avgangen Bybrua er den som har blitt mest rammet av feil i nettverket i løpet av perioden. Dette faktum kommer tydelig frem i dashbordet i form av høyere tall for antall feil og avbrudd som har skjedd på denne avgangen sammenlignet med andre deler av nettverket. Dette er kritisk for nettselskapet Elvia, da det innebærer at det er behov for å iverksette tiltak for å forbedre leveringskvaliteten og redusere antall avbrudd for sluttbrukere på denne avgangen. Det er viktig at nettselskapet identifiserer de underliggende årsakene til feilene på denne avgangen og tar nødvendige skritt for å forbedre situasjonen. Ved å rette fokus mot avgangen Bybrua og arbeide med å redusere antall avbrudd på denne avgangen, kan Elvia øke kundetilfredsheten og styrke sitt omdømme som pålitelig leverandør av elektrisitet. Dashbordet gir en omfattende oversikt over feilhistorikk og årsaker til feil, som kan gi verdifulle innsikter for å optimalisere nettverksdriften og redusere avbruddene.



Figur 7.3: Antall feil per år for VIFL- Ts.

Figur 7.3 gir en oversikt over antall feil som har oppstått i perioden, fordelt på de ulike avgangene i nettverket. Det er tydelig at avgangen Bybrua skiller seg ut med flest antall feil i år 2021, sammenlignet med de andre avgangene. En mulig forklaring på dette kan være at det året var preget av kraftig stormvær som kan ha ført til økt antall feil på denne avgangen. Videre viser diagram 5 og 6 i figur 7.2 at trefall er den hyppigste enkeltfeilen, med en andel på 22%. Dette følges tett av feil som skyldes snø og is, med en andel på 21%. Det

er viktig å ta hensyn til disse faktorene når man arbeider med å forbedre leveringskvaliteten og redusere antall avbrudd i nettverket.

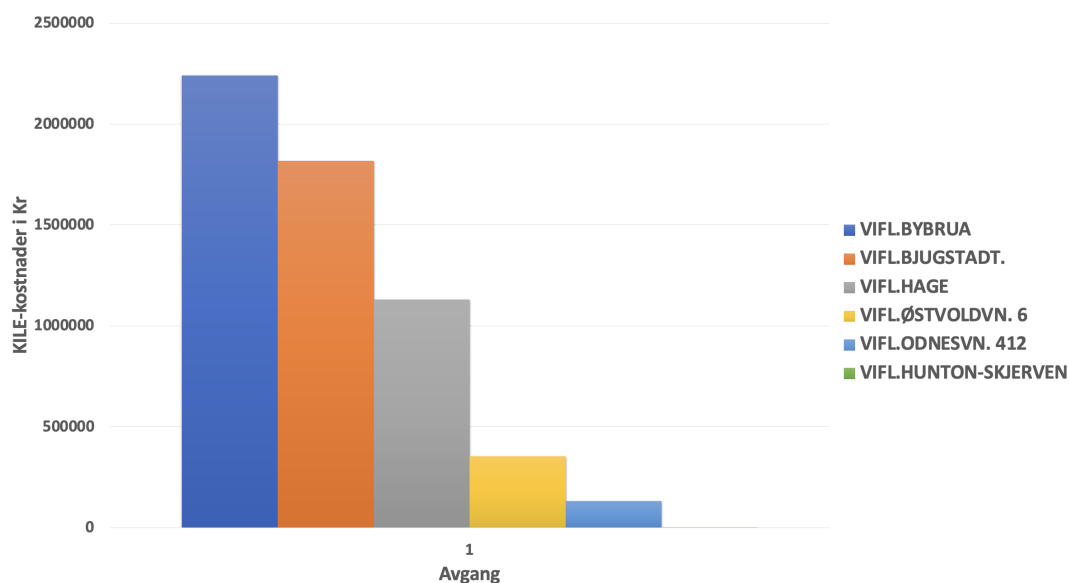
7.1.2 Avbruddskostnad

Her vil det bli sett på avbruddskostnadene i de seks avgangene i den oppgitte perioden. Det vil bli analysert data om antall avbrudd, varighet av hvert avbrudd og antall berørte sluttbrukere for hver avgang, for å beregne avbruddskostnadene totalt. Ved hjelp av denne analysen vil det kunnes lage en statistikk som viser hvilken avgang som har høyest KILE-kostnader (kostnader for ikke-levert energi) i perioden. For å presentere dataene på en tydelig måte, vil det bli laget et diagram som viser den totale avbruddskostnaden for hver avgang i perioden. Dette vil gi oss en visuell oversikt over hvilken avgang som har høyest avbruddskostnader, og hvor mye høyere disse kostnadene er sammenlignet med de andre avgangene.

Basert på analysene av dataene, er det funnet at kostnadene for alle seks avgangene utgjør totalt 5,2 millioner kroner i perioden. Gjennom denne analysen kan faktorer som påvirker avbruddskostnadene for hver avgang identifiseres, og strategier som kan bidra til å redusere kostnadene og forbedre kvaliteten på kraftforsyningen for sluttbrukerne utvikles. Med denne informasjonen vil nettselskapet kunne ta bedre beslutninger om hvordan de skal håndtere og forebygge avbrudd i fremtiden, og dermed sikre en mer stabil og pålitelig kraftforsyning for alle berørte sluttbrukere.

7.1.3 Avgang Bjugstad

Bjugstad avgangen er en viktig strømvang som går gjennom både skog og jordbruksområder i Gjøvik kommune. Avgangen blir forsynt fra VIFLA trafo stasjon, og har også en reserveforsyning fra Gjøvik energisenter i tilfelle avbrudd eller feil på hoved forsyningen. Avgangen består av en blanding av både luftlinje og jordkabel, men mesteparten av den er luftlinje. Totalt har avgangen 33 trafostasjoner som fordeler strømmen videre til 473 sluttbrukere i området. På grunn av den varierte og delvis krevende geografien som avgangen går gjennom, er det viktig å ha gode systemer for å overvåke og vedlikeholde både luftlinjen og jordkabelen. Dette er avgjørende for å sikre stabil strømforsyning til alle sluttbrukerne langs avgangen Tabell 7.1 viser type kunder for hver avgang.



Figur 7.4: KILE-kostnader for VIFLAT-trafostasjon basert på 3år

7.1.4 Avgang Hage

Hage avgangen forsyner rundt 460 sluttbrukere i området. Avgangen blir hovedsakelig forsynt fra VIFLA trafo stasjon, men har også tre reserveforsyninger fra avgangen Biri, Mjøstrand Gjøvik og avgangen Bybrua. Avgangen består av 36 trafostasjoner og er primært en luftlinje, selv om det er noen deler av avgangen som går under jorden. Hage avgangen gir strøm til både private husholdninger og bedrifter og er avgjørende for å opprettholde den daglige driften i området. Med sine tre reserveforsyninger sikrer Hage avgangen en stabil strømforsyning til sluttbrukerne, selv i tilfeller av strømbrydd eller andre utfordringer. Tabell 7.1 viser type kunder for hver avgang.

7.1.5 Hunton/Skjerven

Avgangen Hunton/skjerven er spesielt designet for å forsyne industriområder med elektrisitet. For å sikre en stabil og pålitelig strømforsyning til industrien, er det kun brukt jordkabel i denne avgangen. Avgangen består av fem nettstasjoner, som er plassert strategisk rundt i området. Disse nettstasjonene sørger for at strømmen blir levert med riktig spenning og effekt til de forskjellige industrielle kundene som er tilknyttet avgangen. Tabell 7.1 viser type kunder for hver avgang.

7.1.6 Avgang Odnsvn 412

Odnsvn 412 avgangen er en viktig del av det elektriske nettverket i området og blir forsynt fra VIFLA trafo stasjon. Avgangen har også to reserveforsyninger fra Gjøvik trafostasjon og Hunndalen sentrum, som sikrer kontinuerlig strømforsyning til sluttbrukere selv om det skulle oppstå strømbrydd eller andre forstyrrelser. Hele avgangen består av jordkabel, som gir fordeler som økt driftssikkerhet, mindre vedlikeholdsbehov og redusert påvirkning på miljøet. Avgangen har totalt 12 trafostasjoner og betjener 553 sluttbrukere i området. Tabell 7.1 viser type kunder for hver avgang.

7.1.7 Avgang Østvoldvn 6

Avgangen Østvoldvn 6 forsyner 541 sluttbrukere med elektrisitet. Avgangen blir forsynt fra VIFLA trafo stasjon og har en reserveforsyning fra Hunndalen sentrum. Med en kombinasjon av jordkabel og luftlinje, avgangen har 13 trafostasjoner. Tabell 7.1 viser type kunder for hver avgang.

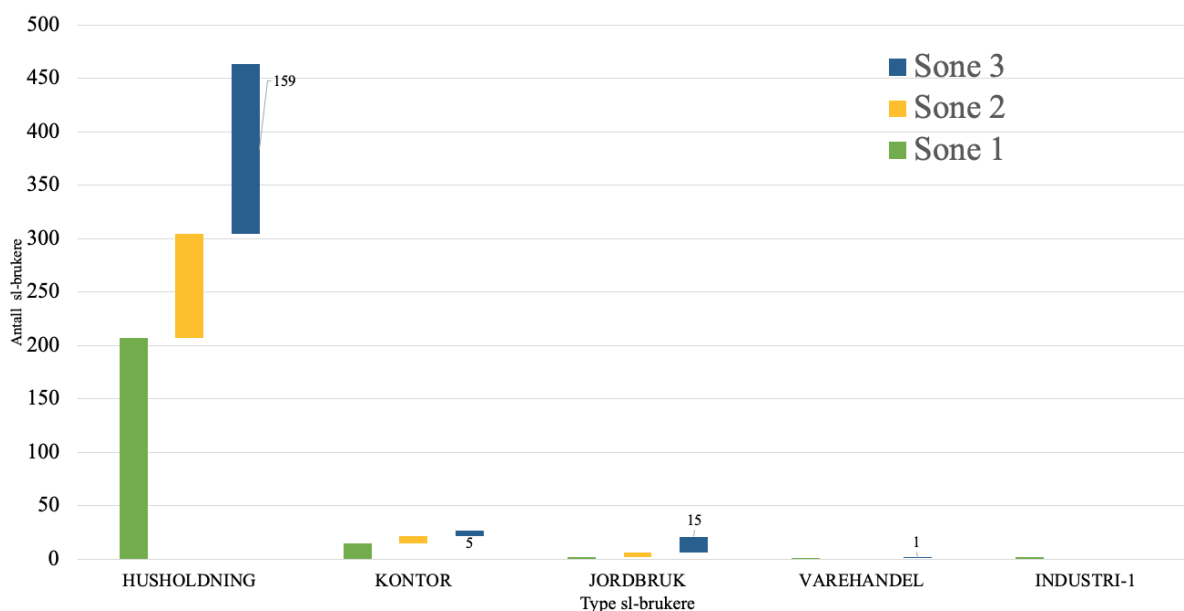
7.2 Avgang Bybrua

Avgangen Bybrua har vist seg å være den mest problematiske, med den høyeste forekomsten av feil og avvik i driften. Dette har ført til at det er blitt valgt å utføre en omfattende analyse av denne avgangen for å identifisere mulige årsaker til feil og iverksette tiltak for å forbedre driften. Analysen vil også undersøke hvor det vil være hensiktsmessig å installere fjernstyrte brytere for å effektivisere driften. Avgangen Bybrua er delt inn i 3 sone vist i kapitlene 7.2.1, 7.2.2 og 7.2.3. I tillegg er det valgt å bruke seksjoneringsmetodikken beskrevet i delkapittel 3.4. Seksjoneringsmetodikken tar utgangspunkt i tilgjengelige brytere og deler inn sonene i mindre seksjoner som kan isoleres ved en feil. Ved å bruke denne metoden, kan man sikre at feil i ett område ikke påvirker resten av nettverket, og man kan raskt og effektivt isolere feilen og gjenopprette strømforsyningen. Dette systemet gir en mer organisert måte å håndtere avgangen på, og gir mulighet for en grundigere kontroll av prosessen.

Når det oppstår en feil på nettet, vil effektbryteren i transformatorstasjonen koble ut, og

hele linjen blir uten strøm. Dette kan være en stor utfordring for driftssentralen, da de ikke har noen måling som gir informasjon om hvor feilen oppstod. Dermed må de starte med å undersøke og prøve å seksjonere bort feilen.

Etter at driftssentralen har lykket med å seksjonere bort feilen, vil en montør rykke ut for å nærmere lokalisere feilen og gjennomføre arbeid som kreves for å opprette normaltilstanden. Dette kan være en utfordrende oppgave, da feilen kan ha oppstått på et hvilket som helst punkt langs linjen. Montøren vil måtte undersøke flere forskjellige muligheter og følge en rekke prosedyrer for å finne feilen. Når feilen er lokalisert, vil montøren kunne utføre nødvendige reparasjoner eller bytte ut defekte komponenter. Deretter vil driftssentralen starte opp igjen strømmen til de delene av nettet som har vært uten strøm.

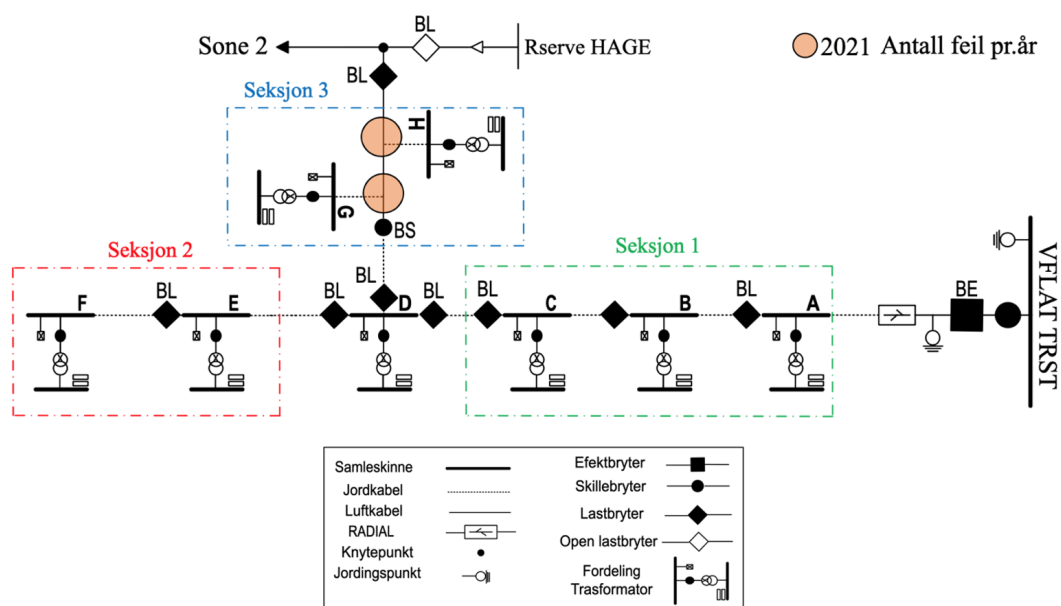


Figur 7.5: Fordelt sluttbrukere i de 3 sonene i avgangen Bybrua

Tabell 7.1: Utetid ved automatisk utkobling VIFLAT- Trafostasjon f.o.m 06.03.2019 t.o.m 14.08.2022.

Avgang	Anatll hendelse	Antall berørte sl-brukere	Varighet i hendelser [Timer]	KILE-kostnader [Kr]
BYBRUA	37	16777	2.04	2 177 999
BJUGSTAD	42	12691	1.16	1 665 465
HAGE	11	5002	1.03	1 069 232
ØSTVOLDVN.6	2	1078	0.18	335 651
ODNESVN. 412	1	553	0.15	59 460
HUNTON	2	9	0.11	2 626
SUM	95	36110	4.33	5 310 436

7.2.1 Sone 1



Figur 7.6: Forenkelt oversikt over Sone 1 i Bybrua.

Sone 1 starter ved trafostasjonen og går videre til sone 2. Siden sonen er relativt kompleks, har det blitt valgt å dele den opp i åtte ulike seksjoner, merket fra A til H. Hver seksjon har blitt inndelt i fargede grupper for å kunne visualisere og identifisere eventuelle feil som oppstår. I løpet av de siste tre årene, har det vært tre feil i seksjon 3 i 2021.

Sonen er hovedsakelig lagt i kabel, med unntak av slutten av sonen, hvor det er benyttet luftlinje. Denne ulike måten å legge sonen på, kan føre til forskjeller i feiloppdagelse og håndtering, og derfor har det vært nødvendig å ta hensyn til dette i inndelingen av sonen.

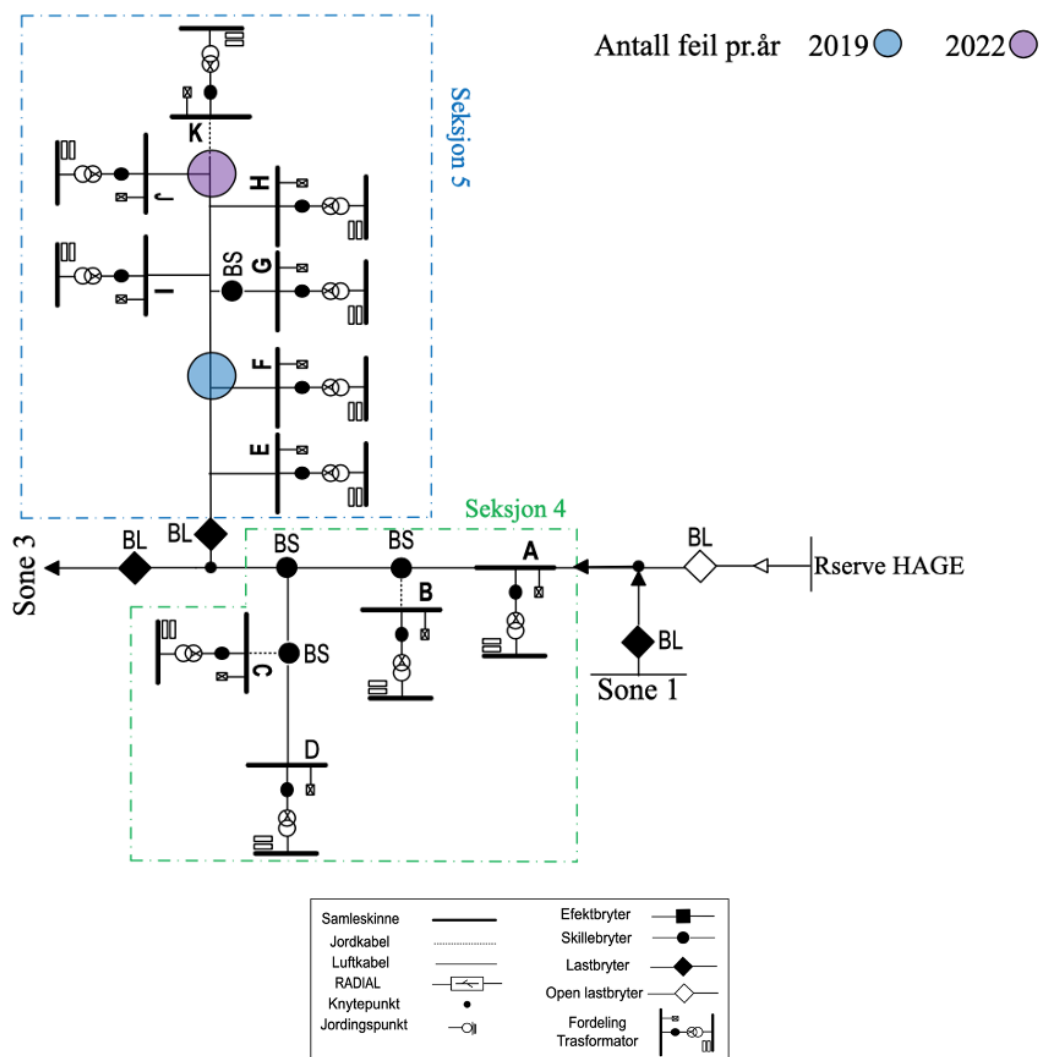
Det er viktig å merke seg at feil i forskjellige grupper kan ha ulik innvirkning på sonen. For eksempel, hvis det skulle oppstå en feil i gruppe 1, vil hele sone 1 kunne bli påvirket, siden denne gruppen er en integrert del av sonen. På den annen side, hvis det skulle oppstå en feil i gruppe 2, vil ikke dette ha noen direkte innvirkning på sone 1, ettersom denne gruppen ikke er koblet til sonen på samme måte som gruppe 1. Dersom det skulle oppstå en feil i seksjon A, vil det være nødvendig å først åpne bryteren SB manuelt av en montør ved å isolere feilen. Dette vil gi tilgang til reserveforsyning via sone 2, som vil sikre at strømforsyningen opprettholdes mens feilen utbedres.

Denne sonen har totalt 227 sluttbrukere med et årlig energiforbruk på 2050255 kWh/år. Av disse sluttbrukerne består 23% av boliger, 35% av kommersielle bygninger, 28% av industrielle bygninger, og 14% av offentlige bygninger. Dette indikerer en bred variasjon av bygningstyper og bruksområder i sonen som vil kreve forskjellige tilnærminger for å optimalisere energiforbruket og redusere energikostnadene. Det er viktig å merke seg at disse tallene kan endre seg over tid, og det er derfor nødvendig å regelmessig overvåke og analysere energiforbruket i sonen for å kunne tilpasse energiltak og strategier etter behov.

Tabell 7.2: Trafostasjon, energiforbruket og antall sl-brukere i sone 1 VIFLA- Bybrua.

Navn NS	kWh/år	Sl- brukere
ENS A	28308	56
ENS B	9821	1
ENS C	10694	31
ENS D	989575	72
ENS E	479525	35
ENS F	103459	8
ENS G	300709	15
ENS H	128164	9
SUM	2050255	227

7.2.2 Sone 2



Figur 7.7: Forenkelt oversikt for Sone 2 bybrua.

Sone 2 starter fra lastkillebryter BL, som skiller den fra sone 1. Denne sonen er viktig for å sikre at strømforsyningen opprettholdes hvis det skulle oppstå en feil i sone 1 eller sone 3. Sone 2 har også tilgang til reserveforsyning fra avgangen Hage, som kan benyttes i tilfelle en nødsituasjon.

Sone 2 strekker seg fra sone 1 til sone 3, og er delt inn i seksjon 4 og 5. Det er totalt 11 nettstasjoner fra A til K. Sone 2 består hovedsakelig av luftlinje, noe som gjør at det er spesielt viktig å ha en nøyaktig inndeling av seksjonene og gruppene, for å sikre at feil raskt kan identifiseres og utbedres.

Sone 2 har en betydelig mengde sluttbrukere med totalt 104 brukere. Disse sluttbrukerne

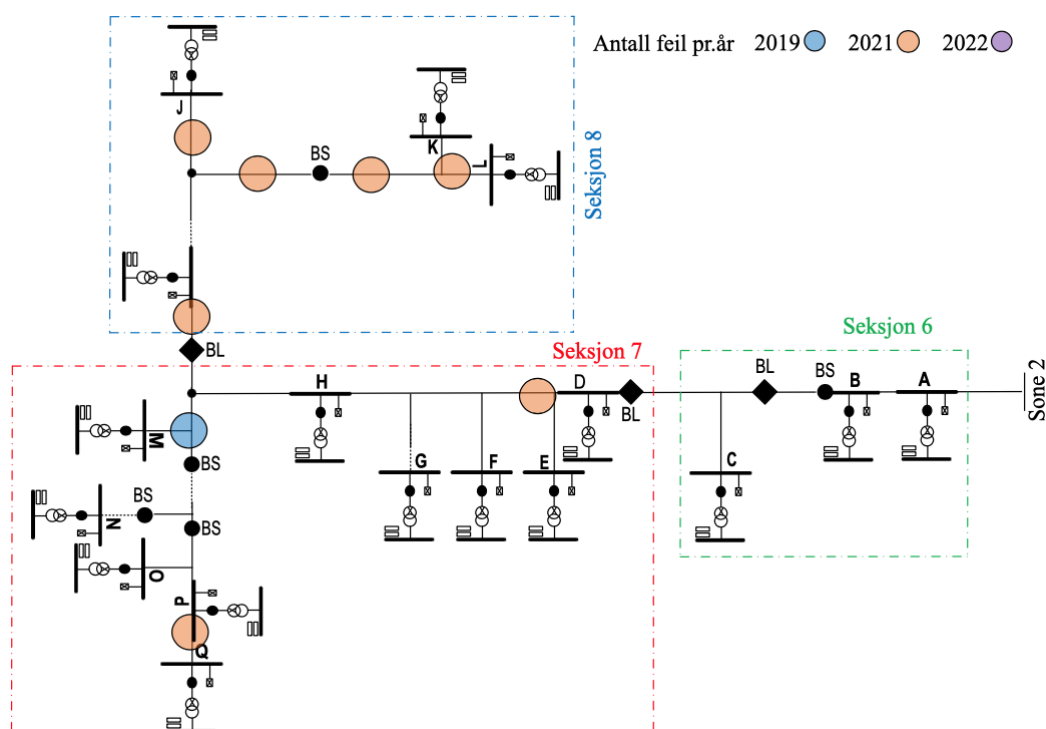
er delt inn i forskjellige grupper basert på deres formål og energiforbruk. Tabell 7.7 som presenterer disse gruppene viser at den største gruppen er de private husholdningene, som utgjør 67% av totalt antall sluttbrukere i sonen. Deretter følger bedrifter og offentlige bygninger, som står for henholdsvis 22% og 11% av sluttbrukerne i sonen.

Årlig energiforbruk for sone 2 er betydelig, med totalt 3 144 225 kWh/år. Med et så stort energiforbruk er det nødvendig å sørge for at driften er stabil og pålitelig for å unngå unødvendige avbrudd som kan påvirke sluttbrukerne.

Tabell 7.3: Trafostasjon, energiforbruket og antall sl-brukere i sone 2 VIFLA- Bybrua.

Navn NS	kWh/år	Sl- brukere
ENS A	350082	23
ENS B	249210	16
ENS C	116533	8
ENS D	75970	4
ENS E	260224	19
ENS F	1823301	15
ENS G	114748	10
ENS H	35360	6
ENS I	67927	3
ENS J	50870	4
SUM	3144225	108

7.2.3 Sone 3



Figur 7.8: Forenkelt oversikt for Sone 3 bybrua.

Sone 3 starter fra lastkillebryter BL i seksjon 6, som skiller den fra både sone 1 og 2. Denne sonen strekker seg fra sone 2 til den siste lastkillebryteren før forbruksstedene, og er delt inn i 17 nettstasjoner fra A til Q.

I løpet av de siste tre årene, har det vist seg at sone 3 har hatt det høyeste antallet feil, som er tydelig illustrert i Figur 7.8. Hvis det oppstår en feil ved enden av sonen, spesifikt i Seksjon 8, vil hele avgangen i Bybrua miste strømforsyningen. Dette vil resultere i betydelige KILE-kostnader for nettselskapet. For å unngå slike situasjoner, kan implementeringen av fjernstyrte brytere mellom seksjonene være en effektiv løsning. Med fjernstyrte brytere i bruk, vil det være mulig å isolere feilen raskt, noe som sikrer at resten av avgangen beholder strømforsyningen.

I sone 3 er det totalt 181 sluttbrukere med et årlig energiforbruk på 1951397 kWh/år. Den største sluttbrukergruppen i sonen er husholdninger, med en andel på hele 72,5% av det totale energiforbruket. Deretter følger næringsbygg med 18,5%, mens offentlige bygg utgjør 4,7% av energiforbruket. Industri og landbruk står for henholdsvis 3,4% og 0,9% av

energiforbruket i sonen.

Tabell 7.4: Trafostasjon, energiforbruket og antall sl-brukere i sone 3 VIFLA- Bybrua.

Navn NS	kWh/år	Sl- brukere
ENS A	188467	12
ENS B	184880	13
ENS C	155374	12
ENS D	206526	2
ENS E	268080	23
ENS F	139150	8
ENS G	118006	8
ENS H	73180	8
ENS I	59808	5
ENS J	166033	19
ENS K	80963	6
ENS L	52605	6
ENS M	29540	24
ENS N	236573	19
ENS O	155432	12
ENS P	23669	4
ENS Q	19637	2
SUM	2157923	183

7.3 Grovanalyse

For å kunne gi anbefalinger på plassering av nye fjernstyrte brytere i de tre sonene, har det blitt gjort en grovanalyse som tar i bruk relevant teori og data. Grovanalysen er basert på antagelser og forenklinger, og tar i bruk både NetBas og teori fra kapittel 3, 4 og 5 i analysen.

Lastkategoriene til de forskjellige sluttbrukerne i sonene blir hentet fra NetBas, og brukt til å vurdere hvor viktig det er å opprettholde strømleveransen i de forskjellige sonene. Dette er en viktig faktor når man vurderer hvor det er mest hensiktsmessig å plassere nye fjernstyrte brytere.

I tillegg til å ta hensyn til lastkategoriene, presenterer grovanalysen også en metodikk for

pålitelighetsberegning for avgangen Bybrua. Dette gir en mer nøyaktig vurdering av risikoen for avbrudd i denne avgangen, og kan bidra til å identifisere områder der det er spesielt viktig å ha fjernstyrte brytere.

Det er viktig å merke seg at grovanalysen er basert på antagelser og forenklinger, og at det kan være behov for en mer grundig analyse før man tar endelige beslutninger om plassering av fjernstyrte brytere. Det kan være nødvendig å ta hensyn til flere faktorer, som for eksempel økonomi og tilgjengelighet av teknologi, før man kan gi en endelig anbefaling.

7.3.1 Besparelse for avbruddstid og ILE

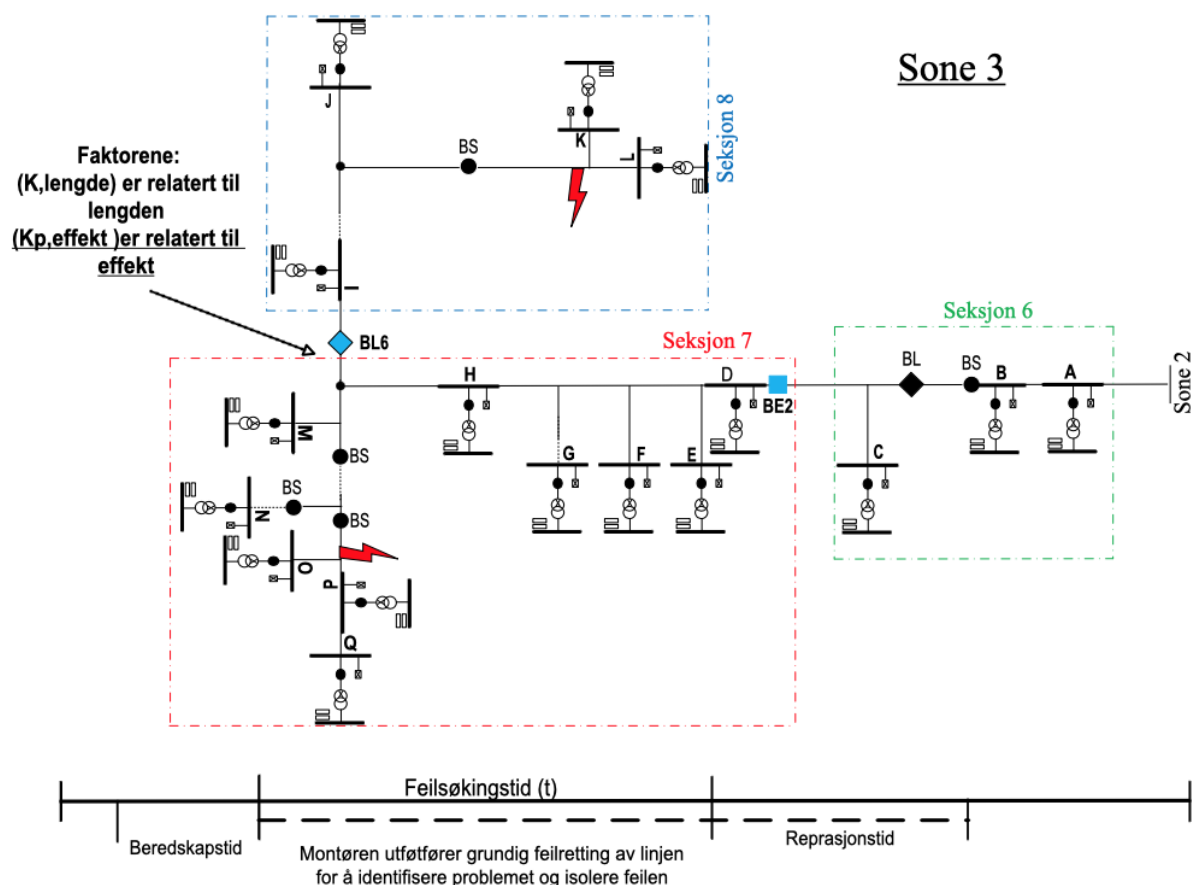
Det utføres en analytisk undersøkelse med formål om å evaluere en metodikk som tar sikte på å kvantifisere besparelser og avbruddstider etter implementeringen av nye fjernstyrte brytere i avgangen. Resultatene fra analysen blir deretter overført til et regneark, hvor teorien fra kapittel 2 om leveringspålitelighet blir benyttet for å støtte metodikken for beregning av den forventede økningen i leveringspålitelighet (ILE).

For å oppnå dette, brukes avbruddsrapporten til å analysere gjennomsnittlig ILE, avbruddstid og antall avbrudd i løpet av et år. Ved hjelp av regneverktøyet benyttes et eksempel fra sone 3, seksjon 7 og 8 for å identifisere områder med hyppige avbrudd og behovet for fjernstyrte brytere. Gjennom riktig plassering av disse bryterne kan man redusere tiden det tar å gjenopprette strømtilførselen.

Figur 3.4 fra delkapittelet 3.3.1 om feilsøking illustrerer et tidslinjeforløp og hendelser ved avbrudd i strømmettet. Begrepet koblingstidrefererer til den tidsperioden som kreves fra driftssentralen sender en feilmelding til montørene, til feilen blir isolert ved nærmeste bryter, slik at strømforsyningen kan gjenopprettes for resten av nettet. Deretter tar montøren seg til feilstedet og isolerer den defekte enheten, hvor reparasjonstiden påbegynnes.

Faktorene (K_{lengde}) og $P \cdot (K_{\text{effekt}})$ brukes for å bestemme den optimale plasseringen av de nye fjernstyrte bryterne. Disse faktorene tar hensyn til både linjens lengde og effektfordelingen for å sikre effektiv feilsøking og minimalisere tidsbruk.

Formlene fra tabell 7.5 gir en metode for å beregne den optimale plasseringen av fjernstyrte brytere basert på faktorene K_{lengde} og K_{effekt} . Videre kan man estimere ILE (Ikke levert



Figur 7.9: Eks. seksjon 7 og 8 med fjernstyrt bryter, samt faktorene K_{lengde} og $K_{p,effekt}$.

energi) for feilsøkingstid og effektjusteringer i seksjon 7 og 8. Ved å ta hensyn til disse justeringene, kan man redusere tidsbruk og effektivisere feilsøkingprosessen for å minimere ulempene for sluttbrukere.

Faktorene (K_{lengde}), som er relatert til lengde, og ($K_{p,effekt}$), som er relatert til effekt, benyttes for å bestemme den optimale plasseringen av de nye fjernstyrte bryterne. Når en fjernstyrt bryter blir plassert nær midtpunktet av belastningen, tas hensyn til både kritiske sluttbrukergrupper og den aktuelle linjens lengde. Feilsøkingstiden fra trafostasjonen til manuell feilsøkingstid i seksjon 7 kan formuleres som $K_{lengde} \cdot t$, mens effektfordelingen i

Formel	Forklaring
$K_{lengde} \cdot t$	Justert feilsøkingstid i seksjon 7
$(1 - K_{lengde}) \cdot t$	Justert manuell feilsøkingstid i seksjon 8, inkludert transporttid
$K_{effekt} \cdot P$	Justert effekt i seksjon 7
$P \cdot (1 - K_{effekt})$	Effekt i avbruddsperioden
$P \cdot ((1 - K_{effekt}) \cdot (1 - K_{lengde})) \cdot t$	Ny ILE (Ikke levert energi) for manuell feilsøkingstid

Tabell 7.5: Formler og forklaringer for justert feilsøkingstid, manuell feilsøkingstid, justert effekt og ny ILE for manuell feilsøkingstid.

seksjon 7 blir gitt som $K_{\text{effekt}} \cdot P$. I likningen $K_{\text{lengde}} \cdot t$ representerer (t) den opprinnelige feilsøkingstiden i seksjon 7, mens K_{lengde} indikerer forholdet eller andelen av tiden som dedikeres til feilsøkingen.

Ved å multiplisere K_{lengde} med t , oppnår man den justerte feilsøkingstiden i seksjon 7. Dette impliserer at feilsøkingstiden justeres i henhold til K_{lengde} -faktoren, som kan være relatert til forskjellige parametere som linjens lengde, seksjonens kompleksitet eller andre relevante faktorer. Denne likningen gir dermed en metode for å beregne den nye feilsøkingstiden basert på den opprinnelige tiden og K_{lengde} -faktoren. Tilsvarende representerer likningen $(1 - K_{\text{lengde}}) \cdot t$ den justerte manuelle feilsøkingstiden i seksjon 8 som tar hensyn til montørens transporttid fra enden av linjen. I denne likningen representerer t den opprinnelige feilsøkingstiden i seksjon 8 før transporttiden blir inkludert, og indikerer forholdet eller andelen av tiden som allokeres til transporten. Videre, ved å multiplisere $(1 - K_{p,\text{effekt}})$ med P , kan man beregne den justerte effekten i seksjon 8. Dette betyr at effekten blir redusert med en andel som tilsvarer $K_{p,\text{effekt}}$ -faktoren. $K_{p,\text{effekt}}$ -faktoren kan være relatert til forskjellige parametere som feilbelastning, kapasitetsgrenser eller andre relevante faktorer. Likningen gir dermed en måte å beregne den nye effekten i seksjon 8 basert på den opprinnelige effekten og $K_{p,\text{effekt}}$ -faktoren.

Etter en grovseksjonering i seksjon 7 er gjennomført og det er oppdaget at feilen befinner seg i seksjon 8, vil montøren kjører fra slutt punktet av seksjon 8 for å utføre manuelt feilsøking. Seksjon 7 påvirkes ikke av feilen. Dette betyr at feilsøking og reparasjon kun er nødvendig i seksjon 8. Dermed er den manuelle feilsøkingstiden i seksjon 8 redusert til $(1 - K_{\text{lengde}}) \cdot t$. Dette betyr at tiden det tar for montøren å identifisere og rette feilen i seksjon 8 er redusert med en faktor K_{lengde} . Samtidig kan effekten i avbruddsperioden uttrykkes som $P \cdot (1 - K_{p,\text{effekt}})$, der K_p er en faktor som påvirker effekten. Den nye ILE for manuell feilsøkingstid kan deretter beregnes som $P \cdot ((1 - K_{p,\text{effekt}}) \cdot (1 - K_{\text{lengde}})) \cdot t$.

ILE og avbruddstid er gjennomsnittlig hentet fra avbruddsrapporten for å analysere ytelsen til avgangen ved bybrua. Imidlertid er det i dette eksemplet valgt å ta utgangspunkt i sone 3 og sesjon 7 og 8 fra figur 7.9, da det er observert flest feil i denne sonen. Selv om KILE-kostnadene for denne sonen er lave i forhold til andre soner, kan en feil her ha store økonomiske konsekvenser for hele avgangen. Den totale lengden av linjen for sone 7 og 8

er omtrent 11,83 kilometer, og effekten i midtpunktet er hentet fra NetBas. Seksjon 7 alene har en lengde på rundt 7,3 kilometer, som utgjør ca. 52% av det totale energiforbruket. Med tanke på at det tekniske utstyret er gammelt, er det antatt en faktor K_s for en gjennomsnittlig økning i antall avbrudd på 0,15. Gjennomsnittene beregnet med K_s -faktoren, viser en gjennomsnittlig avbruddstid på 14,7 minutter (tilsvarer 0,245 timer) og et gjennomsnittlig antall avbrudd på 4,7 per år. Ifølge Elvia AS er koblingstiden for manuelle brytere omtrent 35-60 minutter. Det antas at den manuelle feilsøkingstiden utgjør 55% av den totale avbruddstiden. Med andre ord, hvis det totale avbruddet på linjen er valgt å være 45 minutter, vil den manuelle feilsøkingstiden være estimert til 24,75 minutter. Det er viktig å merke seg at disse tallene er basert på antakelser og estimater for å analysere situasjonen og ytelsen til avgangen.

Informasjon	Verdi	Kilde
ILE og avbruddstid	Gjennomsnittlig hentet fra avbruddsrapporten	Avbruddsrapporten
Valgte soner og seksjoner	Sone 3, Seksjon 7 og 8	Figur 7.9
Antall feil i sonen 3	Flest feil observert	Figur 7.9
KILE-kostnader for sonen 3	Lave sammenlignet med andre soner	Figur 7.9
Total lengde for sone 7 og 8	Omtrent 5,3 kilometer	NetBas
Effekt i midtpunktet	Hentet fra NetBas	NetBas
Lengde for seksjon 7	Omtrent 2,1 kilometer	NetBas
Andel av totalt energiforbruk i seksjon 7	Ca. 52%	Antakelse
Faktor for gjennomsnittlig økning i avbrudd	$K_s = 0,15$	Antakelse
Gjennomsnittlig avbruddstid	14,7 minutter (0,245 timer)	K_s -faktoren 0,15
Gjennomsnittlig antall avbrudd per år	7,5	K_s -faktoren 0,15
Koblingstid for manuelle brytere	Omtrent 35-60 minutter	Elvia AS
Andel avbruddstid brukt til manuell feilsøking	55%	Antakelse
Estimert manuell feilsøkingstid ved 45 min avbrudd	24,75 minutter	Beregning

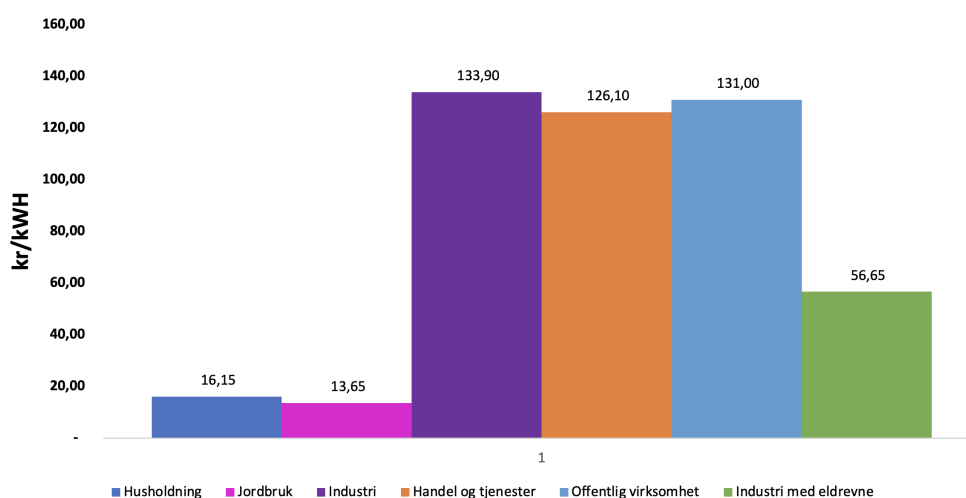
Tabell 7.6: Informasjon og kilder for analysen av ILE og avbruddstid

Bespart ILE og Avbruddstid					
Feilsøkingstiden (time)	ILE (Ikke levert effekt)KW	Lengden av seksjonen	Totale lengden Km	K_{Lengde}	K_{Effekt}
0,42	37	2,1	5,3	0,40	49 %
		3,2			
Område	Ved plassering av:	Koblingstidens energitap ILE (kWh)	Bespart Energi (kWh)		
Seksjon 7	Fjernstyrt bryter	6,16	9,38		
Seksjon 8		4,79	10,75		
Område	Fjernstyrt bryter	Manuel feilsøkingstid t (minutter)	Differansen i (minutter)	Gj. bespart koblingstid	
Seksjon 7	Uten	24,75	11,55	12,34	
	Med	13,2			
Seksjon 8	Uten	24,75	13,2		
	Med	24,75			

Figur 7.10: Regneverktøy for bespart ILE basert på K_{lengde} og $K_{p,effekt}$.

Figur 7.10 viser et regneark som presenterer bespart ILE (Ikke levert energi) og avbruddstid ved plassering av en ny fjernstyrt bryter mellom seksjon 7 og 8. Basert på formlene som er presentert i Tabell 7.5, blir de nevnte verdiene i Figur 7.10 beregnet. Regnearket gir en oversikt over de gjennomsnittlige besparelsene i koblingstid og ILE-verdier. For denne plasseringen er den gjennomsnittlige besparelsen i koblingstid beregnet til 12,34 minutter. I tillegg er bespart ILE estimert til omtrent 10.1 kWh per avbrudd, og den årlige ILE-besparelsen basert på 4,2 antall avbrudd er beregnet til 42,42 kWh. Disse dataene vil bli brukt som input i regnearket for Bespart KILE for å analysere kostnadsbesparelser knyttet til ILE og avbruddstid.

7.3.2 Beregning av KILE-besparelse



Figur 7.11: Kostnaden for et spesifikt avbrudd på referansetidspunktet for ulike kundegrupper

Basert på KILE-kostnadene for de ulike kundegruppene som er presentert i Figur 7.11, kan en spesifikk avbruddskostnad på referansetidspunktet i et enkelt avbrudd beregnes. Referansetidspunktet er et viktig parameter for å beregne KILE-kostnadene, og ved å endre dette tidspunktet vil de tilhørende KILE-kostnadene bli vist. Dette gjør det mulig å evaluere og sammenligne kostnader forbundet med avbrudd for forskjellige tidspunkter og kundegrupper. Ved å analysere KILE-kostnadene kan man få innsikt i de økonomiske konsekvensene av avbrudd for ulike kundegrupper og dermed legge til rette for mer effektive tiltak for å forbedre påliteligheten og redusere avbruddskostnadene.

Beregning av kostnad for vilkårlig avbrudd

På følgende måte kan kostnaden for et avbrudd på et vilkårlig tidspunkt j beregnes:

Fra likning 7.1 har vi verdien på referansetidspunktet:

$$K_{ref} = k_{p,ref} \cdot P_{ref} \quad [45] \quad (7.1)$$

Ved et vilkårlig tidspunkt j :

$$K_j = k_{p,j}(r) \cdot P_j \quad [45] \quad (7.2)$$

der

$$K_{p,j} = k_{p,ref}(r) \cdot f_{k,j} \quad [45] \quad (7.3)$$

Korreksjonsfaktoren for tidspunkt j kan bli funnet ved:

$$f_{k,j} = f_{K,j} \cdot \frac{P_{ref}}{P_j} \quad [45] \quad (7.4)$$

der

$$f_{k,j} = f_{K,h} \cdot f_{K,d} \cdot f_{K,m} \quad [45] \quad (7.5)$$

Innsatt får vi da

$$K_{p,j} = k_{p,ref}(r) \cdot f_{k,j} \frac{P_{ref}}{P_j} \quad [45] \quad (7.6)$$

$$K_j = k_{p,j}(r) \cdot P_j = k_{p,ref}(r) \cdot f_{k,j} \frac{P_{ref}}{P_j} \cdot P_j = k_{p,ref}(r) \cdot f_{k,j} \cdot Pref \quad [45] \quad (7.7)$$

der

K_j	kostnad for avbrudd på tidspunkt j [kr]
K_{ref}	kostnad for avbrudd på referansetidspunktet [kr].
P_j	avbrutt effekt i rapporteringspunktet på tidspunkt j [kWh/h].
P_{ref}	avbrutt effekt i rapporteringspunktet på referansetidspunktet [kWh/h].
r	avbruddsvarighet [timer].
$f_{k,j}$	korreksjonsfaktor for spesifikk kostnad på tidspunkt j.
$f_{K,j}$	korreksjonsfaktor for avbruddskostnaden (i kr) på tidspunkt j.
$f_{K,m}$	korreksjonsfaktor for avbruddskostnaden (i kr) i måned m.
$f_{K,d}$	korreksjonsfaktor for avbruddskostnaden (i kr) på dag d.
$f_{K,h}$	korreksjonsfaktor for avbruddskostnaden (i kr) i time h.

Estimere den årlige forventede kostnaden av strømavbrudd

Når man planlegger nettverk, er det av interesse å estimere fremtidige kostnader knyttet til strømavbrudd for en gitt systemløsning. For å vurdere dette, må man først gjennomføre en pålitelighetsanalyse som kartlegger leveringspåliteligheten, det vil si avbruddsforholdene, for ulike rapporteringspunkter. Dette krever en analyse av hver enkelt del av anlegget som inngår i systemløsningen og feilstatistikk for disse. Leveringspåliteligheten Kapittel 2 er mer detaljert beskrevet i dokumentet "Leveringspålitelighet", der det finnes en algoritme for beregning i radielle nett. Prinsippet for å beregne den årlige kostnaden av strømavbrudd for et rapporteringspunkt basert på pålitelighetsanalyser er vist i likning 7.23 [45]:

$$K_{\text{år}} = \lambda \cdot P \cdot k_{p,ref}(r) \cdot f_{k,p} \quad [45] \quad (7.8)$$

der

$$f_{k,p} = f_{k,p} \cdot \frac{P_{ref}}{P} \quad [45] \quad (7.9)$$

Som innsatt gir:

$$K_{\text{år}} = \lambda \cdot P \cdot k_{p,ref}(r) \cdot f_{k,p} \cdot \frac{P_{ref}}{P} \cdot P = \lambda \cdot k_{p,ref}(r) \cdot f_{k,p} \cdot P_{ref} \quad [45] \quad (7.10)$$

der

- $K_{\text{år}}$ årlig avbruddskostnad for rapporteringspunktet [kr].
- K_p årlig gjennomsnittlig spesifikk avbruddskostnad [kr/kW avbrutt effekt].
- λ gjennomsnittlig antall avbrudd pr. år for rapporteringspunktet.
- P_{ref} avbrutt effekt i rapporteringspunktet på referansetidspunktet [kWh/h].
- r avbruddsvarighet [timer].
- $K_{p,ref}$ spesifikk avbruddskostnad på referansetidspunktet [kr/kW avbrutt effekt].
- $f_{K,p}$ korreksjonsfaktor for årlig gjennomsnittlig spesifikk avbruddskostnad.

Likning 7.23 antar radiell drift og fullstendig frakobling av effekten ved rapporteringspunktet, noe som betyr at den avbrutte effekten er lik P . Når kapasiteten er redusert, men det er mulighet for å forsyne deler av belastningen, må beregningen av avbruddskostnader ta hensyn til avbrutt effekt (se Leveringspålidelighet kapittel 2). I slike tilfeller kan ikke P forkortes i likning 7.23. I stedet kan den årlige avbruddskostnaden uttrykkes som følger [45]:

$$K_{\text{år}} = \lambda \cdot P_{\text{avbar}} \cdot k_{p,ref}(r) \cdot f_{k,p} \cdot \frac{P_{ref}}{P} \quad [45] \quad (7.11)$$

der

- P_{avbar} årlig avbrutt effekt.

7.3.3 Eksempel på beregning av kILE- besparelse

I dette eksempelet kan man anvende de nevnte formlene for å beregne den årlige besparelsen i avbruddskostnader for avgangen VIFLAT-BYBRUA.

verdier som kreves for å utføre beregningen, er hentet fra NetBas og er som følger:

$$\lambda = 4.2 \quad P_{Gj.snbepart} = 53,00\text{kW} \quad t = 0,21T \quad (7.12)$$

K_{P-ref} angir den spesifikke kostnaden for tilknytningspunktet på referansetidspunktet. Utvalgte kundegruppe i denne eksempel er husholdning og industri se vedlegg A.2A.3A.4.

For Kundegruppe:

- HUSHOLDNING:

$$K_{P,ref-husholdning} = 8.8 + 14.7 \cdot 0.21 = 11.9kr/kW \quad (7.13)$$

- INDUSTRI:

$$K_{P,ref-industri} = 38.2 + 95.2 \cdot 0.21 = 58.2kr/kW \quad (7.14)$$

Hver gruppe har tildelt en spesifikk andel av belastningen (w_i).

For kundegruppe:

- HUSHOLDNING:

$$P_{husholdning} = 37,5kW \quad P_{ref,husholdning} = 7,5kW \quad w_{husholdning} = 79\% \quad (7.15)$$

- INDUSTRI:

$$P_{Industri} = 7,8kW \quad P_{ref,husholdning} = 44kW \quad w_{husholdning} = 16\% \quad (7.16)$$

Finner forholdet mellom P_{ref} og P :

$$\frac{P_{ref,husholdning}}{P_{husholdning}} = \frac{7,5}{37,5} = 1.17 \quad kW \quad (7.17)$$

$$\frac{P_{ref,Industri}}{P_{Industri}} = \frac{40}{31.4} = 1.31 \quad kW \quad (7.18)$$

finner korreksjonsfaktor for årlig gjennomsnittlig spesifikk avbruddskostnad:

- HUSHOLDNING:

$$f_{K,P-husholdning} = f_{K,m} \cdot f_{K,d} \cdot f_{K,h} = 0.84 \cdot 1.1 \cdot 0.91 = 0.84 \quad (7.19)$$

- INDUSTRI:

$$f_{K,P-INDUSTRI} = f_{K,m} \cdot f_{K,d} \cdot f_{K,h} = 0.9 \cdot 0.42 \cdot 0.62 = 0.23 \quad (7.20)$$

Innsatt av parametere i formelen gir:

$$K_{\text{år}} = \lambda \cdot P_{\text{avbar}} \cdot k_{p,ref}(r) \cdot f_{k,P} \cdot \frac{P_{ref}}{P} \quad (7.21)$$

$$K_{\text{år}} = 3754 \text{ kr} \quad (7.22)$$

Avbruddskostnadene kan forventes å reduseres med 3754 NOK årlig ved plassering av fjernstyrt lastkillebryter mellom seksjon 7 og 8.

3. Bespart KILE – kostnader $K_{\text{år}} = P_{gj, \text{bespart}} \cdot \lambda \cdot \sum_{n=1}^i (K_{p,ref, i} \cdot W_i \cdot f_{k,j})$			
Gj.avbruddsantall	Bestpart gj. Effekt (KW)	Kår i KW:	3752,49
4,7	67,49		
4. NNV (Beregning av lønnsomheten)			

Figur 7.12: Bespart avbruddskostnader $K_{\text{år}}$.

7.4 Lønnsomhetsanalyse av fjernstyrtebrytere

Tabell 7.7: Pris for fjernstyrte komponenter (ABB), fra Elvia AS.

Linjenett	Pris [Kkr]
Ny sectos i bestående master inkludert RTU og kommunikasjon	270 000
Ny sectos i nye master inkludert RTU og kommunikasjon	350 000
Kabelnett	
Ny Ns med 2k+1T med RTU og kommunikasjon	700 000
Ny Ns med 3k+1T med RTU og kommunikasjon	800 000
Ettermontering av motorstyring i eksisterende Ns med RTU og kommunikasjon	400 000
Ny Ns med 1v+1k+1T med RTU og kommunikasjon	850 000
Ny Ns med 1v+2k+1T med RTU og kommunikasjon	950 000

$$K = \frac{U}{n} \quad (7.23)$$

K minimum årlig innspart kroner.

U investeringskostnad.

n levetid.

Ns med 1v+2k+1T med RTU og kommunikasjon:

$$\text{Fjernstyrt effektbryter} = \frac{950000}{20} = 47500 \quad [kr] \quad (7.24)$$

Sectos i bestående master inkludert RTU og kommunikasjon:

$$\text{Fjernstyrt lastskillebryter} = \frac{270000}{20} = 13500 \quad [kr] \quad (7.25)$$

Resultatet fra kontantstrømmetoden gir oss et klart bilde av den nødvendige kostnadsbesparelsen som må oppnås for at investering i fjernstyrte brytere skal være lønnsomme. Ved en årlig investering på 47500 kr i fjernstyrte effektbrytere og 13500 kr i fjernstyrte lastskillebrytere, må kostnadsbesparelsene som genereres av disse enhetene i det minste tilsvare investeringsbeløpet for å oppnå lønnsomhet.

$$K = U_0 \cdot \frac{r \cdot (1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \quad (7.26)$$

K minimum årlig innspart kroner.

U_0 investeringskostnad.

n levetid.

r Ønsket avkastning 8,0%.

Fjernstyrt lastskillebryter:

$$K = 270000 \cdot \frac{0.08 \cdot (1 + 0.08)^{20}}{(1 + 0.08)^{20} - 1} = 27500 \quad [kr] \quad (7.27)$$

Fjernstyrt effektbryter:

$$K = 950000 \cdot \frac{0.08 \cdot (1 + 0.08)^{20}}{(1 + 0.08)^{20} - 1} = 96752 \quad [kr] \quad (7.28)$$

Nettonåverdimetoden (NNV) bekrefter resultatene fra kontantstrømmetoden, men med en viktig modifikasjon: den tar i betraktning avkastningen som er foreslått av Norges vassdrags- og energidirektorat (NVE), presentert i kapittel 5. Dette betyr at det ikke krever betydelige KILE (Kostnad ved Ikke Levert Energi) kostnader for å dekke investeringsutgiftene til det fjernstyrte bryterutstyret. Det er viktig å merke seg at disse analysene kun tar hensyn til kostnadene ved investering i fjernstyrte brytere, og utelukker andre potensielle faktorer. Dette gir en forenklet, men likevel nyttig fremstilling av kostnadsbesparelspotensialet som disse investeringene kan gi.

7.4.1 Optimal plassering av fjernstyrte brytere med regneverktøy

$$NNV = -270000 + 3752 \cdot \frac{(1 + 0.08)^{20} - 1}{0.08 \cdot (1 + 0.08)^{20}} \quad (7.29)$$

$$NNV = -233162 \quad [kr] \quad (7.30)$$

Resultatet fra nettonåverdi NNV-beregning av bespart KILE ved plassering av en fjernstyrt lastskillebryter mellom seksjon 7 og 8 viser en negativ verdi. Det indikerer at dette tiltaket i utgangspunktet ikke vil være lønnsomt. Til tross for dette velges det likevel å plassere bryteren i denne avgangen. Hovedgrunnen er at denne plasseringen vil isolere seksjon 8, som har flest registrerte feil, og dermed potensielt redusere KILE-kostnadene for resten av

avgangen betydelig. Dette viser en liten avvik fra regneverktøyet i figur ?? på 1417 kr, men tiltaket anses fortsatt som hensiktsmessig gitt det overordnede målet om feilreduksjon og forbedring av nettets pålitelighet.

1. Kostnadsfunksjon (versjon 2017) forkm,(t = avbruddsvarighet angitt i timer)							
Kundegruppe	≥ 1 min og < 1 timer		KILE- Kostnader [kr/kW]		Gj. Måned, dag og time	Belastnings %	Rref
			t = Ref.tid (timer)				
	Formel: x*y*t		0,21				
Husholdning	8,8	14,7	kr	11,89	0,84	79 %	1,31
Jordbruk	5,6	16,1	kr	8,98	0,88	16 %	1,17
Industri	38,2	95,2	kr	58,19	0,23	0 %	
Handel og tjenester	31,5	189,2	kr	71,23	0,35	0 %	
Offentlig virksomhet	64,4	127,2	kr	91,11	0,26	0 %	
Industri med eldre vne	55,1	3,10	kr	55,75	1,00	0 %	
2. Bespart ILE og Avbruddstid							
Feilsøkingstiden (time)	ILE (Ikke levert effekt)KW		Lengden av seksjonen		Totale lengden Km	K_{Lengde}	K_{Effekt}
0,42	268		7,3		11,83	0,62	52 %
			4,6				
Område	Ved plassering av:		Koblingstidens energitap ILE (kWh)		Bespart Energi (kWh)		
Seksjon 7	Fjernstyrt bryter		69,46		43,10		
Seksjon 8			20,69		91,87		
Område	Fjernstyrt bryter		Manuel feilsøkingstid t (minutter)		Differansen i (minutter)	Gj. bespart koblingstid	
Seksjon 7	Uten		24,75		11,55	12,34	
	Med		13,2				
Seksjon 8	Uten		24,75		13,2		
	Med		24,75				
3. Bespart KILE – kostnader $K_{\text{år}} = P_{\text{gj.bespart}} \cdot \lambda \cdot \sum_{n=1}^i (K_{p,ref,i} \cdot W_i \cdot f_{k,j})$							
Gj.avbruddsantall	Bestpart gj. Effekt (KW)		Kår i KW:		3752,49		
4,7	67,49						
4. NNV (Beregning av lønnsomheten)							
Rente	økonomisk levetid (år)		Investeringskostnader i brytere NOK		NNV NOK:		
8 %	20		kr 270 000,00		-kr		231 745,28

Figur 7.13: Lønnsomhetsanalyse av fjernstyrt bryter i mellom seksjon 7 og 8 basert på beregnet besparelse i ILE, avbruddstid og KILE-kostnader

Figur 7.13 presenterer et utviklet regneverktøy som testes i sone 3 for å finne en lønnsom plassering av en fjernstyrt bryter mellom seksjon 7 og 8. Analysen starter fra transformatorstasjon D og går til fjernstyrt lastskillebryter BL6, og deretter videre fra BL6 til slutten av radialen i seksjon 8. Regneverktøyet tar hensyn til ulike beregninger for besparelse i indirekte tap (ILE), avbruddstid, KILE-besparelse og lønnsomheten ved bruk av nettonåverdi (NNV). Formlene som brukes i beregningene er beskrevet i kapittel 7.2 og 7.3. Analyseverktøyet, utviklet i Excel, viser de fire ulike stegene for å beregne lønnsomheten ved investering i fjernstyrte brytere. De grå markerte feltene indikerer at nettselskapet skal fylle inn informasjon fra avbruddsrapporter og analyseverktøy fra NetBas, kombinert med formler fra forskningsinstituttet Sintef. I dette eksempelet er beregningene begrenset til seksjon 7 og 8,

som er beskrevet i kapittel 7.2 og 7.3. Resultatene viser negativ lønnsomhet for investering i det rødt markerte området basert på dataene.

Til tross for dette negative NNV, er det likevel valgt å plassere en fjernstyrt bryter der, da det vil seksjonere bort seksjon 8 med flest feil og redusere KILE-kostnadene for resten av avgangen. En tilsvarende beregning kan gjøres for hele avgangen Bybrua for å få mer nøyaktige resultater angående lønnsomheten ved investering. Deler av regneverktøyet brukes som grunnlag for valg av optimal plassering av fjernstyrte brytere i andre soner og seksjoner i avgangen Bybrua, som er presentert i kapittel 8.

8 | Resultat av casestudie

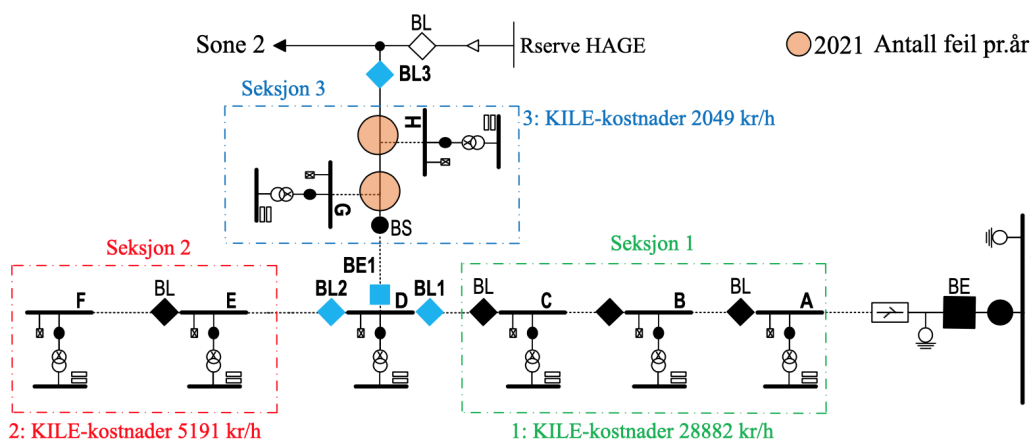
8.1 Resultat av avgangen Bybrua

Dette kapitlet vil presentere resultatene og de integrerte løsningene for plassering av fjernstyrte brytere i de ulike sonene i avgangen Bybrua. Disse resultatene og løsningene vil bli basert på simuleringer gjort i NetBas og data hentet fra oppdragsgiveren Elvia AS. Det er viktig å påpeke at dataene som blir samlet inn, ikke nødvendigvis vil være helt nøyaktige eller fullstendige. Det begrunnes med at det kan inkludere feilkilder og feil antagelser. Derfor vil det være viktig å være kritisk til de dataene som blir samlet inn, og bruke dem med varsomhet når det utvikles integrerte løsninger.

Som resultat er det valgt å installere to fjernstyrte effektbrytere og fem fjernstyrte lastskillebrytere i avgangen Bybrua. Den første effektbryteren er plassert i sone 1 figur 8.1, mens den andre er i sone 3 i figur 8.3. Dette valget er basert på en lønnsomhetsvurdering knyttet til feilene i avgangen. Ved en feil i seksjon 8 i sone 3 vil alle sluttbrukerne falle ut i hele avgangen, dermed ved å plassere disse fjernstyrte bryterne vil effektiviteten økes. Feillokaliseringen vil bli enklere, og feilrettingen vil gå raskere. Dette vil redusere behovet for manuell seksjonering og medføre til at montørene gjennomfører mindre strekninger for å lokalisere feilen. Investeringen vil redusere KILE-kostnadene og gi økonomisk gevinst over tid.

Kombinasjonen av fjernstyrte effektbrytere og lastskillebrytere gjør det enklere å lokalisere og isolere feil i nettet. Dette valget er også gjort med tanke på kostnadene for komponentene, ettersom fjernstyrte effektbrytere har en betydelig høyere pris enn fjernstyrte lastskillebrytere. Ved å bruke denne kombinasjonen kan man oppnå en effektiv feilhåndtering samtidig som man holder investeringskostnadene under kontroll.

8.1.1 Resultat sone 1

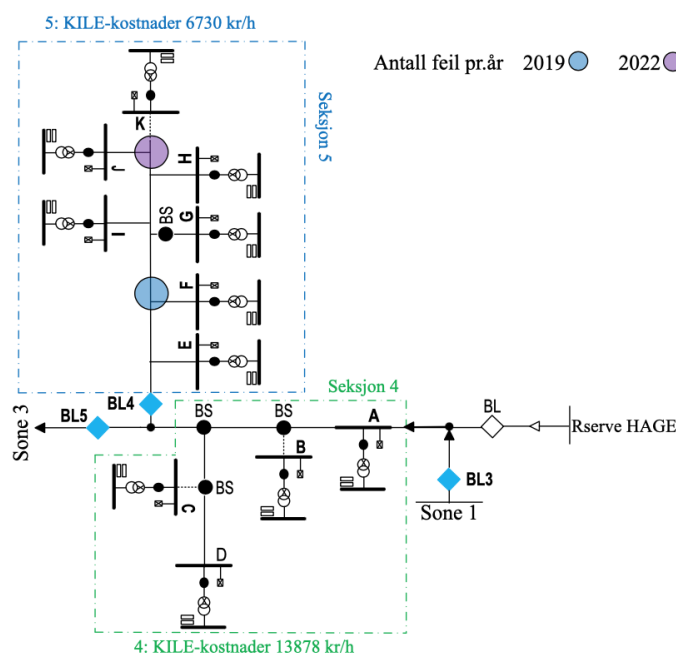


Figur 8.1: Forenkelt oversikt for Sone 1 bybrua med plasserte fjernstyrtebrytere.

En av grunnene til at det blir plassert fjernstyrt effektbryter ved innmatning av seksjon 3 er på grunn av at det er luftlinje.

Det anbefales å plassere en fjernstyrt effektbryter i tillegg til to fjernstyrte last-killebrytere som er plassert ved fordelingstransformatorene D vist i figur 8.1. Fordelingstransformatoren D knytter sammen alle seksjonene i sone 1. Ved å ha en effektbryter BE1 i starten av seksjon 3 vil det være mulig å isolere feilen i seksjon 3 og dermed både seksjon 1 og 2 ikke bli berørt av feilen. Hvis det skjer feil i seksjon 2, vil BL2 isolere feilen og dermed vil resten av sone 1 ikke bli påvirket. Ved feil i seksjon 1 vil BL1 isolere feilen og dermed vil resten av avgangen forsynes fra reserve Hage. Dette vil gjøre det lettere og raskere å rette opp eventuelle feil og dermed redusere tiden kundene vil være uten strøm. Plassering av en effektbryter i dette knutepunktet vil også redusere antall kunder som påvirkes av en eventuell feil i sone 1, 2 eller 3.

8.1.2 Resultat sone 2

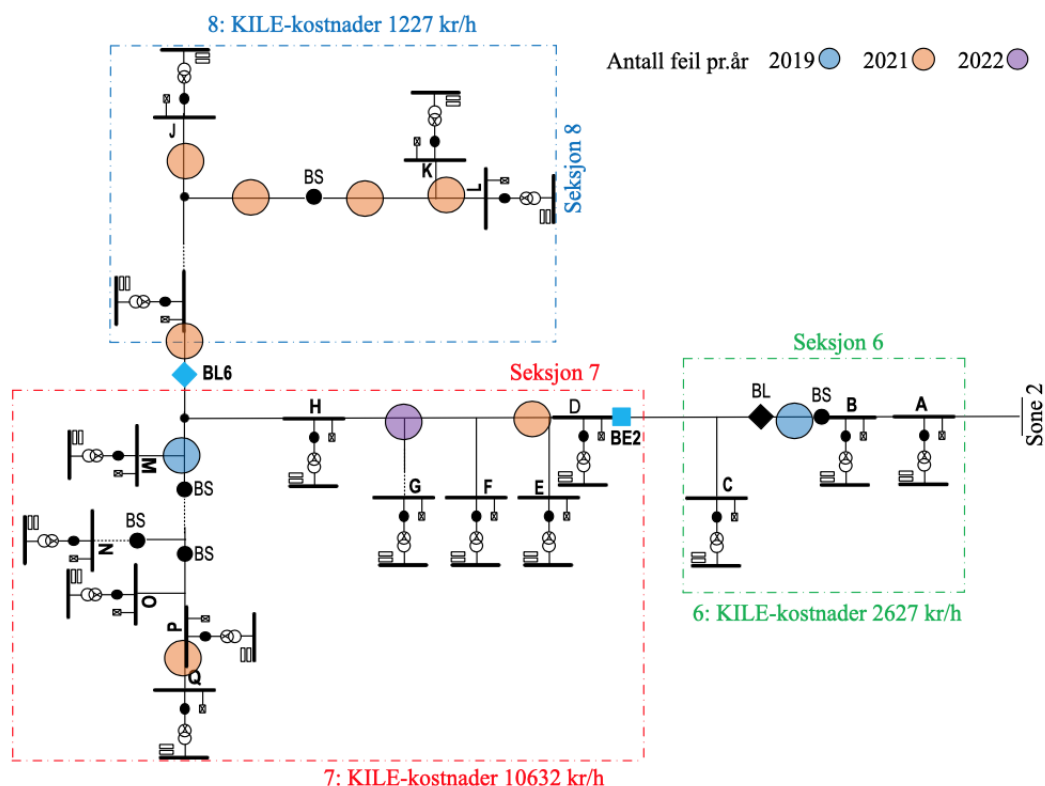


Figur 8.2: Forenkelt oversikt over sone 2 i Bybrua med plasserte fjernstyrte brytere.

I sone 2 ble det valgt å fjernstyre lastskillebryteren i begynnelsen av seksjon 5 for å isolere eventuelle feil i denne seksjonen fra resten av sone 2. Den andre fjernstyrte last-killebryteren er plassert ved slutten av sone 1 for å kunne håndtere feil som oppstår i sone 1 og i motsatt retning. Den tredje fjernstyrte last-killebryteren er plassert ved starten av sone 3 for å seksjonere feil fra sone 3 som kan påvirke seksjon 4 med store kilekostnader.

Dersom det oppstår feil i seksjon 5, vil forsyningen skje fra avgangen Hage. Hvis feil oppstår i sone 1, vil last-killebryteren ved enden av sonen isolere feilen, slik at sone 2 og 3 kan forsynes fra reservekilden Hage. Sone 2 har totalt to feil, og dermed er det lønnsomt å benytte kun fjernstyrte last-killebrytere i denne sonen. Dette bidrar til en kostnadseffektiv og robust løsning for håndtering av feil og strømforsyning i sonen.

8.1.3 Resultat sone 3



Figur 8.3: Forenkelt oversikt over sone 3 i avgangen Bybrua med plasserte fjernstyrte brytere.

En analyse av sone 3 viser at plasseringen av fjernstyrte brytere er viktig for å minimere kostnadene og forbedre leveringspåliteligheten. I dette tilfellet er seksjon 8 identifisert som et problemområde, med flere registrerte feil sammenlignet med andre seksjoner. Når det oppstår feil i seksjon 8, påvirker dette hele avgangen og fører til store KILE-kostnader.

For å løse dette problemet, er det foreslått å installere en fjernstyrt lastskillebryter i starten av seksjon 8. Dette vil tillate og isolere feilen og redusere konsekvensene for resten av sonen. I tillegg er det planlagt å plassere en effektbryter i starten av seksjon 7 for å kunne lokalisere og koble ut feil i denne seksjonen.

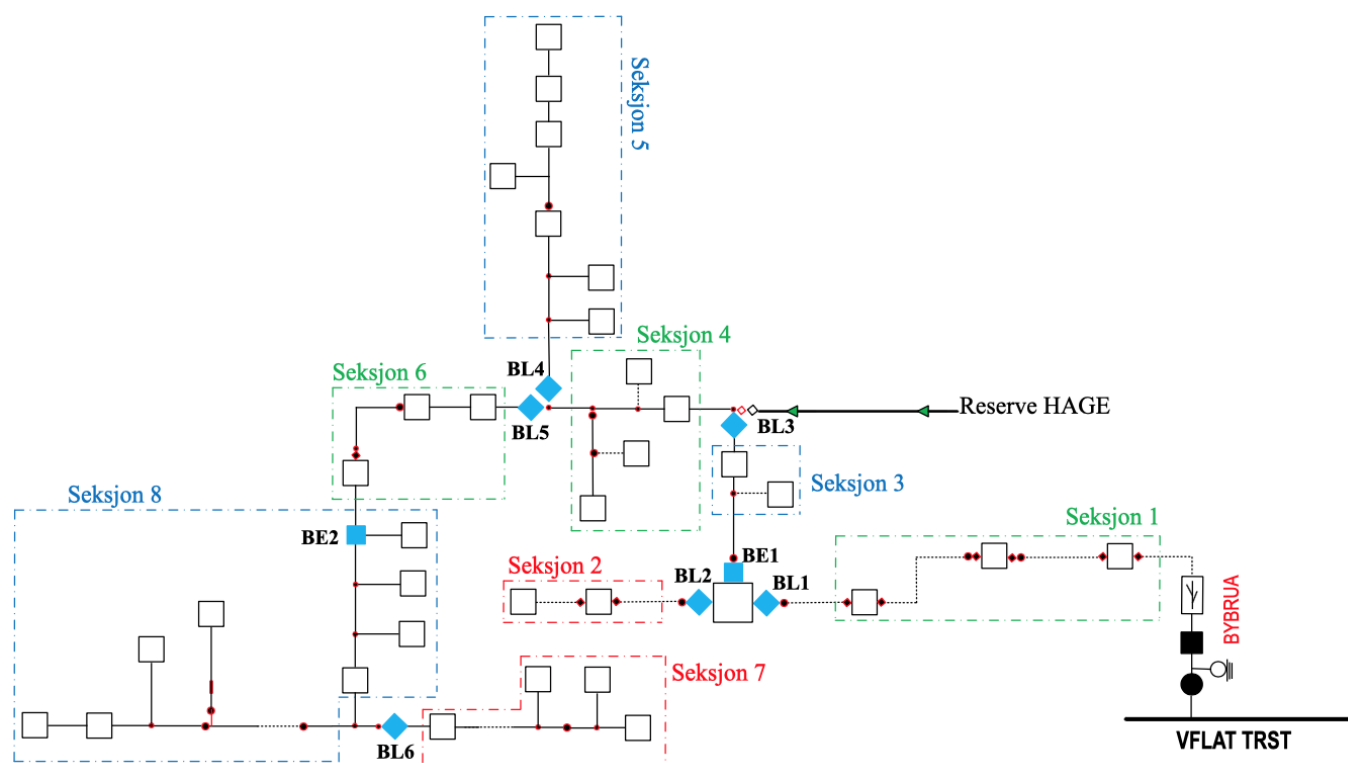
Jordbruksgården i seksjon 7, som er forsynt fra trafo E, har store KILE-kostnader. For å minimere disse kostnadene er det valgt å plassere en effektbryter før trafo E. Dette vil bidra til å isolere eventuelle feil som oppstår etter trafo E i seksjon 7 og 8 og opprettholde driften i resten av linjen.

Ved feil i nettet vil lastskillebryteren i seksjon 8 først bli slått av og forsyningen restartet

for å sjekke om feilen er isolert. Hvis feilen fortsatt er til stede, antas det at den ligger i seksjon 7, og effektbryteren i denne seksjonen vil bli slått av for å skille ut feilen fra resten av nettet. Dette tiltaket vil forbedre leveringspåliteligheten og redusere KILE-kostnadene for hele distribusjonsnettet.

Ved å plassere en effektbryter i begynnelsen av seksjon 7, kan man oppnå en betydelig fordel i form av beskyttelse mot kortslutninger. Når effektbryteren raskt og effektivt håndterer kortslutninger, kan den sikre at nettet som ligger bak, ikke opplever strømavbrudd. Dette er særlig viktig for seksjoner med høy KILE-kostnad. Effektbryteren vil fungere som et viktig sikkerhetslement ved å beskytte den kritisk seksjonen eller sonen mot potensielle skader forårsaket av kortslutninger. Dermed kan kontinuiteten i strømforsyningen opprettholdes, og dette vil sikre at nettet bak seksjon 7 vil være i drift uten å bli påvirket av feilene. Det er forutsatt at effektbryteren kan gjøres selektivt med foranliggende bryter.

Gjennom en grundig befaring av seksjon 7 og en analyse av terrenget, ble det observert at området rundt linjen er ryddet, og det er lav sannsynlighet for feil forårsaket av trefall. Derfor vil det være tilstrekkelig å plassere effektbryteren etter jordbruksgården i seksjon 7 for å minimere KILE-kostnadene og sikre en kostnadseffektiv løsning.



Figur 8.4: Resultat for plassering av fjernstyrte brytere i avgangen Bybrua.

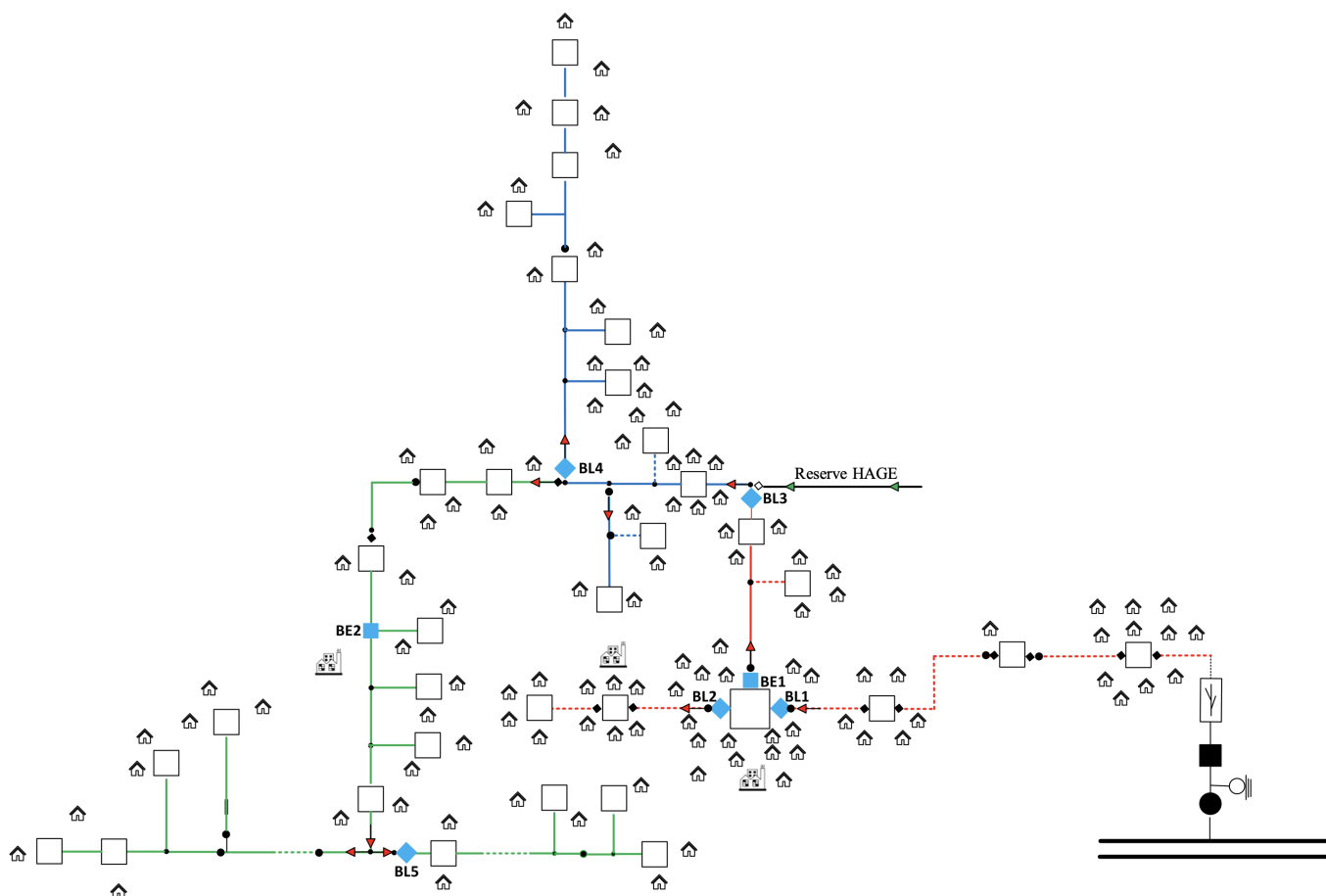
9 | Mal: Metodikk for plassering av fjernstyrte brytere

Etter å ha gjennomført en analyse av VIFLAT- trafostasjon i casestudiet for nettselskapet Elvia As, har det blitt gjort et forsøk på å utvikle en mal med trinnvise anbefalinger. Målet med dette er å utvikling av forenklet metodikk som kan benyttes av alle nettselskaper til å vurdere lønnsomheten ved å plassere fjernstyrte brytere som effektbrytere og lastskillebrytere i distribusjonsnettverket. I tillegg vurdere tidspunktet det vil være mest lønnsomt å installere fjernstyrte brytere med tanke på KILE-kostnader.

Ved å identifisere de områdene i distribusjonsnettverket som har høyest KILE-kostnader og feil-lokaliseringstid, kan nettselskapene målrette sine investeringer i fjernstyrte brytere på de områdene som gir størst potensial for å redusere kostnadene. Dette kan bidra til å maksimere avkastningen på investeringene i fjernstyrte brytere og samtidig forbedre leveringskvaliteten for sluttbrukerne.

9.1 Trinn 1: Identifisering av installasjonsområder

I denne innledende fasen vil det bli fokusert på identifisering av potensielle områder for plassering av fjernstyrte brytere i distribusjonsnettverket med utgangspunkt i Casestudien fra avgang Bybrua og delkapittelene 3.2 og 3.3. Beslutningsgrunnlaget for å plassere fjernstyrte brytere som effektbrytere og lastskillebrytere i nettverket krever først en grundig kartlegging av topologien og driftsforholdene i nettverket. Figur 9.1 viser en forenklet linjeskjema som illustrerer topologien i avgangen Bybrua i VIFLAT-trafostasjon. Informasjon om topologi og driftsforholdene i nettverket bør inkludere en oversikt over de forskjellige kundegruppene, belastningstyper og -nivåer, tilgjengelige brytere, feilhistorikk og geografisk informasjon. Det er også viktig å vurdere muligheten for fremtidige endringer i nettverket som kan påvirke plasseringen av fjernstyrte brytere. En grundig kartlegging av disse faktorene vil gi nettselskapene et solid beslutningsgrunnlag for å kunne plassere fjernstyrte brytere på de mest hensiktsmessige stedene i nettverket.



Figur 9.1: En eksempel på en-linjeskjema for avgangen Bybrua.

9.1.1 Optimal lokalisering av effektbrytere

Fjernstyrte brytere, som for eksempel effektbrytere, antas å ha den mest optimale plasseringen når de er plassert ved sentrale nettstasjoner i forhold til antallet nettstasjoner i nettet og like store andeler av nettet og forbruk. Dette skyldes flere fordeler ved en slik plassering. Først og fremst kan et rapporteringspunkt “som er et punkt i nettet der data om nettverkets ytelse blir samlet og overført til driftsentralen” utenfor den aktuelle effektbryteren raskt koble seg til en reserve effektbryter dersom det skulle vise seg nødvendig. Dette gir en fleksibel og effektiv måte å sikre kontinuitet i strømforsyningen.

Videre vil man unngå avbrudd i strømforsyningen når effektbryteren utløses ved å plassere rapporteringspunktet innenfor den aktuelle effektbryteren. Dette bidrar til å redusere risikoen for strømbrudd og sikrer en mer stabil strømforsyning for alle brukere tilknyttet nettet.

En sekundær fjernstyrt effektbryter antas å ha en lønnsom plassering i grisgrendte strøk. Formålet med denne effektbryteren er å identifisere hvilken forgrening (eller avgreining) i de sonene som ligger lengst unna som kan være berørt av en feil. Ved å identifisere og isolere problemområdet raskt, kan man effektivt utbedre problemet og minimere konsekvensene for strømmettet og forbrukerne i det berørte området. Dette bidrar til en mer robust og pålitelig strømforsyning, selv i mer avsidesliggende områder.

En sentral strategi for å bestemme antall og lokalisering av fjernstyrte brytere i et nettverk, krever innsamling av følgende nettverksinformasjon, som vil fungere som et fundament for beslutningsprosesser:

- Er det mulig at innføring av nye brytere kan redusere antallet avbrudd, og vil de innsparinger som oppnås gjennom reduserte KILE-kostnader være tilstrekkelige for å dekke investeringskostnadene?
- Hva er utstrekningen til nettet?
- Hvilken nettstasjon ligger i midten av nettet?
- Hvor er hovedforbruket konsentrert?
- Hvor er reserveforbindelsene plassert?
- I hvilken grad samsvarer forutsetningene for analysen med virkeligheten?

9.2 Trinn 2: Kostnadsberegning med NNV-metoden

For å evaluere lønnsomheten av investeringer i fjernstyrte brytere i elektriske nett, er det avgjørende å utføre økonomiske analyser ved å benytte metoder som kontantstrømmetoden og nettonåverdimetoden (beregnet i kapittel 7). Disse metodene tilbyr en robust tilnærming for estimering av inntekspotensialet i form av reduksjon i KILE-kostnader (Kostnader ved Ikke-Levert Energi) som følge av den foreslåtte investeringen.

Gjennom kvantifisering av den økonomiske lønnsomheten knyttet til implementering av fjernstyrte brytere, kan bedriftene på en systematisk måte vurdere om investeringen er hensiktsmessig og bør realiseres. Dette vil ytterligere bidra til en dypere forståelse av potensielle avkastninger og risikoer assosiert med investeringen, og dermed støtte beslutningstakingen i prosessen.

Formelen for netto nåverdi (NNV) i kapittel 5 beregner forskjellen mellom nåverdien av inntektene (kontantstrømmer) en investering forventes å generere og kostnaden for investeringen selv. NNV brukes til å bestemme om en investering er lønnsom og i hvilken grad. Hvis NNV er positiv, betyr det at investeringen forventes å generere mer inntekt enn kostnaden for investeringen, justert for tidsverdien av penger. En negativ NNV indikerer at investeringen forventes å gi en lavere avkastning enn diskonteringsrenten og dermed ikke er lønnsom.

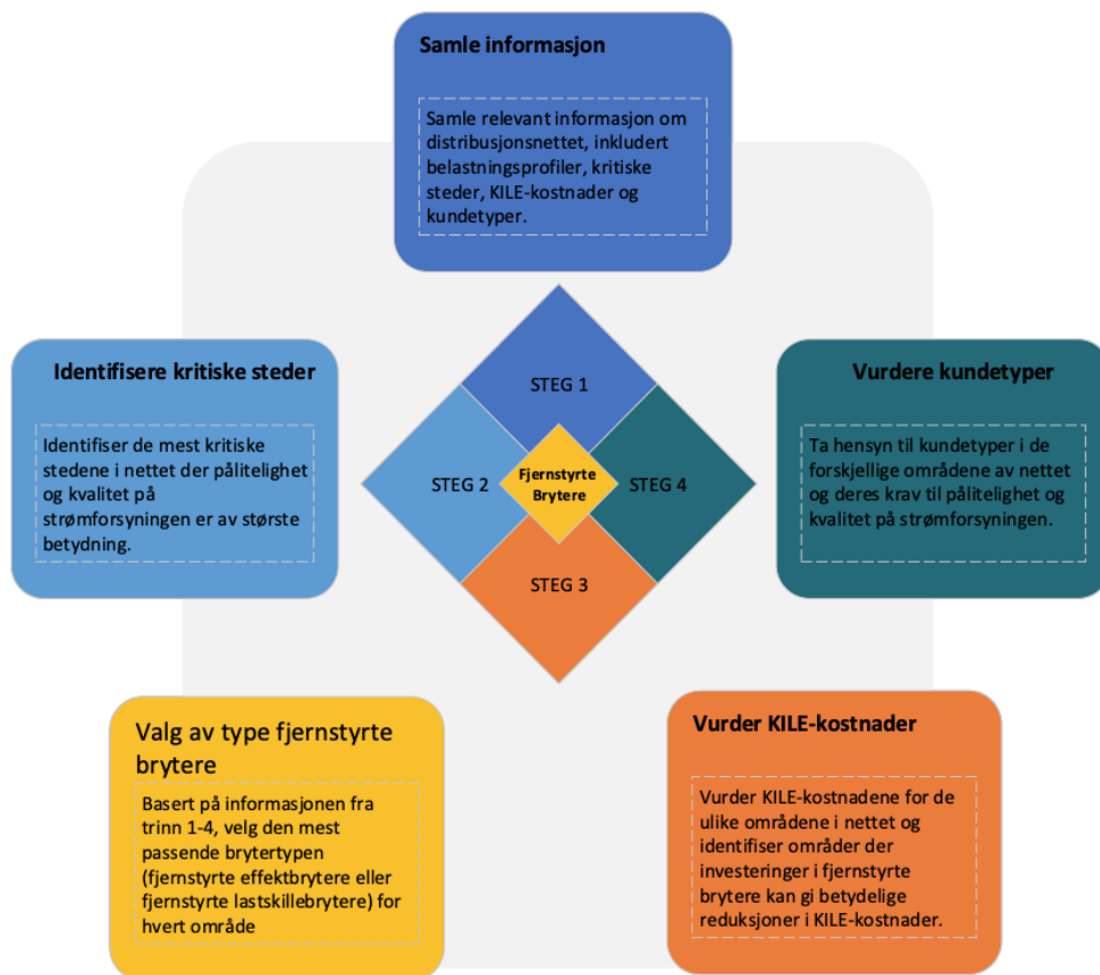
For å utføre denne analysen, vurderes først kostnadene for selve fjernstyrte bryterne, som kan variere avhengig av type, spesifisering og leverandør. Deretter beregnes arbeidskostnadene for installasjon av bryterne, som inkluderer arbeidskraft, transport og eventuelle spesialiserte verktøy eller utstyr som er nødvendig for installasjonen. Videre vurderes kostnadene forbundet med regelmessig vedlikehold av effektbryterne, som kan omfatte inspeksjon, testing, rengjøring og eventuell utskifting av komponenter over tid.

Til slutt samles disse kostnadene for å få et estimat av den totale investeringen som kreves for å implementere fjernstyrte effektbrytere i distribusjonsnett. Dette gir et solid grunnlag for å vurdere prosjektets økonomiske levedyktighet og bidrar til å informere beslutningstakingen om hvorvidt det er hensiktsmessig å gå videre med implementeringen av fjernstyrte brytere.

9.3 Trinn 3: Vurdering av fjernstyrte brytertyper

Fordeler og ulemper ved forskjellige typer fjernstyrte brytere vurderes for å finne den mest hensiktsmessige løsningen for distribusjonsnett. Dette innebærer en teknisk sammenligning og en analyse av leverandørens tilbud. Å gjøre et godt valg mellom effektbryter og lastbryter i soner med høy feilfrekvens, spesielt i luftlinjenett, krever en detaljert forståelse av nettets karakteristikk og begrensninger. Plassering av effektbrytere kan være en utfordring, gitt deres behov for å håndtere kortslutninger selektivt. Imidlertid blir jordslutninger et problem når de er lokalisert ved transformatorstasjoner som VIFLAT. Det er her man kan identifisere hvilke avganger fra VIFLAT som har jordfeil. En effektbryter vil ikke nødvendigvis utløse for en jordfeil-strøm som ligger i, for eksempel, seksjon 7 i en sone. Det man i stedet kan gjøre er å koble inn og ut. En effektbryter i nettet kan ikke nødvendigvis håndtere

jordfeilen alene, men den kan brukes til å seksjonere nettet, noe som bidrar til å isolere og begrense virkningen av jordfeil.



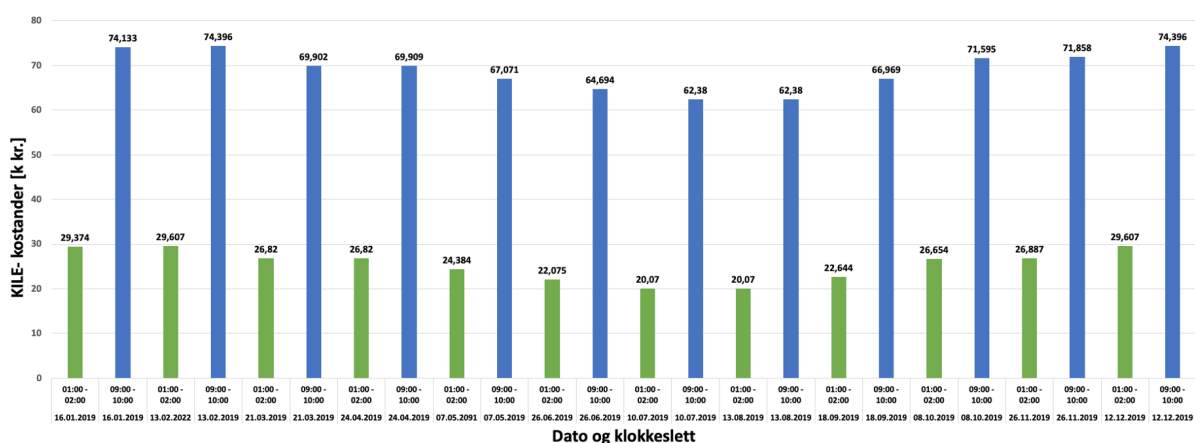
Figur 9.2: Vurdering av fjernstyrte bryter typer på stegvis.

9.4 Trinn 4: Lønnsomhet ved planlagt montering basert på KILE-kostnader

For å minimere kostnadene for investeringen i fjernstyrte brytere er det viktig å analysere det tidspunktet i året, måneden og dagen det er billigst å installere dem. Ved å planlegge montering av effektbrytere i perioder med lave KILE-kostnader, kan nettselskapene redusere kostnadene knyttet til strømbrudd og samtidig sikre en mer stabil strømforsyning. Dette kan gjøres ved for eksempel at nettselskapet analyserer data fra programmet Netbas.

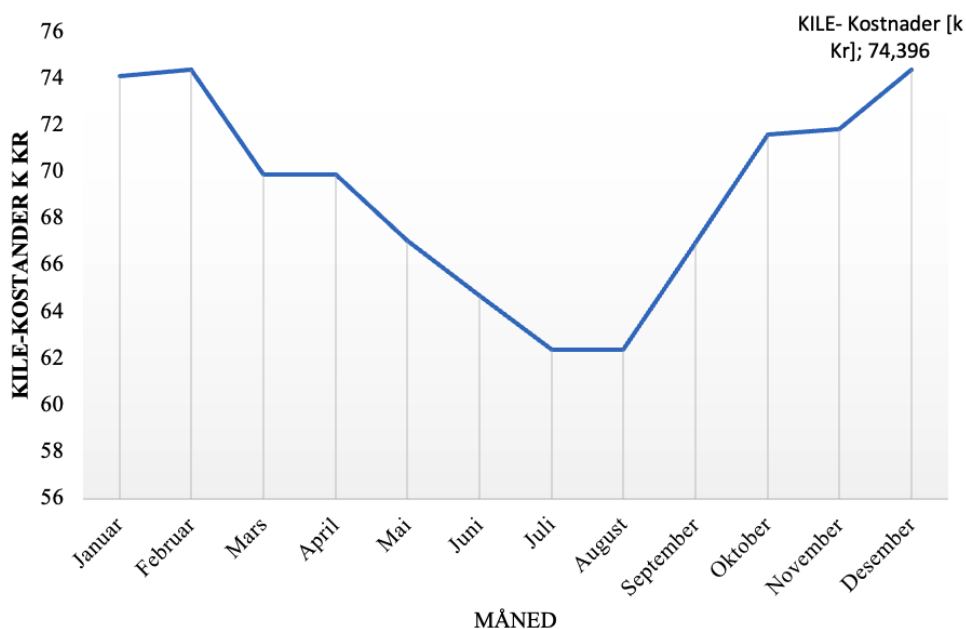
For avgangen Bybrua er det funnet og analysert data fra Netbas for perioden 2019, det året som har vært gjennomsnittlig normal drift. Figuren 9.3 illustrerer når i året det er lønnsomt å utføre installasjonen i løpet av et helt år. Dette kan variere fra område til område og ut ifra kundenes effektbehov i løpet av døgnet. Forarbeidet til monteringen, som graving og plassering av nye brytere, skjer i forkant av selve monteringen av fjernstyrte brytere.

Figuren 9.3, som baserer seg på data simulert i NetBas, viser at installering er mer lønnsomt i nattestid. Dette skyldes at KILE-kostnadene generelt er lavere på natten, når energiforbruket er lavere og færre kunder blir berørt av strømbrudd. Ved å tilpasse installasjonstidspunktet til perioder med lavere KILE-kostnader, kan nettselskapet maksimere den økonomiske gevinsten av investeringen og samtidig opprettholde en høy kvalitet på strømforsyningen.



Figur 9.3: Illustrerer når i året det er lønnsomt å installere fjernstyrte brytere basert på KILE-kostnader for 2019.

Ifølge figur 9.3 indikerer det at nattarbeid er den billigste løsningen, men med tanke på helse, miljø og sikkerhet (HMS) er det ikke like aktuelt. Dataene fra programmet Netbas viser betydelige variasjoner når det gjelder tidspunkt for installasjon. For eksempel kunne man observere at arbeidet i sommermånedene koster betydelig mindre, mens det om vinteren kunne koste opptil 74 000 kroner (presentert i vedlegg 9.4). Figuren viser tilfeldig valgt hverdag hver måned i løpet av året ved en spesifikk klokkeslett. Slike betydelige forskjeller i kostnader kan være svært nyttige for nettselskapene når de planlegger arbeidet sitt. Ved å analysere og ta hensyn til slike data kan de bedre vurdere kostnadseffektiviteten og effektivt planlegge installasjonsprosessen med tanke på både økonomi og HMS.



Figur 9.4: variasjonen i KILE-kostnadene i løpet av en valgt dag per måned i året.

9.5 Trinn 5: Dele i seksjoner og områder

Når man prosjekterer fjernstyring i nettet, er det viktig å dele nettet inn i seksjoner og områder. Dette gjør det lettere å systematisere og organisere arbeidet med fjernstyring. Ved å dele nettet inn i soner og seksjoner, kan man lettere identifisere hvor feil oppstår og hvilken del av nettet som må isoleres for å løse problemet. Dette kan bidra til en betydelig reduksjon i tiden det tar å lokalisere og løse feil i nettet, noe som igjen kan redusere KILE-kostnadene. Ved å dele nettet i seksjoner og områder kan man også optimalisere plasseringen av fjernstyrte effektbrytere og planlegge montering basert på tidspunkter på året som gir størst lønnsomhet. Dermed kan man sikre en mer effektiv drift av nettet og redusere driftskostnadene.

Trinn	Handling	Ja - Scenario	Nei - Scenario
1	Identifiser driftforstyrrelse: En effektbryter utløses. Er det fjernstyrte brytere tilgjengelig?	Fortsett til trinn 2.	Vurder alternative løsninger eller be om assistanse.
2	Gjenopprett forbindelsen: Koble til fjernstyrte brytere og koble inn effektbryter igjen.	Hvis effektbryter utløses på nytt, fortsett til trinn 3.	Problem løst.
3	Identifiser feilområdet: Er feilen i oppstrøms eller nedstrøms seksjoneringspunkt? Er feilen isolert på en enkelt avgang, eller befinner den seg mellom to brytere?	Hvis feilen er isolert, fortsett til trinn 4.	Ytterligere undersøkelser er nødvendig for å identifisere feilkilden.
4	Koble ut effektbryteren hvis feilen er isolert.	Bryter utkoblet, fortsett til trinn 5.	Ytterligere tiltak kan være nødvendig basert på feilkilden.
5	Koble bryteren inn igjen, og utfør manuell seksjonering ved det neste (midterste) seksjoneringspunktet eller avgangen.	Bryter er koblet inn, seksjonering utføres.	Tilbake til trinn 4 eller videre undersøkelser er nødvendig.
6	Om mulig, koble inn forsyning til kunder på nettet som har blitt friskmeldt.	Gjenopprett tjenesten for kundene.	Fortsett med seksjonering og reparasjon.
7	Når seksjoneringen er ferdig, starter reparasjonsprosessen.	Fullfør reparasjon og gjenopprett normal drift.	Ytterligere tiltak kan være nødvendig basert på feilkilden.

Tabell 9.1: Forenklet seksjoneringsmetodikk med scenario.

10 | Diskusjon

I dette kapitlet belyses faktorer og antagelser som oppgaven inneholder, og det vurderes hvordan de kan påvirke det endelige resultatet. Analysen som er gjennomført, tar i betraktning flere forenklinger, og det er derfor nødvendig å være oppmerksom på potensielle feilkilder og antagelser. Ved å nøye diskutere metodene, antagelsene og forenklingene, for å oppnå en helhetlig forståelse av hvordan disse elementene kan påvirke påliteligheten og gyldigheten av funnene i oppgaven. Formålet er å skape et grundig innsikt i hvilken innvirkning disse faktorene kan ha, og dermed sikre at resultatene blir tolket og vurdert på en korrekt og pålitelig måte.

10.1 Metode

Ved bruk av programmet NetBas ble det identifisert utfordringer med å oppnå den ønskede funksjonaliteten. Programmet viste seg å være tregt å jobbe med, noe som påvirket motivasjonen for å utføre en grundigere undersøkelse og analyse av avgangen. NetBas er under oppgradering til et felles program som vil bli brukt både av Elvia AS og Hafslund. Historiske data fra NetBas var tilgjengelig fra perioden 2000 til 2018. Imidlertid var det vanskelig å hente KILE-kostnadene for disse årene, ettersom programmet hadde en tendens til å henge seg opp. Dersom disse dataene hadde vært lettere tilgjengelige, kunne en mer omfattende analyse blitt utført i stedet for å basere seg på data for kun tre år som ble gitt av Elvia AS fra et annet program.

For å kunne utføre en grundig og pålitelig analyse er det essensielt å ha tilgang til tilstrekkelig mengde data over en betydelig tidsperiode, fortrinnsvis 20 år eller mer. Dette vil sikre at feilhyppigheten inkluderes i analysen og at et robust grunnlag for beregning av gjennomsnitt er tilgjengelig, noe som reduserer risikoen for feilaktige konklusjoner. Dataene som ble levert for perioden 2019-2023 inkluderer covid-19-pandemiåret, som kan betraktes som et unormalt og atypisk år, og dermed potensielt påvirke resultatene i større grad enn under normale omstendigheter.

10.1.1 Evaluering av casestudiet

Resultatene fra caset viser at plasseringen av fjernstyrte brytere er avgjørende for å minimere KILE-kostnadene og forbedre leveringspåliteligheten i distribusjonsnettet. Ved å kombinere fjernstyrte effektbrytere og lastskillebrytere, kan man oppnå en mer effektiv håndtering av feil i nettet. Valget av plassering av fjernstyrte brytere er basert på en lønnsomhetsvurdering av feilene i avgangen, hvor det ble besluttet å installere to fjernstyrte effektbrytere og fem fjernstyrte lastskillebrytere i avgangen Bybrua.

plassering av fjernstyrte brytere tar hensyn til både reduserte KILE-kostnader og økte investeringskostnader, for å finne en lønnsom balanse. I casestudiet er det konkludert med at en lønnsom plassering av fjernstyrte brytere er i sone 1. Det ble besluttet å plassere en effektbryter, i tillegg til to fjernstyrte lastskillebrytere, ved fordelingstransformatoren D, som knytter sammen alle seksjonene i sonen og en fjernstyrt bryter ved reserveforsyningen fra avgangen Hage.

Selv om den historiske dataen viser få feil i dette området, er det flest sluttbrukere i hele avgangen som vil bli berørt i sone 1. Det er ble valgt plassering i denne sonen basert på teorien som er forklart i kapittel 4.2.2, og illustrert i figur 4.2 og 4.3. Ved å plassere fjernstyrte brytere i sone 1, tar man hensyn til både reduserte KILE-kostnader og økte investeringskostnader, og finner en lønnsom balanse.

I sone 3 er det valgt å installere en fjernstyrt lastskillebryter og en fjernstyrt effektbryter. Til tross for de lave KILE-kostnadene i seksjon 8, er det grunnet det betydelige antallet feil i området valgt å plassere en fjernstyrt lastskillebryter fremfor en fjernstyrt effektbryter. På grunn av de høyere investeringskostnadene for en effektbryter sammenlignet med en lastskillebryter, er det ikke et lønnsomt alternativ. I dette grisgrendte området anses det som strategisk fordelaktig å plassere en fjernstyrt lastskillebryter i begynnelsen av grenen, slik at den kan isolere feil i det spredt bebygde området og minimere påvirkningen på resten av nettet.

Ved å posisjonere en fjernstyrt effektbryter i midten av sone 3, kan feil isoleres og området seksjoneres effektivt. Denne fjernstyrte effektbryteren er strategisk plassert etter en kritisk kunde med høye KILE-kostnader og anses som hensiktsmessig med tanke på området ka-

rakteristika. Dette bidrar til å minske virkningen av feil og avbrudd for viktige kunder og sikrer en mer pålitelig strømforsyning i regionen.

Ved å investere i flere fjernstyrte effektbrytere er det antatt at dette ikke vil være lønnsomt på grunn av de høye investeringskostnadene. I tillegg vil selektiviteten i strømmettet bli betydelig påvirket, og det kan oppstå komplikasjoner når det gjelder koordinering. Selv om dette kan resultere i raskere omkobling etter at feilen er reparert, må man veie fordelene opp mot de potensielle ulempene og kostnadene ved en slik investering.

10.1.2 Seksjonering

Seksjoneringsmetodikken har spilt en betydelig rolle i valget av plassering for fjernstyrte brytere i avgangen Bybrua. En spesifikk metodikk for seksjonering ble utviklet, og den ble kombinert med KILE-kostnader for hver seksjon.

En viktig faktor som påvirker seksjoneringen er valget av kriterier. Basert på gjennomgang av avgangen har radiallengde, kundetyper, linjeavstand, avgreninger, tilgjengelige brytere og kundemasse vist seg å være relevante faktorer. Disse kriteriene bidrar til å definere grensene for seksjonene og sikrer en mer effektiv fordeling av strømforsyningen.

I tillegg til de tekniske kriteriene, spiller feilstatistikk og KILE-kostnader en betydelig rolle i seksjoneringsmetodikken. Ved å analysere historiske feilhendelser og evaluere kostnadene forbundet med avbrudd i kraftforsyningen, kan man identifisere områder med høyere risiko og prioritere tiltak deretter.

For å visualisere seksjoneringen på en enkel måte ble flere programmer som Netbas og Visio benyttet. Denne visuelle representasjonen bidro til bedre forståelse av hvordan avgangen skulle seksjoneres.

Det må nevnes at seksjoneringen har vært en utfordrende del av prosessen, da det har vært nødvendig å finne den hensiktsmessige måten å dele opp avgangen på. Utfordringen har vært innsamling av tilstrekkelig data for hver seksjon under arbeidet med seksjoneringen. Prosessen med å samle inn nødvendig informasjon for å definere hver seksjon har vært tidkrevende, og det har vært behov for gjentatte forsøk for å sikre at dataene var tilstrekkelige og nøyaktige.

10.1.3 Lønnsomhetsanalyse

Hovedsakelig baserer lønnsomhetsberegningene for seksjonering seg på en reduksjon i KILE-kostnader, som representerer kostnadene forbundet med ikke-levert energi. Dette er en viktig faktor som påvirker lønnsomheten, men det er viktig å merke seg at andre kostnader kan reduseres ved seksjonering, som for eksempel montørtimer. På den annen side kan utsetting av nye komponenter og teknologier føre til andre kostnader som ikke er tenkt på, og som kan gjøre det dyrere å gjennomføre prosjektet. Det er også viktig å ta hensyn til kostnader som oppstår under levetiden til anlegget, som for eksempel fremtidige endringer i nettutforming og andre faktorer som kan påvirke kostnadsutviklingen for komponentene. Råvarepriser, lønnsutvikling, tilbud og etterspørsel og tidsforsinkelser er alle faktorer som kan ha betydning for kostnadsutviklingen, og som dermed kan påvirke lønnsomheten. Derfor er det viktig å gjøre grundige kostnadsberegninger og ta hensyn til alle relevante faktorer når man vurderer lønnsomheten ved seksjonering av anlegg.

Ved simulering i NetBas-programmet er det en del ulemper som kan påvirke nøyaktigheten av resultatene. Simulering av flere systemløsninger med lange koblingsforløp på en omfattende avgang utgjør en av de største utfordringene. Dette kan potensielt føre til unøyaktigheter og eventuelle feilkoblinger som kan påvirke det endelige resultatet. Selv om slike unøyaktigheter betraktes som små og med begrenset innvirkning på sluttresultatet, er det fortsatt viktig å være oppmerksom på deres tilstedeværelse.

En ytterligere faktor som kan ha innvirkning på presisjonen av resultatene, er antagelsen om at det er tilstrekkelig kapasitet tilgjengelig uavhengig av lastbehovet. I virkeligheten kan det imidlertid være begrensninger på kapasiteten som kan påvirke utfallet.

10.1.4 Evaluering av Regneverktøy

Det utviklede regneverktøyet har vist seg å være tilfredsstillende og har potensial til å bli brukt av ulike nettselskaper for å evaluere lønnsomheten ved plassering av nye fjernstyrte brytere. KILE-satsene som er integrert i verktøyet kan endres, noe som understreker viktigheten av regelmessige oppdateringer for å sikre presis beregning av avbruddskostnader. Faktorer som korrigeringsfaktorer og årlige KILE-kostnader for ulike kundegrupper kan påvirkes av belastningen.

Verktøyet gir en indikasjon på lønnsomhet gjennom positiv eller negativ NNV, men det er viktig å også ta hensyn til andre faktorer. For eksempel, en feil i en seksjon med lave KILE-kostnader kan påvirke andre seksjoner med høye KILE-kostnader. Verktøyet er basert på antakelser, og nøyaktigheten kan forbedres med mer presise data.

Investeringskostnadene i regnearket tar bare hensyn til fjernstyrte lastbrytere og effektbrytere, og andre kostnader som installasjon og arbeid bør også inkluderes for mer nøyaktige resultater. Faktorer som $K(\text{lengde})$, $K(\text{effekt})$ og K_s kan bestemmes basert på erfaring og kunnskap fra nettselskapet, gitt variasjonen i infrastruktur.

For effektivt bruk av regneverktøyet kreves innsamling og inntasting av ulike data, noe som kan være tidkrevende. Videre er det mulig at feil data er hentet fra NetBas-programmet, noe som kan svekke nøyaktigheten av regneverktøyet. Derfor er det viktig å kontrollere inndataene nøye. Selv om beregninger har blitt gjort bare for seksjon 7 og 8 som eksempler, kan dette utvides til hele avgangen gitt tilstrekkelige ressurser og tid.

Til slutt fokuserer regneverktøyet på besparelser av KILE-kostnader ved plassering av fjernstyrte brytere. Det tar imidlertid ikke hensyn til andre faktorer som kan føre til KILE-kostnader. Det er derfor mulig å videreutvikle regneverktøyet for å inkludere potensielle feil som kan oppstå etter at fjernstyrte brytere er plassert. Disse faktorene kan undersøkes etter implementering av fjernstyrte brytere for å gi en mer komplett oversikt over KILE-kostnader, og dermed kan de bli inkludert i fremtidige versjoner av regnearket.

10.1.5 Evaluering av Malen

I malen som er i kapittel 9 blir det presentert en forenklet fremgangsmåte for å vurdere plassering av fjernstyrte brytere i nettverket. Imidlertid har det vært en utfordring å ta velinformerte beslutninger basert på begrenset data fra kun en avgang, nemlig Bybrua, og med kun tre års data tilgjengelig. For å sikre påliteligheten og nøyaktigheten av metodikken ville en grundig testing av metodikken på alle avganger i VIFLAT- trafostasjon vært nødvendig. Dessverre var det ikke mulig å utføre en mer omfattende testing på grunn av begrensede ressurser og tidsrammer. Dermed kunne kvaliteten på malen ha blitt ytterligere forbedret ved å gjennomføre en grundig testing av metodikken på alle avganger i VIFLAT- trafostasjon.

Det er viktig å anerkjenne at det kan oppstå endringer i KILE-ordningen i fremtiden, lignende de endringene som fant sted i 2009. Disse endringene kan ha en påvirkning på lønnsomhetsanalyser og konsekvensene av å implementere fjernstyrte brytere i nettverket. Følgelig er det nødvendig å undersøke følsomheten for endringer i avbruddssatser og andre relevante faktorer når man utfører slike lønnsomhetsanalyser. En eventuell endring i KILE-ordningen vil ha betydelig innvirkning på effekten av å implementere fjernstyrte brytere, ettersom ordningen gir økonomiske incentiver til nettselskapene for å opprettholde en høy leveringskvalitet. En endring i KILE-ordningen kan ha vidtrekkende konsekvenser for nettselskapenes beslutninger om å implementere fjernstyrte brytere og andre tiltak for å forbedre leveringskvaliteten, ettersom disse endringene kan påvirke økonomisk bærekraft og driftsmessige forhold. Det er avgjørende å ta hensyn til slike potensielle endringer i KILE-ordningen i vurderingen av lønnsomheten og implementeringen av fjernstyrte brytere i distribusjonsnettet.

10.2 Elvia utfører tester på nytt utstyr

Nettselskapet Elvia har for tiden utstyr under testing som kan være et betydelig fremskritt innen overvåking av strømmettet. Dette utstyret fungerer som en avansert indikator som kan detektere jordfeil $\geq 0.8A$ på mindre enn 100 millisekunder, kortslutninger og overvåke luftlinjer. Det mest bemerkelsesverdige er at indikatoren kommuniserer direkte med driftscentralen for å gi sanntidsoppdateringer og muligheten til å seksjonere området med feil. Dette vil ikke bare minimere tiden det tar å identifisere feilområdet, men også redusere avbruddstiden betydelig. Informasjonen om denne lovende indikatoren ble kunngjort noen dager før innleveringsfristen for bacheloroppgaven, og det utgjorde en utfordring å inkludere denne nye informasjonen i oppgaven. Likevel representerer denne indikatoren en lovende utvikling innen fjernstyring av strømmettet, og den vil bidra til økt effektivitet i seksjonering av feil og retting av feil [46].

10.3 Leveringssikkerhet av strøm

I dagens moderne samfunn har pålitelig og kontinuerlig strømforsyning en stor betydning. En stabil og pålitelig strømforsyning referer til leveringsikkerheten av levert energi til alle forbrukerne selv i utfordrende situasjoner som avbrudd og feil. I denne delen av diskusjonen

settes det lys på hvor viktig leveringssikkerheten av strøm er for samfunnet og miljøet.

En av faktorene som påvirker leveringssikkerheten i større grad er den eksisterende infrastrukturen i nettet. En stor del av dagens nett er gammel og nærmer seg sin levetid. Dette vil innebære at infrastrukturen kan være mer sårbar for skader og feil. Gamle kraftledninger og transformatorer kan være mindre pålitelige, noe som kan forårsake at de blir utsatt for mer sammenbrudd. For å opprettholde en pålitelig strømforsyning bør infrastrukturen oppgraderes og vedlikeholdes.

Klimaendringene har ført til økt forekomst av ekstremvær, som har forårsaket hyppigere og mer intense stormer. Dermed bør strøminfrastrukturen kunne tåle disse endringene i vær forholdet som for eksempel sterk vind og nedbør og snøfall som kan føre til skader på kraftledninger, master og andre komponenter i nettet. For å minimere risikoen for avbrudd bør infrastrukturen bli forsterket for sikker levering av energi.

Samfunnet er stadig avhengig av pålitelig elektrisk kraft til forskjellige formål. Strømforsyningen har en avgjørende rolle til å levere energi til forskjellige kundetyper som for eksempel hushold og virksomheter. I den digitaliserte samfunnet er datasentre og kommunikasjonsinfrastruktur avhengig av en kontinuerlig strømforsyning.

11 | Konklusjon

Rapporten har grundig undersøkt optimal plassering av fjernstyrte brytere basert på KILE-kostnader og lønnsomhetsanalyser. En metode for å trekke konklusjoner om investeringer i fjernstyrte brytere i en spesifikk casestudie. Prosjektgruppen har utviklet et simuleringsverktøy i Excel for å bregne besparelse av ILE, KILE-kostnader og lønnsomhet i investering av fjernstyrte brytere. I tillegg tatt hensyn til samfunnsmessige, miljømessige og økonomiske konsekvenser. Regneverktøyet tar for seg besparelser av hele KILE-kostnaden ved plassering av fjernstyrte brytere. Imidlertid tar det ikke hensyn til potensielle tap av KILE-kostnader som kan oppstå på grunn av feil i komponenter, eller andre feil som kan oppstå i nettet etter implementering av fjernstyring. Dette betyr at de beregnede KILE-kostnadsbesparelsene kan bli redusert i realiteten, ettersom disse potensielle ekstra kostnadene ikke er inkludert i beregningene.

Ved å samle inn en stor mengde data fra Elvia AS og andre kilder, har forskningen og utviklingsarbeidet i oppgaven blitt styrket. Resultatene av casestudiet i kapittel 9 har gjennomgått en grundig analyse av de ulike sonene i avgangen, og valget av plassering av fjernstyrte brytere er basert på seksjoneringsmetodikken og støttet av regneverktøyet. Det ble valgt totalt å plassere 2 fjernstyrte effektbrytere og 6 fjernstyrte lastskillebrytere i avgangen Byrbua. Potensialet for å oppnå lønnsomhet ved å plassere fjernstyrte brytere vil være størst når KILE-kostnadene og feil lokaliseringstiden er størst i de ulike seksjonene. Dette skyldes at fjernstyrte brytere kan bidra til å minimere både avbruddskostnader og feil lokaliseringstiden. Når KILE-kostnadene og feil lokaliseringstiden er størst, vil det også være større incentivert for nettselskapene å investere i tiltak som kan redusere disse kostnadene. Dermed vil potensialet for å oppnå lønnsomhet ved å plassere fjernstyrte brytere øke, da disse kan bidra til å redusere både KILE-kostnader og feil lokaliseringstiden.

Basert på casestudiet og behovene til nettselskapene, har rapporten utviklet en metodikk for plassering av fjernstyrte brytere i en mal, som gir en oversiktlig trinnvis prosess. Metodikken presenterer viktige parametere som bør analyseres ved investeringer i brytere i nettet. Som en del av analysen inkluderes vurdering av den mest kostnadseffektive tidspunktet for installasjon av bryterne, og dette omfatter undersøkelse av hvilket tidspunkt i året, hvilken

måned og hvilken dag som er mest hensiktsmessig.

Samlet sett har rapporten bidratt med ny innsikt i plasseringen av fjernstyrte brytere og har utviklet en metodikk som kan være nyttig for nettselskaper ved fremtidige investeringer. Ved å ta hensyn til både økonomiske, samfunnsmessige og miljømessige faktorer, kan denne tilnærmingen bidra til mer effektiv og bærekraftig drift av kraftnettverkene.

En av de største utfordringene i dette arbeidet har vært mengden av data som må samles og behandles på en måte som muliggjør rasjonalisering av arbeidet. Sammenstilling av data fra forskjellige kilder og deres analyse har vist seg å være en tidkrevende prosess som har krevd betydelige manuelle ressurser. På grunn av disse faktorene har fremskrittet i arbeidet vært begrenset for nettselskapene. Dette understreker behovet for videre utvikling og implementering av mer effektive metoder for datainnsamling, -håndtering og -analyse i fremtiden.

Videre utvikling og implementering av mer effektive metoder for datainnsamling, -håndtering og -analyse er avgjørende for å adressere behovene i fremtiden. Dette vil bidra til bedre beslutningsprosesser og mer nøyaktige resultater. Med stadig økende mengder data og kompleksitet i strømmnettene, er det viktig å investere i avanserte teknologier og analytiske verktøy som kan håndtere og utnytte dataene på en effektiv måte. Dette vil legge grunnlaget for en mer intelligent og bærekraftig drift av strømmettet i fremtiden.

12 | Veien videre og fremtidig arbeid

For å styrke og forbedre metoden i malen for optimal plassering av fjernstyrte brytere, er det viktig å utforske videre muligheter og gjennomføre mer forskning. En viktig fremtidig utvikling er å videreutvikle regneverktøyet for å muliggjøre mer automatisert datainnsamling knyttet til avbruddsrapporter fra programmet NetBas. Dette vil tillate driftssentralen i nettselskapet å få tilgang til relevant informasjon og kalkulere besparelsen av KILE-kostnader i ulike seksjoner og soner. Ved å analysere og vurdere KILE-kostnadene på denne måten, kan man bedre identifisere områder med høyest kostnadsbesparelse og dermed seksjonere områder med feil mer effektivt.

I det videre arbeidet vil det være verdifullt å utvikle en automatisk metode for seksjonering av avgangen. Ved å dele avgangen i seksjoner og knytte KILE-kostnader til hver seksjon, kan man legge grunnlaget for mer automatisering i prosessen. Dette vil ikke bare effektivisere arbeidet, men også muliggjøre mer nøyaktige resultater. Slik kan man oppnå betydelige fremskritt og legge grunnlaget for enda mer automatisering. Dermed kan automatisering bidra til å redusere tidsbruken og manuell innsats, og dermed frigjøre ressurser for andre viktige aspekter av prosjektet.

Videre forskning bør også utføres for å styrke metodikken i malen. Dette kan inkludere undersøkelser og analyser av flere casestudier og nettverksscenarioer. Ved å inkludere et bredere spekter av datasett og variabler kan man øke påliteligheten og anvendbarheten til metoden.

En annen lovende retning for fremtidig forskning er å utforske kombinasjonen av fjernstyrte brytere sammen med indikatorer som detekterer og overvåker luftlinjer som er nevnt i delkapittel 10.2. Ved å integrere disse teknologiene kan man oppnå raskere feilsøking og gjenoppretting av distribusjonsnett. Dette vil bidra til å minimere avbruddstiden og forbedre leveringssikkerheten ytterligere.

Litteraturliste

- [1] Statnett. «Definisjoner knyttet til feil og avbrudd i det elektriske kraftsystemet.» (2019), Tilgjengelig: https://www.statnett.no/globalassets/for-aktorer-i-kraftsystemet/systemansvaret/leveringskvalitet/definisjoner-knyttet-til-feil-og-avbrudd-i-det-elektriske-kraftsystemet_final.pdf?csf=1&web=1&e=VZFmbk (sjekket 08.05.2023).
- [2] Elvia. «Hva er Elvia AS, Om oss.» (2021), Tilgjengelig: <https://www.elvia.no/hva-er-elvia/om-oss/> (sjekket 12.03.2023).
- [3] SINTEF. «SmartGrid, Morgensdagensnett.» (2023), Tilgjengelig: <https://www.sintef.no/fagomrader/smartgrids/> (sjekket 31.01.2023).
- [4] Anne Kjerkreit, Statens vegvesen Vegdirektoratet. «Samfunnsøkonomiske analyser.» (2019-04-04), Tilgjengelig: <https://www.toi.no/getfile.php/1350285-1554742790/mmarkiv/T0I-kurs/T%C3%98I-kurs> (sjekket 10.04.2023).
- [5] NVE. «Kraftsystemdata, Powel NetBas.» (2022), Tilgjengelig: <https://www.nve.no/energi/energisystem/nett/kraftsystemdata/> (sjekket 28.04.2023).
- [6] Microsoft Visio. «Visio og Microsoft 365.» (2022), Tilgjengelig: <https://www.microsoft.com/nb-no/microsoft-365/visio/flowchart-software> (sjekket 05.02.2023).
- [7] NTNU. «Simapro, programvare for LCA (Livssyklusanalyse/Life Cycle Assessment).» (u.d), Tilgjengelig: <https://i.ntnu.no/wiki/-/wiki/Norsk/Simapro> (sjekket 10.03.2023).
- [8] NVE. «Leveringspålidelighet.» (2023-03-07), Tilgjengelig: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/regulering/nettvirksomhet/leveringskvalitet> (sjekket 20.03.2023).
- [9] Lovdata. «Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet.» (2004-12-10), Tilgjengelig: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-11-30-1557> (sjekket 20.02.2023).
- [10] NVE. «Krav til leveringspålidelighet— NVE.» (2022), Tilgjengelig: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/regulering/nettvirksomhet/leveringskvalitet/leveringspaalidelighet> (sjekket 08.02.2023).

- [11] REN. «Planleggingsbok for kraftnett/ Leveringspålitelighet.» (2018), Tilgjengelig: <https://www.ren.no/tjenester/planbok> (sjekket 16.04.2023).
- [12] Lovdata. «Forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariffer.» (2018), Tilgjengelig: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/1999-03-11-302/KAPITTEL_4 (sjekket 23.02.2023).
- [13] NVE. «kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke-levert energi.» (2021), Tilgjengelig: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/regulering/nettvirksomhet/oekonomisk-regulering-av-nettselskap/om-den-okonomiske-reguleringen/kile-kvalitetsjusterte-inntektsrammer-ved-ikke-levert-energi/> (sjekket 21.04.2023).
- [14] NVE. «2001: Innføring av "KILE-ordningen".» (2022), Tilgjengelig: <https://www.nve.no/om-nve/vassdrags-og-energihistorie/nves-historie/2001-innforing-av-kile-ordningen/> (sjekket 19.04.2023).
- [15] Statnett. «FASIT - Feil og avbruddstatistikk.» (2023), Tilgjengelig: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/leveringskvalitet/fasit/> (sjekket 13.02.2023).
- [16] Lovdata. «Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet - Lovdata.» (2019), Tilgjengelig: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-11-30-1557#KAPITTEL_3 (sjekket 10.02.2023).
- [17] Statnett. «FASIT - Feil og avbruddstatistikk.» (2023), Tilgjengelig: <https://www.statnett.no/for-aktorer-i-kraftbransjen/systemansvaret/leveringskvalitet/fasit/> (sjekket 13.02.2023).
- [18] Elvia. «Dine rettigheter ved langvarige strømbrudd, Elvia.» (2022), Tilgjengelig: <https://www.elvia.no/drift-og-vedlikehold/strombrudd/dine-rettigheter-ved-langvarige-strombrudd/> (sjekket 13.02.2023).
- [19] NVE. «Kraftnettet er bygget opp på følgende måte, Distribusjonsnett.» (2022), Tilgjengelig: <file:///Users/fafa/Zotero/storage/3FP9EVLB/nett.html> (sjekket 22.04.2023).

- [20] SINTEF. «Planleggingsbok for kraftnett - nettutforming og nettdata.» (2003), Tilgjengelig: <file:///https://www.sintef.no/prosjekter/1993/planleggingsbok-for-kraftnett/> (sjekket 27.01.2023).
- [21] Willis, H. Lee and Schrieber, Randall R. «Power Distribution Planning Reference Book.» (2011), Tilgjengelig: <file:///https://www.nve.no/energi/energisystem/nett/> (sjekket 10.04.2023).
- [22] NVE. «Norges vassdrags- og energidirektorat.» (2022), Tilgjengelig: <file:///https://www.nve.no/energi/energisystem/nett/> (sjekket 10.04.2023).
- [23] REN. «Planleggingsbok - bind 1 - kapittel - 14.» (1993), Tilgjengelig: https://www.ren.no/protocol/openid-connect/auth?response_type=code&client_id=doc&redirect_uri=https://shorturl.at/sKlX9 (sjekket 27.01.2023).
- [24] Astrid Petterteig, SINTEF Energiforskning As. «Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet.» (2007-03-09), Tilgjengelig: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-11-30-1557> (sjekket 13.04.2023).
- [25] Elvia As. «Driftssentralen i Elvia har mange metoder for overvåking av strømmettet.» (2022), Tilgjengelig: <https://www.elvia.no/drift-og-vedlikehold/beredskap/driftssentralen-i-elvia-har-mange-metoder-for-overvaking-av-stromnett/> (sjekket 19.04.2023).
- [26] Tor Erik Svendsen, Prosjektleder for Fjernstyring i Elvia As. «Møte i Elvia Gjøvik.» (2023), (sjekket 19.04.2023).
- [27] DPStele. «How SCADA Systems Work - data, sensors, networks, and RTUs.» (2022), Tilgjengelig: <https://www.dpstele.com/scada/how-systems-work.php> (sjekket 23.04.2023).
- [28] Arne Roar Nygård. «Risk management in SCADA-system.» (2004), Tilgjengelig: https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/bitstream/handle/11250/143918/nyg%C3%83%C2%A5rd_-_Risk_management_in_SCADA_-_system.pdf?sequence=1 (sjekket 19.04.2023).
- [29] Elvia. «Strømbrudd: Dette er de vanligste årsakene.» (2023), Tilgjengelig: <file:///Users/fafa/Zotero/storage/8PLFFD2S/strombrudd-dette-er-de-vanligste-arsakene.html> (sjekket 25.04.2023).

- [30] H. Sæle, M. Istad, S. Garnås og M. G. Jaatun. «Fremtidens fleksible distribusjonsnett : fleksibel nettdrift.» (2016), Tilgjengelig: <https://www.sintef.no/publikasjoner/publikasjon/1373391/> (sjekket 19.04.2023).
- [31] Statnett. «Definisjoner knyttet til feil og avbrudd i det elektriske kraftsystemet.» (2019), Tilgjengelig: https://www.statnett.no/globalassets/for-aktorer-i-kraftsystemet/systemansvaret/leveringskvalitet/definisjoner-knyttet-til-feil-og-avbrudd-i-det-elektriske-kraftsystemet_final.pdf?csf=1&web=1&e=VZFmbk (sjekket 25.04.2023).
- [32] NVE, Statnett, Energi Norge og SINTEF Energi, samt tre representanter fra nettselskap. «Definisjoner knyttet til feil og avbrudd i det elektriske kraftsystemet.» (2019), Tilgjengelig: https://www.statnett.no/globalassets/for-aktorer-i-kraftsystemet/systemansvaret/leveringskvalitet/definisjoner-knyttet-til-feil-og-avbrudd-i-det-elektriske-kraftsystemet_final.pdf?csf=1&web=1&e=VZFmbk (sjekket 12.03.2023).
- [33] Bane Nor, Teknisk regelverk. «Lastskillebryter.» (2015-12-01), Tilgjengelig: <https://trv.banenor.no/wiki/Definisjon:Lastskillebryter> (sjekket 18.04.2023).
- [34] Tor Morten Sneve, NVE. «Aldersfordeling for komponenter i kraftsystemet.» (2005-04-01), Tilgjengelig: https://publikasjoner.nve.no/rapport/2005/rapport2005_08.pdf (sjekket 18.04.2023).
- [35] ABB, catalog. «Sectos pole mounted SF6 load break switch.» (), Tilgjengelig: https://library.e.abb.com/public/61395f1a268f497f99ae714fdaea8089/Sectos_Catalogue_EN_1YHA000354_REV%20E%2004-2022.pdf (sjekket 19.04.2023).
- [36] ntnuopen. «Fakultet for ingeniørvitenskap.» (), Tilgjengelig: <https://ntnuopen.ntnu.no/ntnu-xmlui/> (sjekket 29.04.2023).
- [37] Kjølørød, Lise I Store norske leksikon. «livsløp – samfunnsvitenskap.» (2023), Tilgjengelig: https://snl.no/livsl%C3%B8p_-_samfunnsvitenskap.
- [38] Elvia As. «Slik jobber vi med bærekraft i Elvia.» (), Tilgjengelig: <https://www.elvia.no/hva-er-elvia/var-samfunnsrolle/slik-jobber-vi-med-baerekraft-i-elvia/> (sjekket 03.05.2023).
- [39] SimaPro. «LCA software.» (2023), Tilgjengelig: <https://simapro.com>.

- [40] Nasjonalbiblioteket, Nettbiblioteket. «Selektivitet i elektriske anlegg.» (1986), Tilgjengelig: <https://www.nb.no/items/d2fb7b657e2ca3d96136549a44411d4b?page=5> (sjekket 26.04.2023).
- [41] Regjeringen. «Samfunnsøkonomiske analyser.» (2021), Tilgjengelig: <https://www.regjeringen.no/no/tema/okonomi-og-budsjett/statlig-okonomistyring/samfunnsokonomiske-analyser/id438830/> (sjekket 26.04.2023).
- [42] Direktoratet for økonomistyring. «Samfunnsøkonomiske analyser.» (2022-03-03), Tilgjengelig: <https://dfo.no/fagomrader/utredning-og-analyse-av-statlige-tiltak/samfunnsokonomiske-analyser> (sjekket 10.04.2023).
- [43] Regjeringen. «Veileder i samfunnsøkonomiske analyser.» (2005), Tilgjengelig: https://www.regjeringen.no/globalassets/upload/kilde/fin/reg/2005/0029/ddd/pdfv/266324-veileder_i_samfunnsok_analyse_trykket.pdf (sjekket 26.04.2023).
- [44] NVE. «Referanserenten, Referanserente for 2022.» (2023), Tilgjengelig: <https://www.nve.no/reguleringsmyndigheten/regulering/nettvirksomhet/oekonomisk-regulering-av-nettselskap/om-den-okonomiske-reguleringen/referanserenten/> (sjekket 28.04.2023).
- [45] Sintef. «Planleggingsbok for kraftnett Avbruddskostnader SINTEF Energi AS, 2022 Levert av REN AS 09.05.2023 til Farshid J.» (2023), Tilgjengelig: <https://www.ren.no/innlogget> (sjekket 04.05.2023).
- [46] HMPower. «Hittar du dina jordfel och kortslutningar?» (u.d), Tilgjengelig: www.hmpower.se (sjekket 14.05.2023).
- [47] Lovdata.Forskrift. «Forskrift om endring i forskrift om økonomisk og teknisk rapportering, inntektsramme for nettvirksomheten og tariffer.» (2021), Tilgjengelig: <https://lovdata.no/dokument/LTI/forskrift/2018-12-13-1914> (sjekket 14.04.2023).
- [48] ABB. «IEC outdoor gas insulated switch disconnecter Sectos NXBD, Download Catalogue.» (2022-04-27), Tilgjengelig: <https://new.abb.com/medium-voltage/apparatus/isolators-switches-disconnectors/outdoor-switches/three-phase-gas-insulated-switches/iec-three-phase-sealed-switch-sectos-nxbd> (sjekket 20.05.2023).

A | Data som kreves for å beregne KILE-kostnader

For hver kundegruppe beregnes spesifikke avbruddskostnader, $k_{p,ref}$, i 2017-kroner per kW. Disse kostnadene beregnes for et ikke-varslet avbrudd på referansetidspunktet, og baseres på kostnadsfunksjoner som tar hensyn til avbruddets varighet t [47].

Kundegruppe	Kostnadsfunksjon for $k_{p,ref}$ (r = avbruddsvarighet angitt i timer)				
	< 1 min	≥ 1 min og < 1 time	≥ 1 time og < 4 timer	≥ 4 timer og < 8 timer	≥ 8 timer
Jordbruk	$5,6+16,1*r$	$5,6+16,1*r$	$21,4+17,5*(r-1)$	$74,2+16,1*(r-4)$	$74,2+16,1*(r-4)$
Industri	38,2	$38,2+95,2*r$	$132,6+92,5*(r-1)$	$410,3+62,5*(r-4)$	$660,9+41*(r-8)$
Handel og tjenester	18	$31,5+189,2*r$	$220,3+102,4*(r-1)$	$527,2+158,8*(r-4)$	$1162,2+115,1*(r-8)$
Offentlig virksomhet	7,9	$67,4+127,2*r$	$194,5+31,4*(r-1)$	$288,9+58,2*(r-4)$	$521,5+19,8*(r-8)$
Industri med eldre prosesser	$55,1+3,1*r$	$55,1+3,1*r$	$55,1+3,1*r$	$102,3+3,1*r$	$102,3+3,1*r$

Kundegruppe	Kostnadsfunksjon for $k_{p,ref}$ (r = avbruddsvarighet angitt i timer)						
	< 1 min	≥ 1 min og < 2 timer	≥ 2 timer og < 6 timer	≥ 6 timer og < 12 timer	≥ 12 timer og < 24 timer	≥ 24 timer og < 72 timer	≥ 72 timer
Husholdning	8,8	$8,8+14,7*r$	$38,4+21,9*(r-2)$	$126,0 + 13,0*(r-6)$	$204+20,1*(r-12)$	$445,5+13,3*(r-24)$	$1081,5+13,3*(r-72)$

Figur A.1: Kostnadsfunksjoner på referansetidspunkt, angitt i 2017-kroner per kW [47].

Ukedag	Jordbruk	Hus- holdning	Industri	Handel og tjenester	Offentlig virksomhet	Industri med eldrevne prosesser
Hverdag	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Lørdag	1,10	1,15	0,13	0,45	0,30	1,00
Søndag/ helligdager	1,10	1,15	0,14	0,11	0,29	1,00

Figur A.2: Korreksjonsfaktorer for variasjon i avbruddskostnad over uka, veid gjennomsnitt [47].

Måned	Jordbruk	Hus- holdning	Industri	Handel og tjenester	Offentlig virksomhet	Industri med eldrevne prosesser
Januar	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Februar	1,10	1,00	1,00	1,00	1,00	1,00
Mars	1,10	1,00	0,87	1,00	0,67	1,00
April	1,10	1,00	0,87	1,00	0,67	1,00
Mai	0,90	0,90	0,87	1,00	0,67	1,00
Juni	0,90	0,90	0,86	1,02	0,51	1,00
Juli	0,90	0,80	0,86	1,02	0,51	1,00
August	0,90	0,70	0,86	1,02	0,51	1,00
September	1,00	0,60	0,88	1,06	0,58	1,00
Oktober	1,00	0,60	0,88	1,06	0,58	1,00
November	1,10	0,70	0,88	1,06	0,58	1,00
Desember	1,10	0,90	1,00	1,00	1,00	1,00

Figur A.3: Korreksjonsfaktorer for variasjon i avbruddskostnad over året, veid gjennomsnitt for hver måned [47].

Når avbruddets varighet berører mer enn én av tidsperiodene gitt i kolonne 1, skal et vektet gjennomsnitt av korreksjonsfaktorene benyttes [47].

Klokkeslett	Jordbruk	Hus- holdning	Industri	Handel og tjenester	Offentlig virksomhet	Industri med eldrevne prosesser
0000–0600	0,80	0,65	0,12	0,11	0,43	1,00
0600–0800	1,00	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00
0800–0900	0,90	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00
0900–1200	0,90	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
1200–1600	0,70	0,75	1,00	1,00	1,00	1,00
1600–1800	1,00	1,05	1,00	1,00	1,00	1,00
1800–2000	1,00	1,05	0,14	0,30	0,31	1,00
2000–2100	0,80	1,05	0,14	0,29	0,31	1,00
2100–2400	0,80	0,80	0,14	0,29	0,31	1,00

Figur A.4: Korreksjonsfaktorer for variasjon i avbruddskostnad over døgnet, veid gjennom-snitt [47].

Kundegruppe	Varslet avbrudd: Spesifikk avbruddskostnad multipliseres med faktor
Jordbruk	0,80
Husholdning	0,50
Industri	0,50
Handel og tjenester	0,70
Offentlig virksomhet	0,82
Industri med eldrevne prosesser	1,00

Figur A.5: Korreksjonsfaktorer for varslede avbrudd [47].

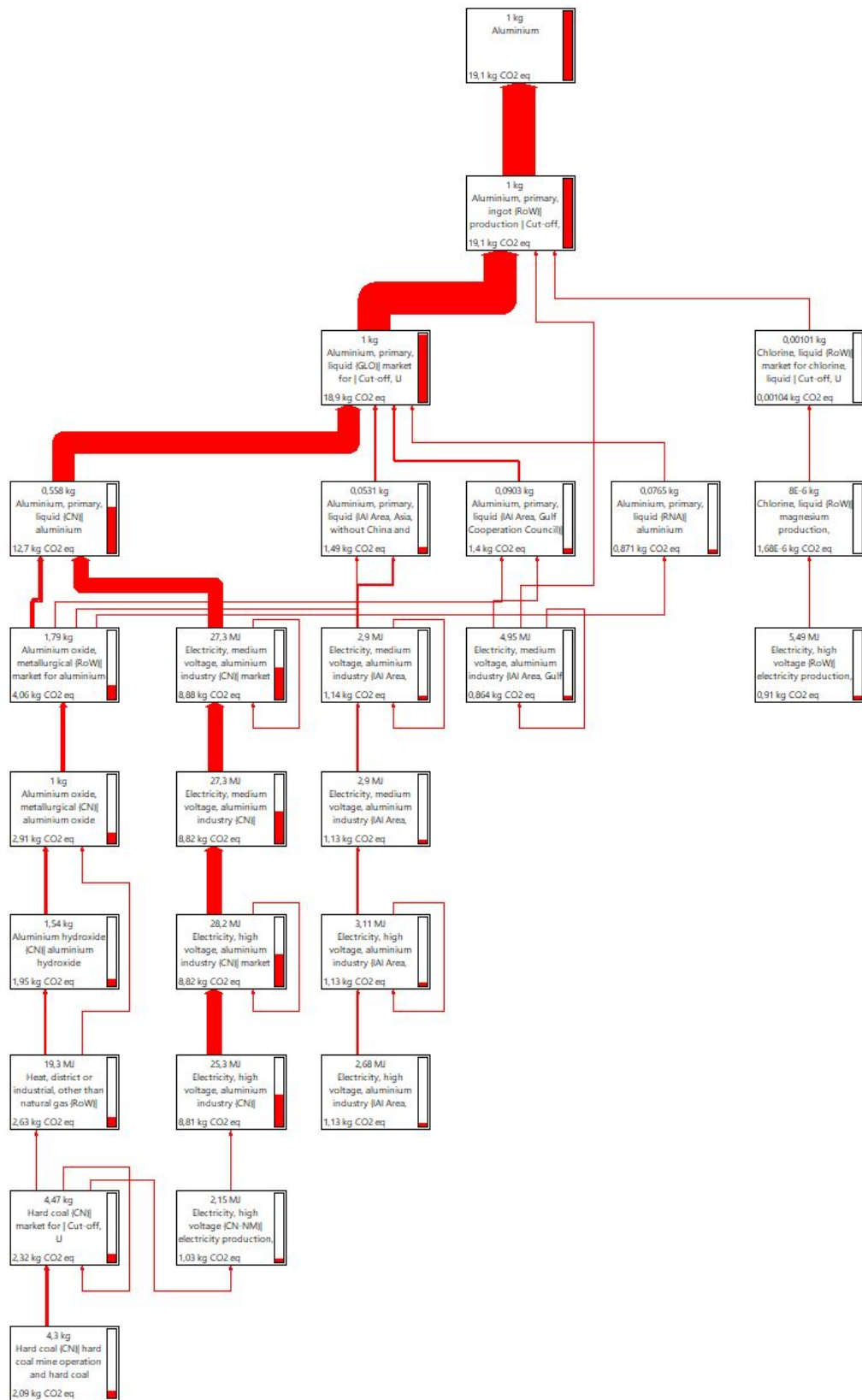
B | LCA simulering for fjernstyrtebrytere

Dette vedlegget presenterer en grundig livssyklusanalyse av produktet som er undersøkt i bacheloroppgaven, utført ved hjelp av programvaren SimaPro [39]. Analysen gir en helhetlig vurdering av produktets påvirkning på miljøet gjennom hele dets levetid, og inkluderer alternative produksjons- og distribusjonsmetoder for å redusere miljøpåvirkningen. Formålet med dette vedlegget er å gi en detaljert forståelse av livssyklusanalysen som ble gjennomført i bacheloroppgaven.

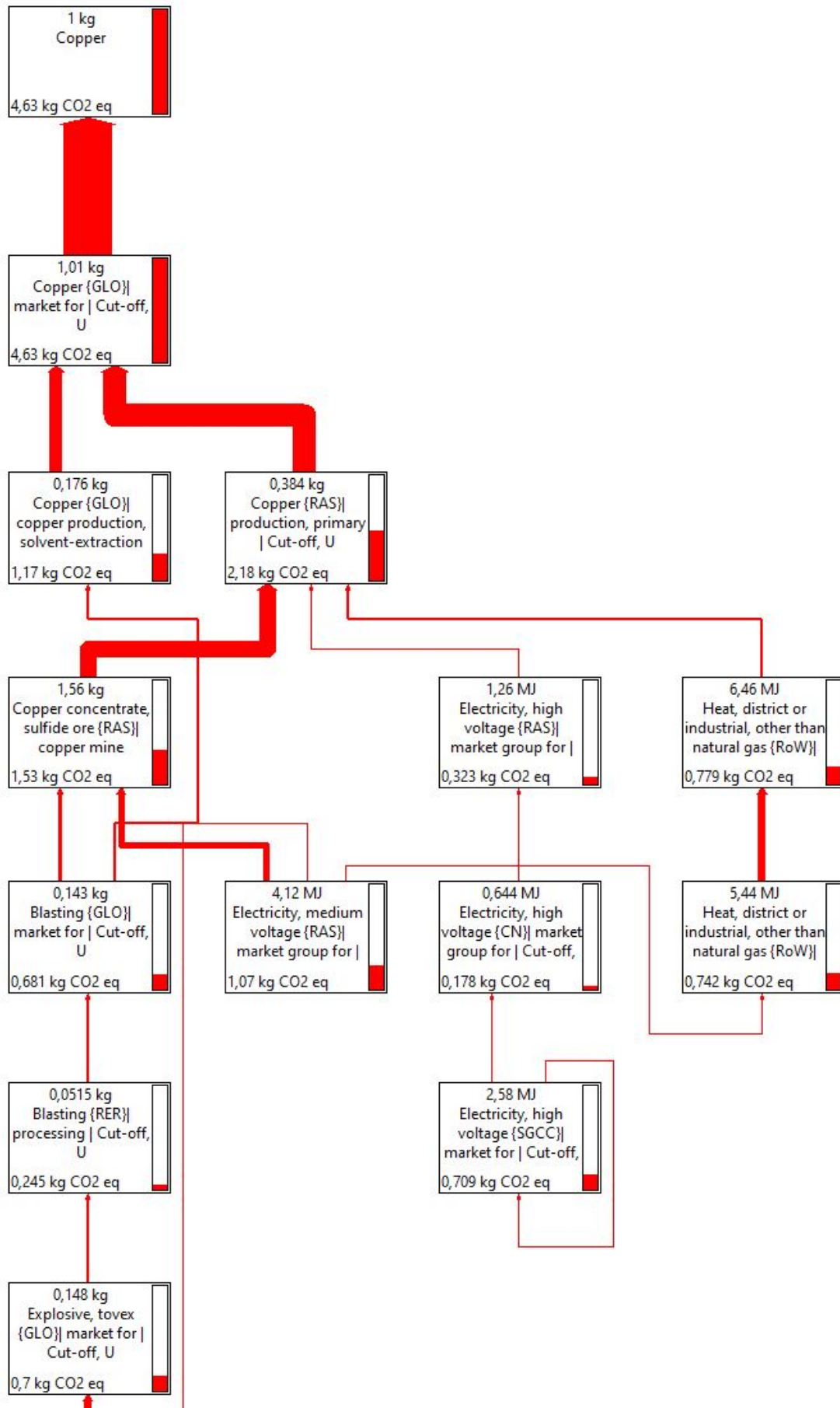
IMPACT-kategorier tabell B.1 refererer til de forskjellige kategoriene som brukes til å kvantifisere og sammenligne miljøpåvirkningene av fjernstyrtebryter i en livssyklusanalyse.

Tabell B.1: Impact category.

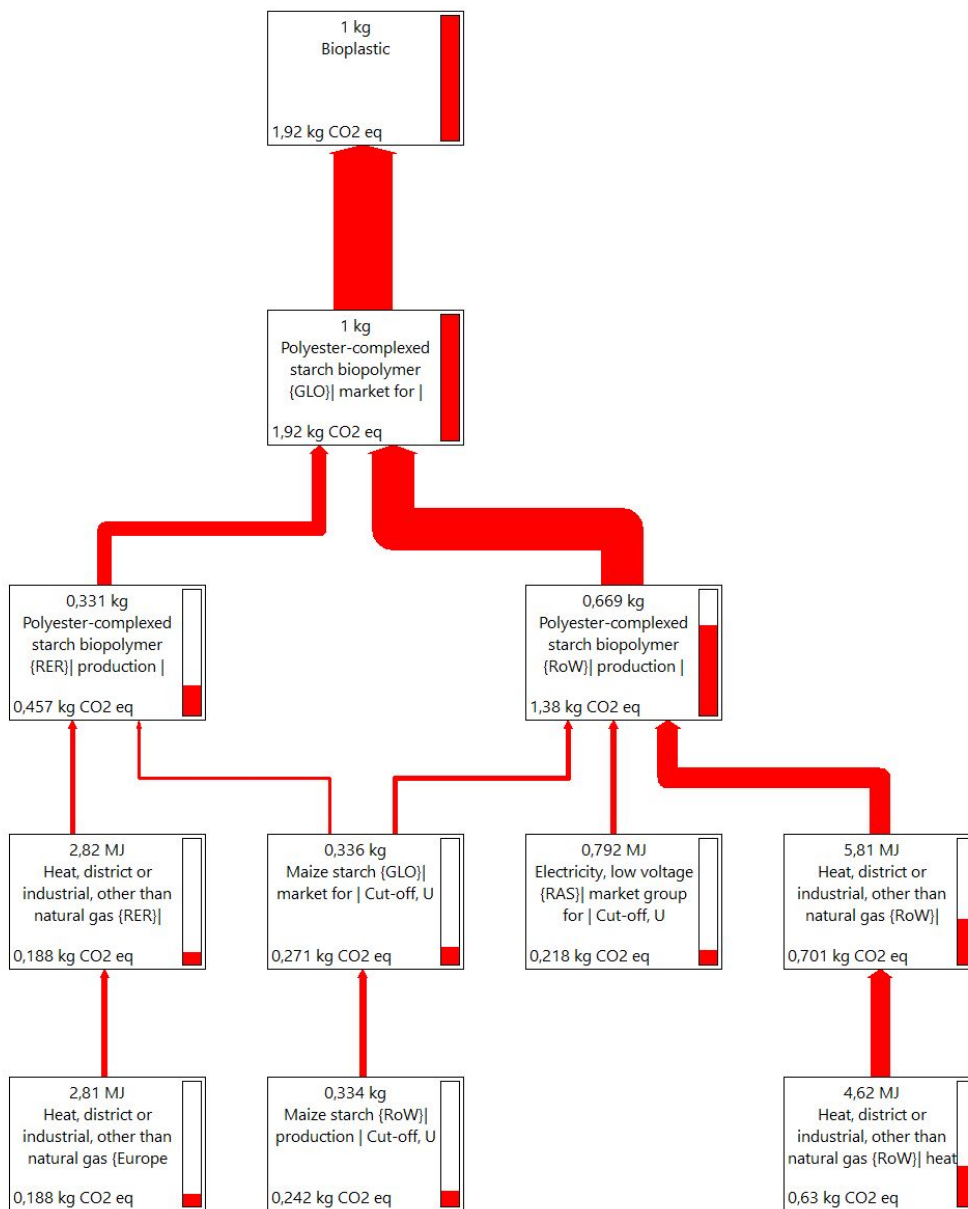
Impact category	Unit	Aluminium	Bioplastic	Copper
Abiotic depletion	kg Sb eq	0.00	0.00	0.00
Abiotic depletion (fossil fuels)	MJ	178.14	43.95	46.23
Global warming (GWP100a)	kg CO2 eq	19.09	1.92	4.63
Ozone layer depletion (ODP)	kg CFC-11 eq	0.00	0.00	0.00
Human toxicity	kg 1,4-DB eq	12.17	1.95	711.03
Fresh water aquatic ecotox.	kg 1,4-DB eq	14.56	1.36	425.97
Marine aquatic ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	57108.91	2967.38	488569.70
Terrestrial ecotoxicity	kg 1,4-DB eq	0.04	0.01	0.28
Photochemical oxidation	kg C2H4 eq	0.01	0.00	0.02
Acidification	kg SO2 eq	0.11	0.01	0.49
Eutrophication	kg PO4— eq	0.03	0.00	0.21



Figur B.1: Al network.



Figur B.2: Copper network.



Figur B.3: Bioplastic network.

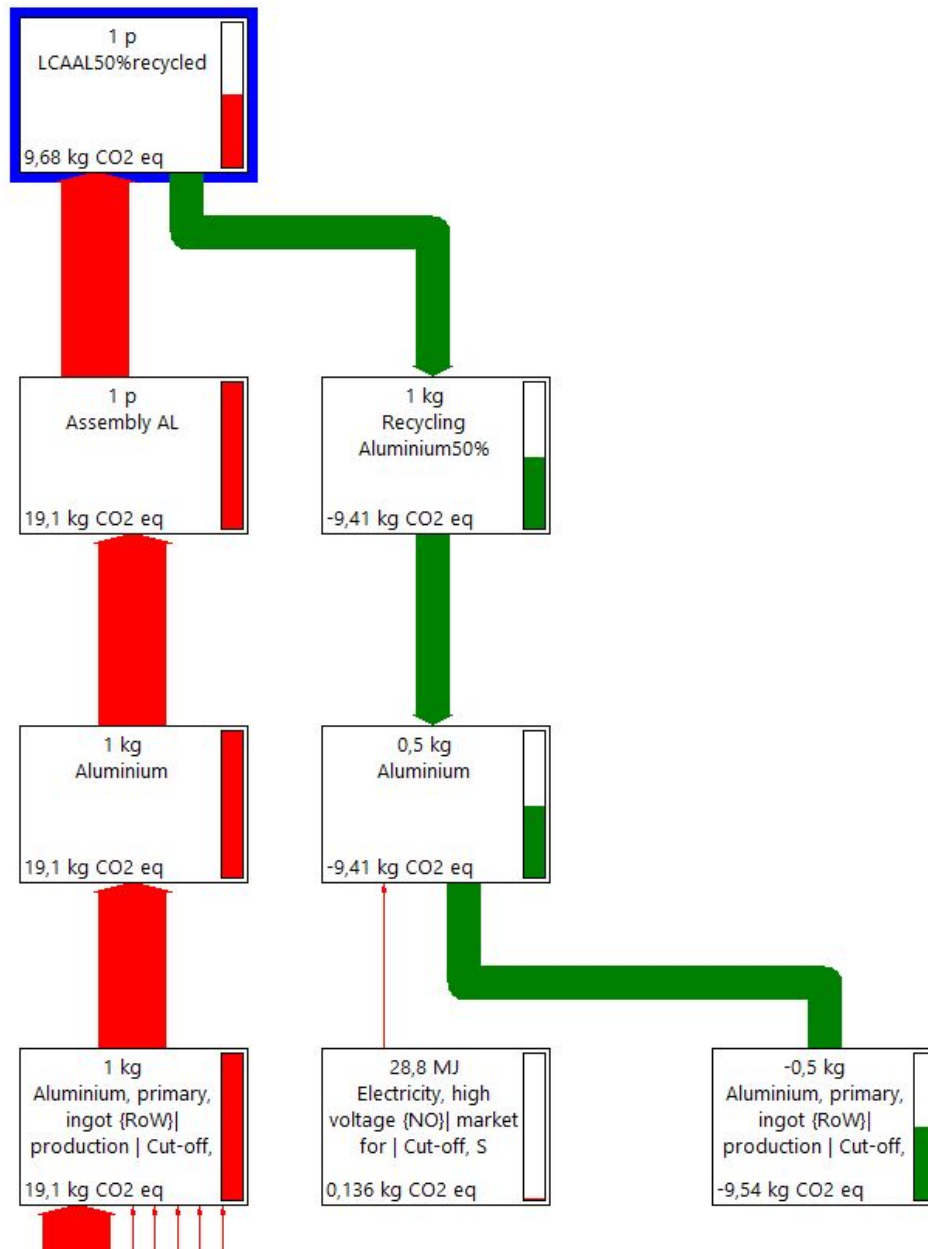


Figure B.4: Recycling network.

C | Casestudie

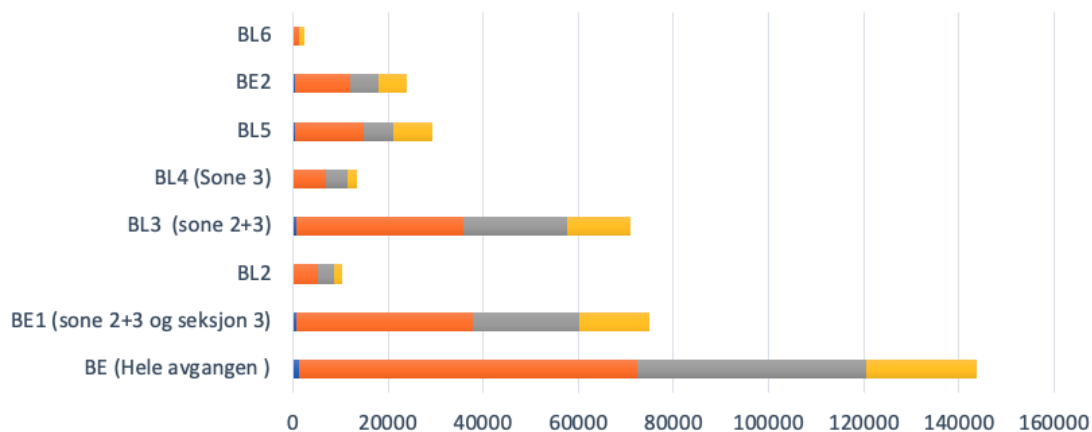
Tabell C.1: Kostnaden for avbrudd per sluttbrukergruppe [kr/kWh].

Kostnadsfunksjon (versjon 2017) forkm,(t = avbruddsvarighet angitt i timer)		
Kundegruppe	1 min og <1 timer	Ref.tid 0.5 timer
Husholdning	8.8+14.7*t	16,15
Jordbruk	5.6+16.1*t	13,65
Industri	38.2+95.2*t	133,9
Handel og tjenester	31.5+189.2*t	126,1
Offentlig virksomhet	64.4+127.2*t	131
Industri med eldrevne	55.1+3.1*t	56,65

Tabell C.2: KILE-kostnader pr 14/11-2019 fra kl 12 til kl 13.

KILE-kostnader pr 14/11-2019 fra kl 12 til kl 13	
BE utkoblet (Hele avgangen)	kr/h 71 216,00
BE1 utkoblet (sone 2+3 og seksjon 3)	kr/h 37 143,00
BL3 utkoblet	kr/h 35 094,00
BL5 utkoblet	kr/h 14 486,00
BE2 utkoblet	kr/h 11 859,00
SONE 1	
Kalkulert seksjon 1	kr/h 28 882,00
BL2 utkoblet - kostnad seksjon 2	kr/h 5 191,00
Kalkulert seksjon 3	kr/h 2 049,00
SUM:	kr/h 36 122,00
SONE 2	
Kalkulert seksjon 4	kr/h 13 878,00
BL4.1 utkoblet -kostnad seksjon 5	kr/h 6 730,00
SUM:	kr/h 20 608,00
SONE 3	
Kalkulert seksjon 6	kr/h 2 627,00
Kalkulert seksjon 7	kr/h 10 632,00
BL5 utkoblet -kostnad seksjon 8	kr/h 1 227,00
SUM:	kr/h 14 486,00

1. KILE-kostnader og ILE pr 14/11-2019 fra kl 12 til kl 13



	BE (Hele avgangen)	BE1 (sone 2+3 og seksjon 3)	BL2	BL3 (sone 2+3)	BL4 (Sone 3)	BL5	BE2	BL6
■ ILE (kWh)	1233,9	749,5	90,9	676	110,1	403,2	298,7	54,5
■ KILE (kr/h) Totalt	kr 71 216,	kr 37 143,	kr 5 191,0	kr 35 094,	kr 6 730,0	kr 14 486,	kr 11 859,	kr 1 227,0
■ Næring	kr 48 150,	kr 22 421,	kr 3 457,0	kr 21 919,	kr 4 620,0	kr 6 089,0	kr 5 703,0	kr -
■ Hus/jordbruk	kr 23 066,	kr 14 721,	kr 1 734,0	kr 13 175,	kr 2 110,0	kr 8 396,0	kr 6 156,0	kr 1 227,0

D | Historisk data

Vedlegg D inneholder data fra Elvia AS som omhandler deres historiske informasjon.

1. KILE- kostnader VIFLAT trafostasjon

Avgang	KILE- kostnader
VIFL.BYBRUA	2241080
VIFL.BJUGSTADT.	1816838
VIFL.HAGE	1131325
VIFL.ØSTVOLDVN. 6	352233
VIFL.ODNESVN. 412	132571
VIFL.HUNTON-SKJERVEN	2627
SUM	5676675

2. Avbruddskostnader, Utide tid, Antall hendelser og KILE avgang VIFLAT- BYBRUA

Avganger	År 2019	År 2020	År 2021	År 2022	Antall hendelser	Varighet av hendelse [sek]	KILE- kostnader [Kr]
VIFL.BYBRUA	7	8	32	11	58	11181,01	2241080
VIFL.BJUGSTADT.	4	25	24	8	61	5745,07	1816838
VIFL.HAGE	7	9	6	2	24	4516,83	1131325
VIFL.ØSTVOLDVN. 6	2	1	2	2	7	338,79	352233
VIFL.ODNESVN. 412	0	1	2	1	4	798,89	132571
VIFL.HUNTON-SKJERVEN	2	0	0	0	2	4,5	2627
SUM	22	44	66	24	156	22585,09	5676675

3. Antall sluttbrukere og årlige forbruk VIFLA- Bybrua, sone 1

Navn	kWh/år	Sl- brukere
ENS ##	28308	56
ENS ##	9821	1
ENS ##	10694	31
ENS ##	989575	72
ENS ##	479525	35
ENS ##	103459	8
ENS ##	300709	15
ENS ##	128164	9
SUM	2050255	227

4. Antall sluttbrukere og årlige forbruk VIFLA- Bybrua, sone 2

Navn	kWh/år	Sl- brukere
ENS ##	350082	23
ENS ##	249210	16
ENS ##	116533	8
ENS ##	75970	4
ENS ##	260224	19
ENS ##	1823301	15
ENS ##	114748	10
ENS ##	35360	6
ENS ##	67927	3
ENS ##	50870	4
SUM	3144225	108

5. Antall sluttbrukere og årlige forbruk VIFLA- Bybrua, sone 3

Navn	kWh/år	Sl- brukere
ENS ##	188467	12
ENS ##	184880	13
ENS ##	155374	12
ENS ##	206526	2
ENS ##	268080	23
ENS ##	139150	8
ENS ##	118006	8
ENS ##	73180	8
ENS ##	59808	5
ENS ##	166033	19
ENS ##	80963	6
ENS ##	52605	6
ENS ##	29540	24
ENS ##	236573	19
ENS ##	155432	12
ENS ##	23669	4
ENS ##	19637	2
SUM	2157923	183

6. Type sluttbrukere Gj.sn. (kWh/år) i sone 1 avgang VIPLAT- BYBRUA

Type Sl-bruker	1	2	3	4	5	6	7	8	Total
HUSHOLDNING	53	0	27	67	30	8	14	8	207
VAREHANDEL	1	0	0	0	0	0	0	0	1
KONTOR	2	1	3	4	4	0	0	1	15
INDUSTRI-1	0	0	1	1	0	0	0	0	2
JORDBRUK	0	0	0	0	1	0	1	0	2
Gj.sn. (kWh/år)	20074	9821	21043	13744	15796	12932	16341	28522	138273

7. Type sluttbrukere samt Gj.sn. (kWh/år) i sone 2 avgang VIPLAT- BYBRUA

Type Sl-bruker	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	Total
HUSHOLDNING	21	12	7	3	19	15	8	6	3	3	97
VAREHANDEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KONTOR	2	4	0	0	0	0	0	0	0	1	7
INDUSTRI-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JORDBRUK	0	0	1	1	0	0	2	0	0	0	4
Gj.sn. (kWh/år)	16517	28018	28193	28552	14457	12153	12824	7854	22642	20986	192196

8. Type sluttbrukere samt Gj.sn. (kWh/år) i sone 3 avgang VIPLAT- BYBRUA

Type Sl-bruker	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	Total
HUSHOLDNING	12	10	10	20	8	8	7	5	17	6	4	22	17	10	2	1	8	167
VAREHANDEL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
KONTOR	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	2	1	0	0	5
INDUSTRI-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
JORDBRUK	0	2	2	2	0	0	1	0	2	0	2	2	1	0	0	1	0	15
HOTELL	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	1	0	0	1
Gj.sn. (kWh/år)	24922	29181	15706	206526	14572	17394	15273	11635	11962	10090	17541	14089	16234	17660	16079	8626	15356	445452

9. Totalt type sl- brukere avgang VIPLAT- BYBRUA for sone 1, 2 og 3.

Type Sl-brukere	Sone 1	Sone 2	Sone 3	Total
HUSHOLDNING	207	97	159	463
VAREHANDEL	1	0	0	1
KONTOR	15	7	5	27
INDUSTRI-1	2	0	0	2
JORDBRUK	2	4	15	21
HOTELL	0	0	1	1

10. ILE, Type hendelse, varighet av hendelse, berørte ns, KILE-kostnader og klokkeslett for VIFLAT trafostasjon i 2019

Dato	Ukedag	Klokkeslett	KILE [kr]	Varighet av hendelse	Type hendelse	Berørte nettdeler/stasjoner
20.11.2019 11:00:01	Onsdag	11:00:01	69379,950	79,05	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
16.10.2019 16:01:27	Onsdag	16:01:27	9859,953	53,08333333	planlagt varslet utkobling	VIFL.ØSTVOLDVN. 6
19.12.2019 08:34:59	Torsdag	08:34:59	4220,734	141,9166667	planlagt varslet utkobling	VIFL.HAGE
19.12.2019 17:50:26	Torsdag	17:50:26	44761,736	285,3	automatisk utkobling	VIFL.HAGE
19.12.2019 17:50:26	Torsdag	17:50:26	44761,736	285,3	automatisk utkobling	VIFL.HAGE
19.12.2019 15:22:04	Torsdag	15:22:04	116451,030	452,75	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
24.10.2019 08:02:51	Torsdag	08:02:51	1404,241	50,26666667	planlagt varslet utkobling	VIFL.ØSTVOLDVN. 6
10.10.2019 09:06:47	Torsdag	09:06:47	2718,532	237,7333333	planlagt varslet utkobling	VIFL.BYBRUA
06.06.2019 18:20:38	Torsdag	18:20:38	13900,717	369,55	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
29.11.2019 07:35:34	Fredag	07:35:34	17954,825	8,433333333	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
11.10.2019 10:31:10	Fredag	10:31:10	46583,583	14,23333333	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
16.08.2019 18:47:33	Fredag	18:47:33	138,570	60,4	automatisk utkobling	VIFL.HUNTON-SKJERVEN
16.08.2019 18:47:33	Fredag	18:47:33	2837,578	9,066666667	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
15.03.2019 08:00:03	Fredag	08:00:03	1550,356	37,96666667	planlagt varslet utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
21.12.2019 04:24:28	Lørdag	04:24:28	79331,448	381,45	automatisk utkobling	VIFL.HAGE
21.12.2019 11:42:57	Lørdag	11:42:57	644,550	5,916666667	planlagt ikke varslet utkobling	VIFL.BYBRUA
07.12.2019 13:14:08	Lørdag	13:14:08	9396,580	2,616666667	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
12.10.2019 11:32:35	Lørdag	11:32:35	20538,607	3,183333333	automatisk utkobling	VIFL.HAGE
28.09.2019 05:21:45	Lørdag	05:21:45	9855,381	3,083333333	automatisk utkobling	VIFL.HAGE
17.08.2019 10:27:00	Lørdag	10:27:00	1174,360	301,0333333	automatisk utkobling	VIFL.HAGE
03.11.2019 11:35:45	Søndag	11:35:45	8070,949	6,433333333	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
03.11.2019 11:35:45	Søndag	11:35:45	2488,171	88,86666667	automatisk utkobling	VIFL.HUNTON-SKJERVEN

11. ILE, Type hendelse, varighet av hendelse, berørte ns, KILE-kostnader og klokkeslett for VIFLAT trafostasjon i 2020

Dato	Ukedag	Klokkeslett	KILE [kr]	Varighet av hendelse	Type hendelse	Berørte nettdeler/stasjoner
14.12.2020 22:23:47	Mandag	22:23:47	15724,469	3,980383333	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
14.12.2020 17:04:44	Mandag	17:04:44	33415,132	4,416966667	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
12.10.2020 08:07:59	Mandag	08:07:59	29679,568	0,021483333	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
22.09.2020 09:08:34	Tirsdag	09:08:34	14086,845	57,37208333	planlagt varslet utkobling	VIFL.BYBRUA
22.09.2020 10:57:44	Tirsdag	10:57:44	17834,498	0,029183333	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
30.06.2020 22:40:18	Tirsdag	22:40:18	9813,816	0,68015	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
23.12.2020 12:29:32	Onsdag	12:29:32	3691,861	34,04223333	planlagt ikke varslet utkobling	VIFL.HAGE
16.12.2020 09:47:17	Onsdag	09:47:17	15179,535	94,3863	planlagt ikke varslet utkobling	VIFL.HAGE
16.12.2020 14:15:16	Onsdag	14:15:16	2943,892	54,03175	planlagt ikke varslet utkobling	VIFL.BYBRUA
16.12.2020 03:35:43	Onsdag	03:35:43	5990,776	74,91113333	planlagt ikke varslet utkobling	VIFL.HAGE
04.03.2020 12:00:23	Onsdag	12:00:23	389,865	119,2416167	planlagt varslet utkobling	VIFL.BYBRUA
29.01.2020 10:43:09	Onsdag	10:43:09	134093,995	251,6666667	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
22.01.2020 08:16:20	Onsdag	08:16:20	14597,670	195,55	planlagt varslet utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
31.12.2020 19:11:44	Torsdag	19:11:44	59394,860	497,2693333	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
17.12.2020 11:03:04	Torsdag	11:03:04	7445,180	18,36433333	planlagt varslet utkobling	VIFL.BYBRUA
17.12.2020 17:44:17	Torsdag	17:44:17	57984,709	111,935	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
17.12.2020 23:37:06	Torsdag	23:37:06	20536,509	12,68	planlagt ikke varslet utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
16.07.2020 10:08:10	Torsdag	10:08:10	27753,496	8,72945	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
02.01.2020 08:52:07	Torsdag	08:52:07	37243,340	8,1	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
18.12.2020 21:56:03	Fredag	21:56:03	60378,432	267,97495	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
18.12.2020 03:33:04	Fredag	03:33:04	140168,403	441,90735	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
18.12.2020 12:24:12	Fredag	12:24:12	460,315	66,46803333	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
18.12.2020 03:21:38	Fredag	03:21:38	8974,884	706,1153667	automatisk utkobling	VIFL.HAGE
18.12.2020 17:10:43	Fredag	17:10:43	60326,629	2,634716667	automatisk utkobling	VIFL.HAGE
30.10.2020 19:24:06	Fredag	19:24:06	43595,125	188,1251833	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
16.10.2020 10:41:33	Fredag	10:41:33	Avvik	4,155916667	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
21.02.2020 08:00:48	Fredag	08:00:48	2830,541	9,633966667	planlagt varslet utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
10.01.2020 11:01:18	Fredag	11:01:18	32300,115	217,1	planlagt varslet utkobling	VIFL.ODNESVN. 412
03.01.2020 12:39:02	Fredag	12:39:02	2699,272	4,916666667	påtvungen utkobling	VIFL.HAGE
19.12.2020 18:53:45	Lørdag	18:53:45	1671,705	16,11715	planlagt ikke varslet utkobling	VIFL.HAGE
19.12.2020 13:28:53	Lørdag	13:28:53	84796,254	136,0183667	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
19.12.2020 10:01:54	Lørdag	10:01:54	199693,201	268,9495	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
17.10.2020 11:49:26	Lørdag	11:49:26	16001,628	2,796383333	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
03.10.2020 11:11:18	Lørdag	11:11:18	13374,652	0,021616667	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
07.03.2020 15:28:39	Lørdag	15:28:39	1533,067	35,99763333	planlagt ikke varslet utkobling	VIFL.BJUGSTADT.

12. ILE, Type hendelse, varighet av hendelse, berørte ns, KILE-kostnader og klokkeslett for VIFLAT trafostasjon i 2021

Dato	Ukedag	Klokkeslett	KILE [kr]	Varighet av hendelse	Type hendelse	Berørte nettdeler/stasjoner
13.12.2021	Mandag	11:46:20	2706,649	10,39676667	planlagt ikke varslet utkobling	VIFL.BJUGSTADT
06.12.2021	Mandag	08:55:37	93889,824	237,8819667	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT
22.11.2021	Mandag	12:30:30	1713,257	7,066833333	planlagt ikke varslet utkobling	VIFL.ØSTVOLDVN 6
20.09.2021	Mandag	13:02:57	21051,676	0,990533333	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
13.09.2021	Mandag	11:29:52	17297,217	0,885266667	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT
06.09.2021	Mandag	09:47:37	27698,150	7,303716667	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT
05.07.2021	Mandag	20:45:49	23441,112	6,285883333	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
09.11.2021	Tirsdag	09:01:04	3926,945	166,3453167	planlagt varslet utkobling	VIFL.HAGE
02.11.2021	Tirsdag	10:00:47	11071,794	192,2339	planlagt varslet utkobling	VIFL.BYBRUA
19.10.2021	Tirsdag	09:05:14	8562,418	188,8717333	planlagt varslet utkobling	VIFL.BYBRUA
05.10.2021	Tirsdag	07:55:48	32963,704	6,514016667	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT
24.08.2021	Tirsdag	08:00:32	38213,143	184,3553167	planlagt varslet utkobling	VIFL.ODNESVN 412
09.03.2021	Tirsdag	08:49:15	8840,587	13,53021667	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
29.09.2021	Onsdag	09:51:28	31930,016	2,513916667	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
15.09.2021	Onsdag	09:01:16	29868,588	1,24975	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
24.03.2021	Onsdag	03:36:17	59460,551	91,37493333	automatisk utkobling	VIFL.ODNESVN. 412
27.01.2021	Onsdag	09:46:08	1084,356	31,88001667	planlagt ikke varslet utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
20.01.2021	Onsdag	08:39:43	5684,379	125,0647333	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
06.01.2021	Onsdag	11:06:32	2829,033	18,98323333	planlagt ikke varslet utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
06.01.2021	Onsdag	05:26:03	193405,880	245,6602333	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
06.01.2021	Onsdag	14:06:40	4556,981	128,3674667	planlagt varslet utkobling	VIFL.BYBRUA
11.11.2021	Torsdag	15:39:10	27136,306	5,282066667	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT
04.11.2021	Torsdag	09:02:50	4277,030	197,1918333	planlagt varslet utkobling	VIFL.BYBRUA
21.10.2021	Torsdag	09:00:48	12192,639	173,0425833	planlagt varslet utkobling	VIFL.BYBRUA
23.09.2021	Torsdag	11:59:36	1302,745	70,26803333	planlagt varslet utkobling	VIFL.BYBRUA
16.09.2021	Torsdag	10:30:14	1150,346	14,0209	planlagt ikke varslet utkobling	VIFL.BYBRUA
09.09.2021	Torsdag	08:30:36	10965,293	115,49345	planlagt varslet utkobling	VIFL.HAGE
02.09.2021	Torsdag	07:31:32	36199,689	2,2816	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
17.06.2021	Torsdag	08:59:41	3343,875	80,67016667	planlagt varslet utkobling	VIFL.BJUGSTADT
13.05.2021	Torsdag	22:19:00	8713,841	347	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT
22.04.2021	Torsdag	08:32:09	129,359	44,93421667	planlagt varslet utkobling	VIFL.BYBRUA
22.04.2021	Torsdag	12:02:15	4240,110	54,21153333	planlagt varslet utkobling	VIFL.BYBRUA
25.03.2021	Torsdag	12:42:11	71292,729	124,8251333	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
28.01.2021	Torsdag	09:26:54	8860,013	121,0424667	planlagt varslet utkobling	VIFL.BYBRUA
21.01.2021	Torsdag	04:32:10	129335,178	211,30095	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
21.01.2021	Torsdag	10:04:36	7023,615	46,74968333	påtvungen utkobling	VIFL.HAGE
21.01.2021	Torsdag	18:36:36	180240,044	184,77385	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
07.01.2021	Torsdag	08:56:06	9428,212	206,0014667	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
19.11.2021	Fredag	16:56:58	169473,921	1253,442783	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
19.11.2021	Fredag	16:56:58	169473,921	1253,442783	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
19.11.2021	Fredag	16:56:58	169473,921	1253,442783	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
19.11.2021	Fredag	16:56:58	169473,921	1253,442783	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
22.10.2021	Fredag	09:02:26	571,877	86,65283333	planlagt varslet utkobling	VIFL.BJUGSTADT
10.09.2021	Fredag	20:31:17	209,607	18,72311667	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
03.09.2021	Fredag	10:56:38	33070,065	12,89613333	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT
18.06.2021	Fredag	08:12:13	497,904	14,80591667	planlagt varslet utkobling	VIFL.BJUGSTADT
14.05.2021	Fredag	00:12:34	3787,912	459,0371333	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT
19.03.2021	Fredag	07:33:09	954,729	1,582333333	planlagt varslet utkobling	VIFL.ØSTVOLDVN. 6
19.02.2021	Fredag	08:47:12	623,895	82,24531667	planlagt varslet utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
29.01.2021	Fredag	10:04:11	3989,923	71,2587	planlagt varslet utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
22.01.2021	Fredag	08:59:08	464,747	12,48838333	planlagt ikke varslet utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
01.01.2021	Fredag	14:50:04	34881,447	210,6228833	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT.
18.09.2021	Lørdag	17:09:14	23366,522	0,5556	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
04.09.2021	Lørdag	18:56:33	29740,785	10,27618333	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
04.09.2021	Lørdag	09:45:30	14746,416	5,525666667	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT
21.08.2021	Lørdag	11:07:00	21953,656	4,14285	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
15.05.2021	Lørdag	09:16:57	862,692	128,53455	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT
23.01.2021	Lørdag	12:22:49	1336,830	13,3425	planlagt ikke varslet utkobling	VIFL.HAGE
10.10.2021	Søndag	10:30:10	4905,767	1441	planlagt varslet utkobling	VIFL.BYBRUA
26.09.2021	Søndag	12:59:26	9885,392	0,890516667	automatisk utkobling	VIFL.BJUGSTADT
19.09.2021	Søndag	10:58:05	15884,374	0,465816667	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
12.09.2021	Søndag	17:21:29	23218,882	1,365966667	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
12.09.2021	Søndag	12:30:16	18260,663	3,206033333	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
08.08.2021	Søndag	09:03:34	16788,186	4,022633333	automatisk utkobling	VIFL.BYBRUA
03.01.2021	Søndag	09:39:15	1607,017	37,5417	planlagt ikke varslet utkobling	VIFL.HAGE
03.01.2021	Søndag	12:12:35	2127,614	24,02601667	planlagt ikke varslet utkobling	VIFL.HAGE

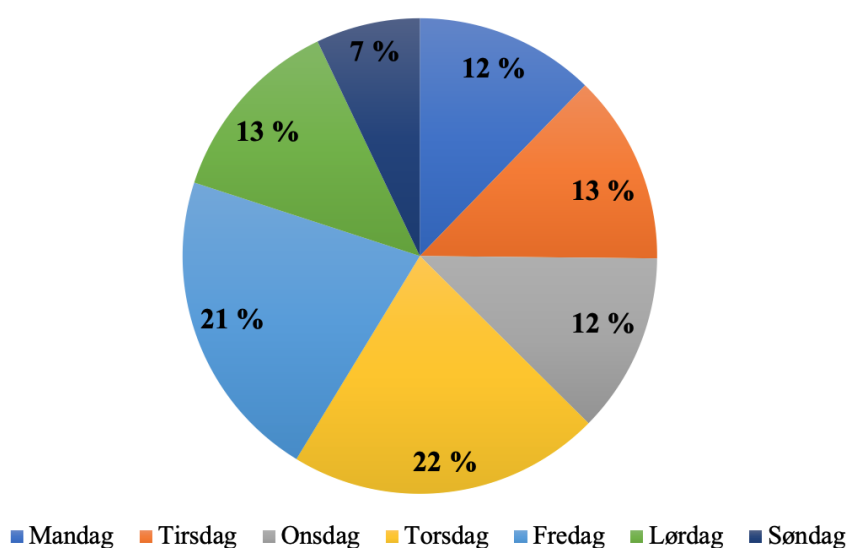
13. ILE, Type hendelse, varighet av hendelse, berørte ns, KILE-kostnader og klokkeslett for VIPLAT trafostasjon i 2022

Dato	Ukedag	Klokkeslett	KILE [kr]	Varighet av hendelse	Type hendelse	Berørte nettdeler/stasjoner
05.09.2022 12:01:06	Mandag	12:01:06	516,012	8,9255	planlagt varslet utkobling	VIPL.BYBRUA
05.09.2022 08:07:03	Mandag	08:07:03	43564,591	403,993667	planlagt varslet utkobling	VIPL.BJUGSTADT
22.08.2022 09:25:17	Mandag	09:25:17	2597,223	306,0634333	planlagt varslet utkobling	VIPL.ODNESVN 412
08.08.2022 06:42:46	Mandag	06:42:46	20050,976	3,562833333	automatisk utkobling	VIPL.BJUGSTADT
27.06.2022 10:01:23	Mandag	10:01:23	1650,705	56,72641667	planlagt varslet utkobling	VIPL.HAGE
27.06.2022 21:00:01	Mandag	21:00:01	18232,262	3,1021	automatisk utkobling	VIPL.HAGE
04.04.2022 12:21:35	Mandag	12:21:35	120146,195	46,40881667	automatisk utkobling	VIPL.ØSTVOLDVN 6
14.03.2022 07:55:23	Mandag	07:55:23	28398,683	6,42075	automatisk utkobling	VIPL.BJUGSTADT
07.06.2022 16:02:43	Tirsdag	16:02:43	2649,212	87,03423333	planlagt varslet utkobling	VIPL.ØSTVOLDVN 6
15.02.2022 07:53:24	Tirsdag	07:53:24	46360,764	3,3794	automatisk utkobling	VIPL.BYBRUA
15.02.2022 11:17:01	Tirsdag	11:17:01	26051,476	0,98495	automatisk utkobling	VIPL.BYBRUA
20.07.2022 08:02:28	Onsdag	08:02:28	647,722	126,5084	planlagt varslet utkobling	VIPL.BYBRUA
02.03.2022 08:31:11	Onsdag	08:31:11	1820,716	210,12685	planlagt varslet utkobling	VIPL.BYBRUA
09.02.2022 08:30:42	Onsdag	08:30:42	2421,364	236,8815333	planlagt varslet utkobling	VIPL.BYBRUA
02.02.2022 09:01:03	Onsdag	09:01:03	4659,440	127,5237833	planlagt varslet utkobling	VIPL.BYBRUA
25.08.2022 10:51:21	Torsdag	10:51:21	24805,243	13,1739	automatisk utkobling	VIPL.BJUGSTADT
31.03.2022 15:01:27	Torsdag	15:01:27	39748,226	115,5717333	planlagt varslet utkobling	VIPL.BJUGSTADT
13.01.2022 10:25:57	Torsdag	10:25:57	39580,483	3,660583333	automatisk utkobling	VIPL.BYBRUA
02.09.2022 11:02:37	Fredag	11:02:37	20482,929	4,87935	automatisk utkobling	VIPL.BJUGSTADT
04.03.2022 08:22:15	Fredag	08:22:15	389,782	159,7442	planlagt varslet utkobling	VIPL.BJUGSTADT
04.03.2022 09:36:32	Fredag	09:36:32	36015,417	4,337383333	automatisk utkobling	VIPL.BYBRUA
30.07.2022 06:36:15	Lørdag	06:36:15	43261,909	45,40713333	automatisk utkobling	VIPL.BYBRUA
28.08.2022 10:15:22	Søndag	10:15:22	7221,823	0,665416667	automatisk utkobling	VIPL.BJUGSTADT
14.08.2022 06:51:13	Søndag	06:51:13	19673,743	4,728166667	automatisk utkobling	VIPL.BYBRUA

14. ILE f.o.m 2019 t.o.m 2022 avgang VIPLAT- BYBRUA for ukedager

Ukedag	2019	2020	2021	2022	Total
Mandag	0	4	7	8	19
Tirsdag	0	11	6	3	20
Onsdag	0	7	8	4	19
Torsdag	7	6	17	3	33
Fredag	5	11	14	3	33
Lørdag	6	6	6	2	20
Søndag	2	0	8	1	11

15. ILE f.o.m 2019 t.o.m 2022 avgang VIPLAT- BYBRUA for ukedager



16. Antall hendelser samt KILE-kostnader avgang VIFLAT- BYBRUA for måneder i 2019

Måned.År	Antall hendelse	KILE (totalt) [kr]
mar.19	1	1550
jun.19	1	13901
aug.19	3	4151
sep.19	1	9855
okt.19	5	81105
nov.19	4	97894
des.19	7	299568
SUM	22.01.1900	508024

17. Antall hendelser samt KILE-kostnader avgang VIFLAT- BYBRUA for måneder i 2020

Måned.År	Antall hendelse	KILE (totalt) [kr]
jan.20	5	220934
feb.20	1	2831
mar.20	2	1923
jun.20	1	9814
jul.20	1	27753
sep.20	3	62300
okt.20	5	102651
des.20	26	2111838
SUM	44,000	2540044

18. Antall hendelser samt KILE-kostnader avgang VIFLAT- BYBRUA for måneder i 2021

Måned.år	Antall hendelser	KILE (totalt) [kr]
jan.21	16	586855
feb.21	1	624
mar.21	4	140549
apr.21	2	4369
mai.21	2	9577
jun.21	2	3842
jul.21	1	23441
aug.21	3	76955
sep.21	18	345846
okt.21	5	59196
nov.21	9	726021
des.21	2	96596
SUM	65	2073872

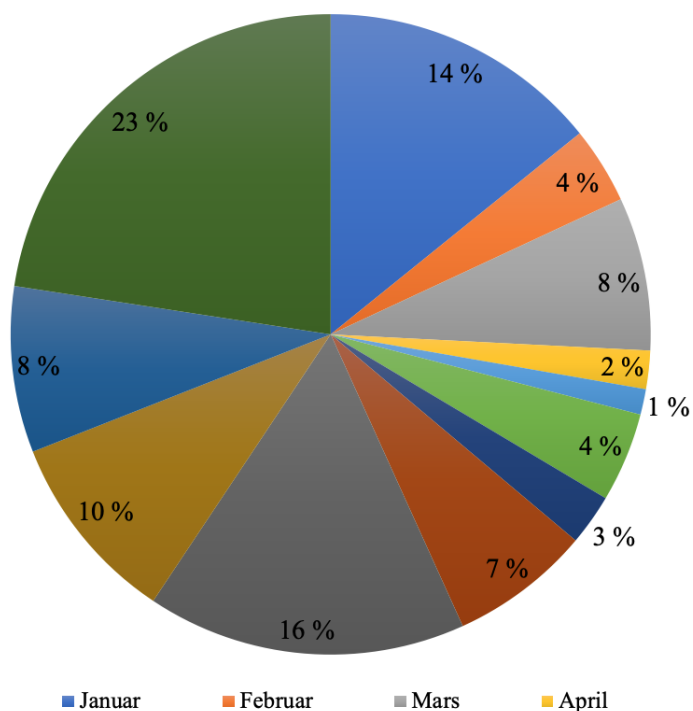
19. Antall hendelser samt KILE-kostnader avgang VIFLAT- BYBRUA for måneder i 2022

Måned.år	Antall hendelser	KILE (totalt) [kr]
jan.22	1	39580
feb.22	4	79493
mar.22	5	106373
apr.22	1	120146
jun.22	3	22532
jul.22	2	43910
aug.22	5	73402
sep.22	3	64564
SUM	24	550000

20. Totalt antall hendelser samt KILE-kostnader avgang VIFLAT- BYBRUA for måneder i 2019, 2020, 2021, 2022.

Måned	Antall hendelse	KILE- kostnader [Kr]
Januar	22	847370
Februar	6	82947
Mars	12	250395
April	3	124516
Mai	2	9577
Juni	7	50088
Juli	4	109005
August	11	154508
September	25	482566
Oktober	15	242952
November	13	823915
Desember	35	2508001
SUM	155	5685840

21. Vedlegg 21: Totalt antall hendelser samt KILE-kostnader avgang VIFLAT- BYBRUA for måneder i 2019, 2020, 2021, 2022.



22. Avbruddsrapportering bestemtidspunkt for breregning/ Ikke varslet avbrudd/ Sum KILE/Knutepunkt.

Dato	Klokke	KILE- Kostnader [k Kr]	Gjennomsnitt [k Kr]
16.01.2019	01:00 - 02:00	29,374	0,816
16.01.2019	09:00 - 10:00	74,133	2,059
13.02.2019	01:00 - 02:00	29,607	0,822
13.02.2019	09:00 - 10:00	74,396	2,067
21.03.2019	01:00 - 02:00	26,82	0,745
21.03.2019	09:00 - 10:00	69,902	1,942
24.04.2019	01:00 - 02:00	26,82	1,942
24.04.2019	09:00 - 10:00	69,909	1,942
07.05.2019	01:00 - 02:00	24,384	0,676
07.05.2019	09:00 - 10:00	67,071	1,863
26.06.2019	01:00 - 02:00	22,075	0,613
26.06.2019	09:00 - 10:00	64,694	1,797
10.07.2019	01:00 - 02:00	20,07	0,557
10.07.2019	09:00 - 10:00	62,38	1,733
13.08.2019	01:00 - 02:00	20,07	1,733
13.08.2019	09:00 - 10:00	62,38	1,733
18.09.2019	01:00 - 02:00	22,644	0,629
18.09.2019	09:00 - 10:00	66,969	1,86
08.10.2019	01:00 - 02:00	26,654	0,74
08.10.2019	09:00 - 10:00	71,595	1,989
26.11.2019	01:00 - 02:00	26,887	0,747
26.11.2019	09:00 - 10:00	71,858	1,996
12.12.2019	01:00 - 02:00	29,607	0,822
12.12.2019	09:00 - 10:00	74,396	2,067

23. Avbruddsrapportering avganger VIFLAT trafostasjon for Antall sluttbrukere, Varighet av hendelse og Sum KILE/Knutepunkt

Avgang	Antall hendelse	Antall berørte sl-brukere	Varighet av hendelse [T]	KILE-kostnader [kr]
VIFL.BYBRUA	37	16777	2,0425564	2177999
VIFL.BJUGSTADT.	42	12691	1,1570912	1665465
VIFL.HAGE	11	5002	1,0250883	1069233
VIFL.ØSTVOLDVN. 6	2	1078	0,0388209	335651
VIFL.ODNESVN. 412	1	553	0,0253819	59461
VIFL.HUNTON-SKJERVEN	2	9	0,041463	2627
SUM	95	36110	4,3304017	5310436

24. Avbruddsrapportering avganger VIFLAT trafostasjon for Antall avbrudd, Varighet av hendelse og Sum KILE/Knutepunkt

År	Antall avbrudd	Varighet av hendelse [Sek]	KILE-Kostnader [Kr]
2019	7	1051,4	217199
2020	6	2258,65395	391288
2021	27	6460,30845	1382795
2022	8	388,99645	210944
SUM	48	10159,35885	2202227
Gj.Sn	12	2539,839713	550557

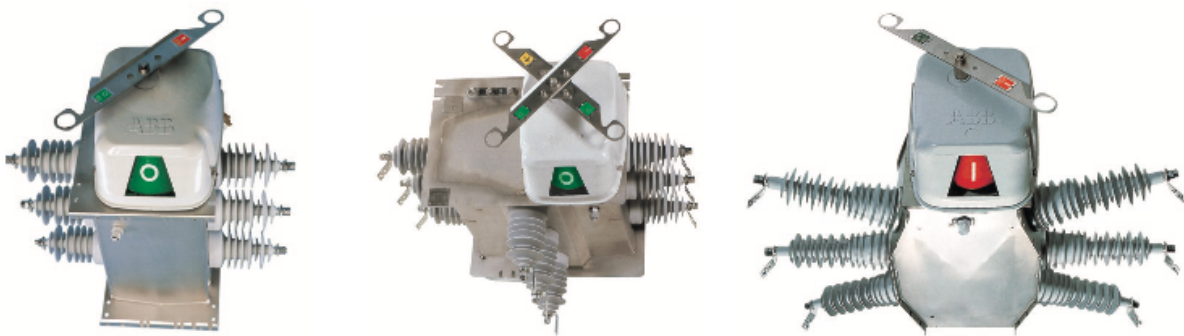
25. Kostnader til fjernstyrt komponenter, transport og ansatte

Kostnader til fjernstyrt komponenter, transport og ansatte				
Antall turer pr uke	2	tur/retur	Antall arbeidsuker pr år	40 uker
Sammendrag	Pr uke		1 år	10 år
CO2	0 kg		0 tonn	0 tonn
Kostnad CO2	0 kr		0 kr	0 kr
KM	188 km		7 520 km	75 200 km
Drivstoffutgifter	643 kr		25 720 kr	257 200 kr
Serviceutgifter	343 kr		4 011 kr	40 107 kr
Dekkutgifter	45 kr		1 805 kr	18 048 kr
Summert ekstrakostnad	1 031 kr		31 535 kr	315 355 kr
I tillegg kommer verditap, økt risiko for skader ol. Pga økt kjørelengde				
Dieselpris	18	kr/l	Kan variere	
Personbil/Caddy	0,8	l/mil	3,76	liter pr tur/retur
Andre lette kjøretøy/Transporter, Crafter etc. under 3,5t	1,3	l/mil	6,11	liter pr tur/retur
Lastebiler	2,5	l/mil	11,75	liter pr tur/retur
Gjennomsnittlig service intervall	30 000	km		
Kostnad på service	16 000	kr		
Gjennomsnittlig levetid på dekk	50 000	km		
Kostnad nye dekk	12 000	kr		
Kostnad pr tonn CO2	990	kr	Skal øke til 2000,- frem til 2030.	
NB! Levetid for komponenter er satt på cr. 20 år				
Pris på fjernstyrt komponent				
Linjenettet				Pris [Kr.]
Ny sectos i bestående master inkludert RTU og kommunikasjon				270 000,-
Ny sectos i nye master inkludert RTU og kommunikasjon				350 000,-
Kabelnettet				Pris [Kr.]
Ny Ns med 2k+1T med RTU og kommunikasjon				700 000,-
Ny Ns med 3k+1T med RTU og kommunikasjon				800 000,-
Ettermontering av motorstyring i eksisterende Ns med RTU og kommunikasjon				400 000,-
Ny Ns med 1v+1k+1T med RTU og kommunikasjon				850 000,-
Ny Ns med 1v+2k+1T med RTU og kommunikasjon				950 000,-

E | Sectos polmontert SF6 lastbryter

Vedlegg E inneholder informasjon om EC outdoor gas insulated switch disconnecter Sectos NXBD. Dette er en kompakt og pålitelig løsning for utendørs bruk, designet for å håndtere strømbryting og frakobling av strøm i gassisolerte systemer. NXBD er utstyrt med SF6-gass som isolasjonsmedium, noe som gir optimal sikkerhet og pålitelighet. Dette vedlegget gir en grundig oversikt over funksjonene og egenskapene til Sectos NXBD, og hvordan den kan brukes i ulike strømnnettinstallasjoner [48].

Sectos er produktfamilienavnet som brukes når det gjelder alle typer NXA, NXB, NXBD. NXB er spesifikt designet for spenningsnivåer opp til 24 kV, og dens unike funksjon inkluderer en integrert jordingsbryter. NXBD er en treaktig lastbryter som bruker NXB-komponenter. Denne konfigurasjonen inneholder to uavhengige lastbrytere i samme kabinett, samt en tredje grenutgang, som muliggjør enkel og pålitelig grensesnitt for linjer i luftnett, kabelnett eller kombinerte nettverk. NXA er tilgjengelig for nominelle spenningsnivåer fra 36 kV i samsvar med IEC-standarder [48].



Figur E.1: Sectos typer fra venstre NXB, NXBD, NXA [48].

Sectos-tilbehør inkluderer flere viktige komponenter for sikker og pålitelig drift. Manuell låseinnretning gir mulighet for manuell låsing av lastbryteren, og gir ekstra sikkerhet under vedlikehold og servicearbeid. Låseinnretning for lavt trykk sørger for at lastbryteren blir låst når trykket i systemet er for lavt, og bidrar til å beskytte utstyret mot skader. Tetthetsbryter overvåker tettheten av SF₆-gassen i lastbryteren og gir en alarm eller utløser en nødstopp hvis tettheten faller under akseptable nivåer. Tetthetsmåler gir kontinuerlig overvåking av SF₆-gassens tetthet, slik at eventuelle avvik raskt kan oppdages og håndteres for å opprettholde optimal driftssikkerhet. Disse tilbehørene bidrar til å sikre pålitelig og effektiv drift av Sectos-lastbryteren [48].



Figur E.2: Manuell låseinnretning [48].



Figur E.3: Låseinnretning for lavt trykk [48].



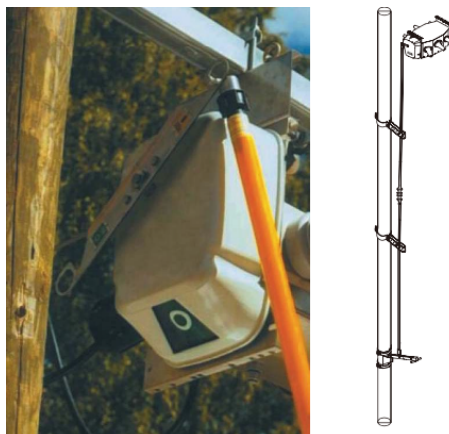
Figur E.4: Manuell låseinnretning [48].



Figur E.5: Tetthetsbryter[48].



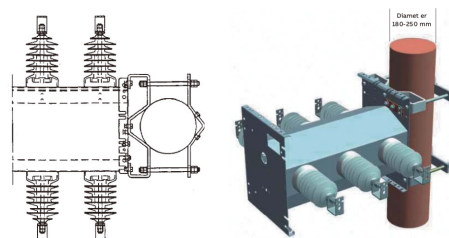
Figur E.6: Tetthetsmåler[48].



Figur E.7: Manuelt betjent type 1, ved hjelp av en isolert krokstokk som trekkes opp fra bakken gjennom krok-stokkleveren i oppmekanisme boksen til bryteren..[48].



Figur E.8: Fjernkontroll og automatisk seksjonskobler, REC615[48].



Figur E.9: Montert direkte på stolpe Sectos av type NXB, kun denne typen kan monteres direkte på stolpe med diameter 180 mm til 250 mm[48].

