

Metoder for Registrering av Vern- og Effektbryterresponser

Therese Karoline Gjelsten

Master i energi og miljø

Innlevert: februar 2016

Hovedveileder: Gerd Kjølle, ELKRAFT

Medveileder: Anders Bostad, Statnett
Hanne Vefsnmo, ELKRAFT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elkraftteknikk

Sammendrag

Forsyningssikkerhet i kraftsystemet er blant annet avhengig av et feilklareringssystem med høy pålitelighet. Feilklareringssystemet på høye spenningsnivå består i hovedsak av vern og effektbrytere. For å kartlegge påliteligheten til vern og effektbrytere er det nødvendig å ha et komplett datagrunnlag. For å nå målsetningen om komplett datagrunnlag ser denne oppgaven etter gode metoder for å registrere vern- og effektbrytterresponser. Dette gjøres gjennom fire tilnærminger:

- **Definering av vern- og effektbrytterresponser:** Det blir etablert definisjoner og avgrensinger av en vern- og effektbrytterrespons. Forskjellige responstyper, korrekte og ukorrekte, og hva som skiller dem fra hverandre blir forklart. Hvordan pålitelighetsindekser og feilfrekvens beregnes, med hvilke variabler og hvordan variablene telles blir forklart.
- **Gjennomgang av datagrunnlag i FASIT (standardisert registreringsverktøy for feil og avbrudd i totalsystemet):** Ved å se på hva som er registrert i FASIT vurderes behov for fremtidige registreringer. Gjennomgang av rapportene brukes til å kartlegge antall kortslutninger og jordfeil, og registrerte ukorrekte vern- og effektbrytterresponser. Det ble funnet en del utfordringer i registreringsmulighetene til FASIT for å komme fram til antall kortslutninger, jordfeil og vern- og effektbrytterresponser rapportene beskriver.
- **Automatiske metoder for å bestemme tidspunktene som avgrenser vern- og effektbrytterresponsen basert på feilskriveropptak, og å karakterisere dem:** Inneholder forslag på automatiske metoder for å fastslå tiden vernet og effektbryteren bruker på å respondere på en feil, og for å karakterisere responsene i ulike typer. Disse er designet for å være følsomme, slik at ingen ukorrekte responser risikerte å bli merket med ukorrekt. Tanken er at de automatiske metodene suppleres med manuell vurdering av de responsene som karakteriseres som ukorrekte. På den måten blir konsekvensen av de følsomme automatiske metodene at arbeidsmengden til analytiker blir mindre, og sannsynligheten for oversette ukorrekte responser minsker.
- **Estimering av vern- og effektbrytterresponser på tilfeller uten feilskriveropptak:** Mange driftsforstyrrelser registrert i FASIT mangler feilskriveropptak. Dette kan ha flere grunner, men gjør at automatiske metoder til analyse ikke er mulig. Her er det foreslått metoder for å estimere seg frem til manglende ukorrekte vernresponser basert på den informasjonen man allerede har tilgjengelig i FASIT, og forholdet mellom korrekte og ukorrekte i kortslutningene og jordfeilene med feilskriveropptak.

Omfanget til oppgaven er begrenset til distansevern på 420kV-kraftledninger. Datagrunnlaget er alle driftsforstyrrelser fra 2009-2014 hvor det var tilgjengelig registreringer i FASIT og feilskriveropptak. Resultatet er tre utkast av et komplett datagrunnlag:

- Manuell analyse av FASIT-rapportene
- Terskelverdi-metoden og manuell analyse av FASIT-rapporter
- Estimering-metoden

Med disse ulike datagrunnlagene ble det beregnet pålitelighetsindekser for vern, basert på CIGRE-indeksene, og feilfrekvens for effektbrytere. Alle resultater fra automatiske metoder ble manuelt gjennomgått før de ble brukt til å beregne pålitelighetsindekser og feilfrekvens, ettersom følsomheten gjorde at karakteriseringen i utgangspunktet gav for mange ukorrekte responser. I arbeidet ble det oppdaget en vernrespons CIGRE ikke har tatt stilling til, nemlig uønskede uselektive

3-polte vernresponser på 1-fasefeil. Denne ble det valgt å inkludere i beregningen av tilgjengelighet ved å fordele den mellom korrekte og uteblitte. Sikkerhet og Pålitelighet ble beregnet som vanlig.

Tabell 1 - Oppsummering resultater pålitelighetsindekser og feilfrekvens

Metode	Tilgjengelighet, D	Sikkerhet, S	Pålitelighet, R	Feilfrekvens F
FASIT	99,50%	99,50%	99,01%	0,00%
Feilskriveropptak og FASIT	97,41%	98,57%	96,02%	3,07%
Feilskriveropptak, FASIT og estimering	92,53%	97,54%	91,49%	10,16%

Ved å se på Tabell 1 er det tydelig at det er stor usikkerhet i datagrunnlaget for beregningen av pålitelighetsindekser og feilfrekvens. Denne usikkerheten skyldes at klareringstider som gikk utover kravene i FIKS ble tilegnet ukorrekt vern- og effektbryterrespons. Statnett har ved noen anledninger godkjent slike lange klareringstider, grunnet forhold det er tatt høyde for i releplanene. Dermed er det godt mulig at en del av de ukorrekte responsene funnet ved "feilskriveropptak og FASIT"-metoden ville blitt markert med "korrekt" etter en gjennomgang av Statnett. Estimeringsmetoden bygger kun på forholdet mellom korrekte og ukorrekte i feilskriveropptakene. Med unntak av de ukorrekte responsene registrert i FASIT er dermed ingen av disse ukorrekte responsene observert, og dermed er det enda større usikkerhet forbundet med indeksene.

Oppgaven har ikke tatt hensyn til måle- og registreringsfeil i feilskriveropptakene, selv om det med høy sannsynlighet har forekommet.

Abstract

The security of supply in a power system is partly dependent on a protection system with high reliability. High voltage protection systems mainly consist of protection and circuit breakers. To get an overview of the reliability of protection and circuit breakers, it is necessary to have a complete dataset. The purpose of this thesis is to identify methods for recording the responses by the protection and circuit breakers in order to obtain a complete set of data: this has been done through four main steps:

- **Defining the responses of the protection and circuit breaker:** Definitions and limitations for a response by the protection for circuit breaker is researched. Descriptions of the different types of responses, correct and incorrect, and what sets the apart is explained. Subsequently, reliability indices for protection and error statistics for circuit breakers were explored, and the variables and how the variables were counted was investigated.
- **Review of the data set in FASIT (standardized program for registrations of faults and interruptions in the power system):** By looking at what has been recorded in FASIT needs for the future registrations have been assessed. A review of the FASIT-reports was used to identify the number of short circuits and registered incorrect responses. Based on the reports a number of challenges in the detection of short circuits and incorrect responses were identified.
- **Automatic methods for determining and categorizing the instants in time that defines the response of the protection and circuit breakers:** This section presents theoretical methods for determining the time the protection and circuit breaker uses to clear the fault, and how to categorize the different responses. These are designed to be sensitive, so no incorrect response risked being marked as correct. The general principal is that the automatic methods should be complemented by a manual review of the responses categorized as incorrect. Consequently, the sensitive automatic methods are designed such that the workload for the analyst is reduced, and the probability of overlooking responses decreases.
- **Estimation of the responses for protection and circuit breakers when the short circuits have no digital fault recordings:** Many of the short circuits registered In FASIT lacked digital fault recordings. This may be due to several reasons, but makes the automatic methods for analysis useless. By proposing certain methods for estimating the incorrect responses in the short circuits without digital fault recordings are located. The suggested methods are based on the relationship between correct and incorrect responses in the short circuits with digital fault recordings.

The scope of this task is limited to the distance protection of 420 kV power lines. The data set are all short circuits from 2009-2014 where there were available reports in FASIT, the registration program for fault analysis used by Statnett SF, and digital fault recordings. The result is three drafts of a complete data set:

- Manual analysis of the FASIT reports
- The threshold value method and the manual analysis of the FASIT reports
- The estimation method

These various data bases gave variables which can be used to calculate reliability indices for the protection, based on the methods from CIGRE, and the fault statistics for the circuit breakers. Because of the sensitivity initially categorized too many responses as incorrect, all results from

automatic methods were manually reviewed before they were used to calculate the reliability indices and fault frequencies. During this work a new protection response was discovered, that the indices from CIGRE did not take into account. This response was the unwanted unselective response for a 3-pole clearance of a 1-phase-fault. The response was chosen to include in the calculation of the dependability as correct for missed responses. Safety and reliability was calculated as usual.

Table 1 - Summary of results for the reliability indices and fault frequencies

Method	Dependability, D	Safety, S	Reliability, R	Fault frequencies, F
FASIT	99,50%	99,50%	99,01%	0,00%
Threshold value method and FASIT	97,41%	98,57%	96,02%	3,07%
Estimation method	92,53%	97,54%	91,49%	10,16%

By looking at Table 1 it is apparent that there is a considerable uncertainty in the data set when calculating of the reliability indices and fault statistics. This uncertainty is likely due to the fact that fault clearance times longer than the specified requirements in FIKS (Functional requirements for the power system) were categorized as incorrect in this thesis. Statnett has on occasion accepted such long fault clearance times due to factors that are taken into account in the relay plans. Thus, it is quite possible that some of the incorrect responses found in "Digital fault recordings and FASIT"-method would be categorized as "correct" after a review by Statnett. The estimation method presented in this thesis is solemnly based on the relationship between correct and incorrect responses in the short circuits with digital fault recordings. Except for the incorrect responses recorded in FASIT, no other incorrect responses have been observed, and thus there is even greater uncertainty related to these indices.

The thesis has not taken into account possible faults in the measuring and recording by the digital fault recorders. There is a high probability that this has occurred.

Forord

Denne masteren er skrevet høsten 2015 som avslutningen på studiet Energi og miljø, Energiplanlegging og miljøanalyse, ved Norges teknisk- naturvitenskapelige universitet (NTNU) i Trondheim.

Faglærer og hovedveileder har vært Gerd Kjølle, seniorforsker ved SINTEF Energi AS og professor II ved NTNU.

Oppgaven har utgangspunkt i et samarbeid mellom SINTEF Energi AS og Statnett SF.

Tusen takk til Gerd Kjølle for tydelig veiledning og lærerike innspill. Hanne Vefsnmo som medveileder fortjener en stor takk for å gi gode svar på spørsmål, ofte på kort varsel. En stor takk går til ekstern veileder Anders Bostad, som har bidratt med god forståelse for oppgavens omfang, og for å ha gitt meg muligheten til dypere forståelse av AutoDIG og feilanalyses utfordringer gjennom sommerjobb og deltidsstilling. Retter også en stor takk til Jørn Heggset som var ekstern veileder på prosjektoppgaven, som var forløperen til denne masteroppgaven, og for raske, gode svar om FASIT. Takk til Raymundo Enrique Torres-Olguin for hjelp til å forstå bølgekomponent-transformering. Takk til Steinar Gjerve og Guilhem Blanchet for økt forståelse av henholdsvis distansevern og effektbrytere. Takk til gjengen fra Enfo, med spesiell takk til Jardar Bond, for all hjelp med feilskriveropptak og AutoDIG. En stor takk til de mange øvrige som har bidratt med mange svar og innspill til denne oppgaven.

Tilslutt må jeg takke alle venner og familie for uvurderlig støtte, spesielt i innspurten. Ingenting blir umulig med folk som dere i ryggen. Og sist men ikke minst tusen takk til Studentersamfundet i Trondhjem for mengder av gode og viktige distraksjoner!

Trondheim, februar 2016

Therese Karoline Borhaug Gjelsten

Innhold

1 Innledning.....	1
2 Vern- og effektbryterresponsers.....	3
2.1 Problemstilling.....	3
2.2 Feiltyper og årsak til feil	4
2.3 Definisjoner knyttet til klarering av feil i kraftsystemet.....	5
2.4 Definisjoner knyttet til feilforløpet.....	6
2.5 Vernets logikk	9
2.6 Vernresponsers	13
2.7 Effektbryterens funksjon	19
2.8 Effektbryterresponsers	21
3 Beregning av pålitelighetsindekser for vern og feilfrekvens for effektbrytere.....	24
3.1 Pålitelighetsindekser for vern.....	24
3.2 Estimering av korrekte vernresponsers	30
3.3 Feilfrekvens for effektbryterresponsers	32
4 Dataunderlag om driftsforstyrrelser registrering av vern- og effektbryterresponsers	34
4.1 Datakilder for feilanalyse	34
4.2 Datagrunnlag fra FASIT-rapporter	34
4.3 Manuell vurdering av FASIT-rapporter.....	41
4.4 Behov for bedre datagrunnlag	53
5 Automatisk Diagnostisering av vern- og effektbryterresponsers	45
5.1 AutoDIG	55
5.2 Datagrunnlag for automatiske metoder	45
5.3 Automatisk metode for å kategorisere vern- og effektbryterresponsers	56
6 Estimering av vern- og effektbryterresponsers på tilfeller uten feilskriveropptak	66
6.1 Datagrunnlag til estimeringsmetoden for vern- og effektbryterresponsers uten feilskriver- grunnlag.....	50
6.2 Metode for estimering av vern- og effektbryterresponsers uten feilskriveropptak Feil! Bokmerke er ikke definert.	
7 Resultater med utgangspunkt i hendelser fra 420 kV-kraftledninger 2009-2014	69
7.1 Oppbygging av kapittelet	Feil! Bokmerke er ikke definert.
7.2 Manuell vurdering	Feil! Bokmerke er ikke definert.
7.3 Bølgekomponent-metoden	69
7.4 Terskelverdi-metoden	73
7.5 Estimeringsmetoden	75
7.6 Pålitelighetsindekser og feilfrekvens med alle metoder	79

8 Drøfting.....	80
8.1 Komplette datagrunnlag av vern- og effektbryterresponser	Feil! Bokmerke er ikke definert.
8.2 Registreringer i FASIT	83
8.3 Automatikk i feilanalyse	Feil! Bokmerke er ikke definert.
8.4 Estimering.....	Feil! Bokmerke er ikke definert.
8.5 Påliteligheten til pålitelighetsindekser og feilfrekvens	83
8.6 Registrerings- og målefeil	86
8.7 Størrelsen på datautvalget	88
9 Konklusjon	90
10 Veien videre.....	92
10.1 Potensielle terskelverdier.....	92
10.2 Utbedringer bølgekomponentmetoden.....	92
10.3 Tilstandsovervåkning.....	92
Referanser	93
Vedlegg A Vurderinger av vernresponser for "Tolkning"-metoden	a
Vedlegg B Vurderinger av effektbryterresponser for "Tolkning"-metoden.....	a
Vedlegg C Manuell vurdering av FASIT-rapporter	b
Vedlegg D Manuell vurdering av vern- og effektbryterresponser registrert i FASIT	c
Vedlegg E Tvilstilfeller manuell vurdering av feilskriveropptak	d
Vedlegg F Utgreiing uttrykk for estimering av responser	g
Vedlegg G MATLAB-kode for bølgekomponent-metoden.....	h

Figurer

Figur 1 - Feiltyper Statnett SF [7].....	4
Figur 2 - Kraftsystemoversikt [1]. Grønn strek lagt til av forfatter.....	5
Figur 3 - Et typisk strømsignal for et feilforløp på en fase med jordslutning, med digitale signaler fra vern.....	6
Figur 4 - Figur 3 gjengitt med begrep knyttet til feilforløpet	7
Figur 5 - Overstrømsvern, og forskjell på startmelding og utløsemelding. Pil markerer feilstart.....	10
Figur 6 - Illustrasjon over hvordan selektivitet fungerer for et vern [13]	12
Figur 7 - RX-diagram for et distanseverns selektivitet [13].....	12
Figur 8 - EKKO-funksjonen fører til lang vernresponstid. Figuren er hentet fra nyere utviklinger av AutoDIG [6].....	13
Figur 9 - Dublerte distansevern med samband	14
Figur 10 - Skisse over vern på en kraftledning mellom A2 og B2. A1, A3, B1 og B3 er bakenforliggende vern.....	15
Figur 11 - Utklipp fra FASIT-rapport for fane "Koblingsforløp". OBS! Bildet er tilpasset for å vise de mest sentrale aspekter ved registrering av vernresponser [14]	16
Figur 12 - Utdrag fra FASIT-rapport for fane "Feil/hendelse". OBS! Bildet er tilpasset for å vise de mest sentrale aspekter ved registrering av vernresponser [14]	17
Figur 13 – Sammenheng mellom effektbryterens bevegelse og brytetid (break time), åpningstid (opening time) og lysbuetid (arcing time) [16]	19
Figur 14 - Lysbueforløp for tre faser.....	20
Figur 15 - Maks lysbuetid for et strømsignal med tre faser	20
Figur 16 - En 420 kV-kraftledning tilkoblet to samleskinner, A og B, gjennom to effektbrytere	21
Figur 17 - Antall effektbrytere på en 420-kV-kraftledning.....	22
Figur 18 - Utklipp fra FASIT-rapport for fane "Koblingsforløp". OBS! Bildet er tilpasset for å vise de mest sentrale aspekter ved registrering av effektbryterresponser [14].....	23
Figur 19 – Gjentatt utdrag fra FASIT-rapport for fane "Feil/hendelse". OBS! Bildet er tilpasset for å vise de mest sentrale aspekter ved registrering av effektbryterresponser [14].....	23
Figur 20 – Noen ulike bølgekomponenter. Utdrag fra [21].....	24
Figur 21 - Mallat algoritmen, med høy- og lavplasseringsfiltre for frekvens, fordelt på 3 nivå [22]	25
Figur 22 – Frekvensdomene av DBT [22].....	26
Figur 23 – Eksempel fra feilskriveropptak av tre faser, og en kortslutning mellom to av fasene. Figuren er plotet i MATLAB.	27
Figur 24 – Eksempel på Modal-signal kalkulert av feilskriveropptaket fra Figur 46. Figuren er plotet i MATLAB.....	27
Figur 25 - Antall kortslutninger på 420 kV-kraftledninger registrert i FASIT per år	36
Figur 26 - Korrekte vernresponser FASIT "Rådata"-metoden	37
Figur 27 - Ukorrekte vernresponser FASIT "Rådata"-metoden.....	37
Figur 28 - Korrekte vernresponser FASIT "Tolkning"-metoden.....	38
Figur 29 - Ukorrekte vernresponser FASIT "Tolkning"-metoden	38
Figur 30 - Korrekte effektbryterresponser FASIT "Tolkning"-metoden	39
Figur 31 - Korrekte vernresponser FASIT "Estimert"-metoden.....	40
Figur 32 - Korrekte effektbryterresponser FASIT "Estimert"-metoden.....	40
Figur 33 - Antall kortslutninger funnet ved manuell vurdering av FASIT-rapporter, sammenlignet med dem registrert i FASIT.....	41
Figur 34 - Korrekte vernresponser manuell vurdering av FASIT "Rådata"-metoden	43
Figur 35 - Vernresponser med feilskriveropptak og totalt, fordelt på år.....	46
Figur 36 – Fem mulige feilskriveropptak-scenarier med antall brytere.....	46

Figur 37 - Effektbrytterresponser med feilskriveropptak og totalt, fordelt på år	47
Figur 38 - Kortslutninger beskrevet av FASIT-rapporter, med og uten feilskriveropptak.....	50
Figur 39 - Vernresponser med og uten feilskriveropptak	52
Figur 40 - Effektbrytterresponser med og uten feilskriveropptak.....	52
Figur 41 - Korrekte vernresponser fordelt mellom kortslutninger med og uten vernresponser, "Estimert"-metode	53
Figur 42 - Ukorrekte vernresponser fordelt mellom kortslutninger med og uten vernresponser, "Estimert"-metode	53
Figur 43 - Flytskjema for antall kortslutninger i et feilskriveropptak.....	57
Figur 44 - Flytskjema for lokalisering av tidspunkt for feilstart.....	58
Figur 45 - Flytskjema for lokalisering av tidspunkt for feil klarert.....	59
Figur 46 - Flytskjema for klassifisering av feiltype.....	60
Figur 47 - Flytskjema for å karakterisere vernresponser som uønsket uselektiv 3-polt vernrespons..	64
Figur 48 - Fordeling av responser mellom dem med og uten feilskriveropptak i prosent.....	66
Figur 49 - Avvikene mellom klareringstid fastsatt av bølgekomponent-metoden og manuell vurdering av feilskriveropptak	70
Figur 50 - Avvik mellom bølgekomponent-metoden og manuell vurdering av feilskriveropptak, uten de største avvikene	71
Figur 51 - Avvik i antall feilbefengte faser mellom bølgekomponent-metoden og manuell vurdering	71
Figur 52 - Avvik i antall klarerte faser mellom bølgekomponent-metoden og manuell vurdering.....	72
Figur 53 - Klareringstid fra feilskriveropptak, alle kortslutninger listet opp kronologisk etter hverandre	73
Figur 54 - Klareringstid fra feilskriveropptak, filtrert for en stor klareringstid	74
Figur 55 - Lysbuetid fra feilskriveropptak, alle kortslutninger listet opp kronologisk etter hverandre	74
Figur 56 - Korrekte vernresponser hvor resultatet fra terskelverdi-metoden sammenlignes med dem funnet av manuell vurdering av feilskriveropptakene	76
Figur 57 - Ukorrekte vernresponser hvor resultatet fra terskelverdi-metoden sammenlignes med dem funnet av manuell vurdering av feilskriveropptakene	76
Figur 58 - Korrekte effektbrytterresponser fra feilskriveropptak.....	77
Figur 59 - Ukorrekte effektbrytterresponser fra feilskriveropptak	77
Figur 60 - Pålitelighetsindekser fra manuell vurdering av FASIT-rapporter og feilskriveropptak.....	81
Figur 67 - Lav-ohmig utviklende jordfeil til fase L1	Feil! Bokmerke er ikke definert.
Figur 62 - Fordeling av vernresponser per år i prosent.....	87
Figur 63 - Fordeling av effektbrytterresponser per år i prosent.....	87
Figur 70 - Lysbuetid bryter1	92
Figur 71 - Lysbuetid bryter2	92

Tabeller

Tabell 1 - Oppsummering resultater pålitelighetsindekser og feilfrekvens	ii
Tabell 2 - Oppsummering begrep feilforløp	9
Tabell 3 - Forklaring av vernresponstiden	10
Tabell 4 - Forklaring av brytetid	19
Tabell 5 - Eksempel frekvensfilter for et signal med 32 i oppløsning [22]	26
Tabell 6 - Antall FASIT-rapporter i Excel-ark supplert fra Statnett.....	35
Tabell 7 - Totalt datagrunnlag i FASIT for kortslutninger	35
Tabell 8 - Resultat FASIT vern- og effektbrytterresponser metode 1: Rådata	37
Tabell 9 – Funn av vern- og effektbrytterresponser ved "Tolkning"-metoden	38
Tabell 10 - Resultat FASIT vern- og effektbrytterresponser metode 2: Tolkning.....	38
Tabell 11 – Totalt antall vern- og effektbrytterresponser basert på registrerte kortslutninger i FASIT	39

Tabell 12 - Resultat FASIT vern- og effektbryterresponser metode 3: Estimering.....	40
Tabell 13 - Resultat manuell vurdering av FASIT	41
Tabell 14 - Resultat manuell vurdering FASIT vern- og effektbryterresponser metode 1: Rådata	42
Tabell 15 - Resultat manuell vurdering FASIT vern- og effektbryterresponser metode 2: Tolkning	43
Tabell 16 – Totalt antall vern- og effektbryterresponser etter manuell vurdering av FASIT-rapporter	44
Tabell 17 - Resultat manuell vurdering FASIT vern- og effektbryterresponser metode 3: Estimering .	44
Tabell 18 - Datagrunnlag fra feilskriveropptak med antall kortslutninger	45
Tabell 19 - Fordeling av vernresponser i tilgjengelige feilskriveropptak.....	45
Tabell 20 - Fordeling feilskriveropptak på antall tilkoblede brytere per år	47
Tabell 21 - Fordeling av frekvens på forskjellige nivåer avhengig av oppløsning på strømsignalet, til og med nivå 6	48
Tabell 22 – Datagrunnlag FASIT-rapporter med feilskriveropptak per år	49
Tabell 23 - Datagrunnlag FASIT-rapporter uten feilskriveropptak per år	49
Tabell 24 - Vern- og effektbryterresponser i FASIT-rapporter som det finnes feilskriveropptak av, "Rådata"-metode	50
Tabell 25 - Vern- og effektbryterresponser i FASIT-rapporter som det ikke finnes feilskriveropptak av, "Rådata"-metode	51
Tabell 26 - Vern- og effektbryterresponser i FASIT-rapporter som det ikke finnes feilskriveropptak av, "Tolkning"-metode	51
Tabell 27 - Totalt antall vern- og effektbryterresponser fra kortslutninger i FASIT-rapporter med feilskriveropptak.....	51
Tabell 28 - Totalt antall vern- og effektbryterresponser fra kortslutninger i FASIT-rapporter uten feilskriveropptak.....	52
Tabell 29 - Antall vern- og effektbryterresponser i FASIT-rapporter med feilskriveropptak, "Estimering"-metode.....	52
Tabell 30 - Vern- og effektbryterresponser i FASIT-rapporter uten feilskriveropptak, "Estimering"-rapporter	53
Tabell 31 - Beregning av tidsintervall i feilforløp.....	61
Tabell 32 - Resultat antall vernresponser ved terskelverdimetoden fordelt på år	75
Tabell 33 - Vernresponser fra manuell vurdering av feilskriveropptak per år	75
Tabell 34 – Vernresponser tolket av terskelverdi-metoden sammenlignet med reell respons.....	76
Tabell 35 - Vernresponser fordelt på raskeste og tregeste vern.....	77
Tabell 36 - Manuell registrering av effektbryterresponser per år	77
Tabell 37 - Vern- og effektbryterresponser fra feilskriveropptak	78
Tabell 38 - Mulige vern- og effektbryterresponser fra kortslutninger uten feilskriveropptak	78
Tabell 39 - Oppsummert estimerte og registrerte vern- og effektbryterresponser for kortslutninger uten feilskriveropptak	78
Tabell 40 - Totalt datagrunnlag etter analyse fra feilskriveropptak og estimering av kortslutninger uten feilskriveropptak	79
Tabell 41 - Pålitelighetsindekser basert på manuell vurdering av data i FASIT.....	79
Tabell 42 - Feilfrekvens for effektbrytere basert på manuell vurdering av data i FASIT.....	80
Tabell 43 – Pålitelighetsindekser basert på terskelverdi-metoden og manuell vurdering av ukorrekte vernresponser registrert i FASIT-rapporter.....	80
Tabell 44 - Feilfrekvens basert på terskelverdi-metoden og manuell vurdering av ukorrekte effektbryterresponser registrert i FASIT-rapporter.....	80
Tabell 45 – Pålitelighetsindekser basert på estimeringsmetoden	81
Tabell 46 - Feilfrekvens for effektbrytere basert på manuell vurdering av data i FASIT.....	81

Tabell 46 - Pålitelighetsindekser sammenligning mellom manuell vurdering av FASIT-rapporter og manuell vurdering av feilskriveropptak og estimering.....	81
Tabell 48 - Feilstatestikk for effektbrytere, basert på feilskriveropptak og estimering.....	82
Tabell 51 - Gjentatt vernrespons sammenlignet for det første og siste vernet som sender utløsemelding.....	86
Tabell 52 - Gjentatt resultater fra beregning av Pålitelighetsindekser	90
Tabell 53 - Vurderinger av vernrespons for "Tolkning"-metoden	a
Tabell 54 - Vurderinger av effektbrytterrespons for "Tolkning"-metoden	a
Tabell 55 - Manuelle vurderinger av FASIT-rapporter.....	b
Tabell 56 - Manuelle vurderinger av vern- og effektbrytterrespons registrert i FASIT.....	c
Tabell 57 – Manuelle vurderinger av vernrespons for vern1	d
Tabell 58 - Manuelle vurderinger av vernrespons for vern2	e

Formler

Formel 1 - Bølgekomponent-transformering [22].....	25
Formel 2 - Uttrykket for modal-strømmen, som er en lineær kombinasjon av 3-fasestrømmene [23]26	
Formel 3 - Tilgjengelighet [2]	28
Formel 4 – Sikkerhet [2]	28
Formel 5 – Pålitelighet [2]	28
Formel 6 – Foreslått metode for beregning av tilgjengelighet	29
Formel 7 - Estimering av korrekte vernresponser [26]	30
Formel 8 - Forslag til beregning av antall feil (kortslutninger og jordfeil) en FASIT-rapport beskriver	31
Formel 9 - Forslag til beregning av totalt antall vernresponser	32
Formel 10 – Nytt forslag på metode for å estimere antall korrekte vernresponser.....	32
Formel 11 - Formel for feilfrekvens [17]	32
Formel 12 - Antall effektbryterresponser med utløsemelding fra distansevern	32
Formel 13 - Forslag til beregning av totalt antall effektbryterresponser.....	33
Formel 14 – Nytt forslag på metode for å estimere antall korrekte effektbryterresponser	33
Formel 15 - Forholdet mellom ukorrekte og korrekte responser antas å være likt	67
Formel 16 - Mulig antall responser er summen av de korrekte og ukorrekte	67
Formel 17 - Uttrykk for ukorrekte og korrekte responser	67
Formel 18 - Forholdet mellom uteblitte og uønskede antas likt	68
Formel 19 - Antall ukorrekte er summen av de uteblitte og uønskede	68
Formel 20 - Uttrykk for ukorrekte og korrekte responser	68

1 Innledning

Vernenes funksjon er å overvåke deler av kraftsystemet, og sende utkoblingssignal til effektbryterne når det oppstår feil. Sammen med effektbrytere utgjør vern som fungerer korrekt en viktig forutsetning for god forsyningsikkerhet i kraftsystemet. Feilklareringssystem, hvor vernet og effektbryteren er sentrale deler, finnes for hver eneste kraftsystemenhet i hele sentralnettet, i tillegg til at det kan være dublerne vern og doble effektbrytere ved de høyeste spenningsnivåene. Vern og effektbrytere utgjør med andre ord et betydelig antall enheter som skal fungere til enhver tid [1].

Det er ikke mulig å anta at alle deler i feilklareringssystemet alltid vil fungere. Vernsystemet kan la være å respondere, eller respondere uønsket. Effektbryterne kan feile i å bryte kortslutningsstrømmen. Informasjon om slike responser gir utgangspunktet for å kunne vurdere påliteligheten til feilklareringssystemet kvantitativt [2].

Påliteligheten til vern er et mål på i hvilken grad vernet reagerer korrekt, og er et verdifullt mål i beslutningstaking for å finne samfunnsøkonomisk riktige løsninger for utvikling og drift av kraftsystemer. Det finnes egne pålitelighetsindekser for vern, som CIGREs pålitelighetsindekser. Det er viktig med et godt datagrunnlag slik at variablene som inngår i indeksen er pålitelige og har høy grad av gyldighet [2].

Analyse av driftsforstyrrelser og feilklareringssystemet kalles feilanalyse. I slikt arbeidet er det viktig med effektive metoder som gir høy kvalitet på analysen. Seksjon for feilanalyse har ansvar for å analysere driftsforstyrrelser i Statnetts anlegg. Seksjonen utøver også systemansvar iht. Forskrift om systemansvaret (FoS) §22 ved å koordinere og bistå i analyser som berører andre nettselskaper og produsenter, samt samle informasjon om alle driftsforstyrrelser i kraftsystemet og publisere feilfrekvens [3].

FASIT er det standardiserte systemet for registrering av feil og avbrudd i kraftsystemet. FASIT står for Feil og Avbrudd I Totalsystemet. Alle nettselskaper plikter å benytte gjeldene kravspesifikasjon for FASIT som utgangspunkt for å registrere avbrudd. Registrering i FASIT er en utfordrende oppgave, og resultatet er avhengig av analytikerens kunnskap og erfaringer, samt kvalitet og tilgjengelighet på relevante målinger og signal [4].

SINTEF Energi har forsket på pålitelighet i kraftsystemet i mange år, og har etterlyst høyere kvalitet på registreringer av blant annet vernrespons. I samarbeid med Statnett og nettselskaper utvikler SINTEF Neste Generasjon FASIT (NGF) hvor målsetningen blant annet er et mer pålitelig datagrunnlag for pålitelighetsindeksene. Prosjektet startet høsten 2013, og skal etter planen være ferdig høsten 2016. Ved å ta utgangspunkt i flere IKT-systemer håper NGF å lage bedre retningslinjer for registrering. Målet er et mer komplett datagrunnlag med høyere kvalitet, gjennom høyere brukervennlighet [5].

AutoDIG ("Automatisk Diagnose") er Statnetts automatiske analyseverktøy, som skal sammenfatte det vi har i dag av automatisk overvåkning og kommunikasjon i sentralnettet, for å analysere sikkerhetsnivået i nettet generelt og enkelthendelser spesielt. Målet er å kunne gjøre analysen automatisk i størst mulig grad. Om AutoDIG fungerer godt vil dette kunne avlaste Statnetts analytikere betydelig [6].

En korrekt registrering av samtlige vernresponser i sentralnettet trenger gode definisjoner, og tilgang på all data av betydning. I tillegg er det ønskelig med automatiske metoder for analysen. Denne oppgaven definerer vernresponser og nødvendige kilder for analyse, presenterer metoder for automatisk analyse, og estimering i de tilfeller automatikk er umulig. Målet er å samlet ende opp

med et så komplett datasett som mulig. Oppgaven viser bruk av resultatene, i form av tilstandsutvikling av ukorrekte responser og på den enkelte enhet, og sensitivitetsanalyser av tidligere pålitelighetsindekser.

2 Vern- og effektbryterresponser

Det har stor betydning for forsyningssikkerheten i kraftsystemet at vernene fungerer slik de er tiltenkt. Det er utviklet indekser i CIGRE som beskriver vernenes pålitelighet, basert på registreringer av korrekte og ukorrekte vernresponser ved feil i kraftsystemet (kortslutninger og jordfeil). Indeksene har vært beregnet med ulike typer dataunderlag for vernrespons i CIGRE og hos SINTEF Energi AS/Statnett SF, dels på grunn av at vernrespons har vært definert på noe ulike måter.

Dette kapitlet definerer vern- og effektbryterresponser, for å legge grunnlaget til videre analyse av responsene.

2.1 Beskrivelse av problemstilling

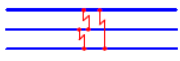
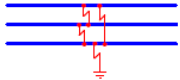

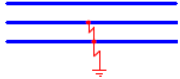
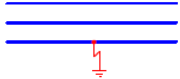

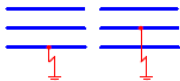
Sentralt for å vurdere en vern- eller effektbryterrespons er etablering av korrekt klareringstid, altså differansen mellom tidspunkt for feilstart og feil klarert. AutoDIG (analyseverktøyet til feilanalyse i Statnett SF) har brukt vernstart som feilstart, siden dette er et digitalt signal fra vernet som blir sendt kort tid etter feilstart. Nærmere undersøkelser har vist at det kan ta flere ms fra feilstart til vernet starter, og dermed kan denne praksisen gi feil klareringstid. Det er altså nødvendig med en korrekt fastsettelse av feilstart og feil klarert, gjerne ved hjelp av en automatisk metode som kan implementeres i AutoDIG.

I denne masteroppgaven fokuseres det på å etablere data og indekser for distansevern, for 420 kV kraftledninger. Masteroppgaven går ut på å finne ut hvilke data som kreves for å beregne slike pålitelighetsindekser og etablere data for å beregne dem for det norske kraftsystemet. Det blir vurdert både automatiske og manuelle metoder for å etablere data. I de tilfeller det mangler data ser oppgaven på en modell for sannsynligheter for uteblitt og uønsket funksjon.

Opgaven tar utgangspunkt i prosjektoppgaven "Pålitelighetsindikatorer for vern i kraftsystemer" utført våren 2015, og funn i en prosjektoppgave av Hanne Ommedal i samarbeid med Statnett høsten 2014. Ommedal har utviklet en metodikk for å kalkulere antall korrekte vernresponser som ikke er registrert i FASIT (standardisert registreringsverktøy for feil og avbrudd i totalsystemet).

2.2 Feiltyper og årsak til feil

Forståelse av hva som menes med feil i kraftsystemet er viktig for å forstå behovet for feilklarering, med vern og effektbrytere. I [7] forklares hvordan Statnett definerer ulike feiltyper, som illustrert i Figur 1.

Shunt-feil:	Direktejordet nett	Isolert/spolejordet nett	Typ. årsak
	3-fase kortslutning uten jord	3-fase kortslutning uten jord	Torden
	3-fase kortslutning med jord	3-fase kortslutning med jord	Gjenglemte jord Torden Mastehavari
	2-fase kortslutning uten jord	2-fase kortslutning uten jord	Vind
	2-fase kortslutning med jord	2-fase kortslutning med jord	Torden Vind Is, snø
	1-fase kortslutning		Torden Is, snø Fasebrudd
	1-fase jordfeil høy-ohmig		Trefall Is, snø Fasebrudd
		Dobbel jordfeil	Torden Is, snø Trefall Fasebrudd

Figur 1 - Feiltyper Statnett SF [7]

Med jordfeil menes her sammenslag mellom en fase eller flere faser og jord, noe som gjør motstanden mellom dem mindre enn motstanden i øvrig kraftledning [8]. Som et resultat øker strømmen målt av strømtrafoer i endene av kraftledningen.

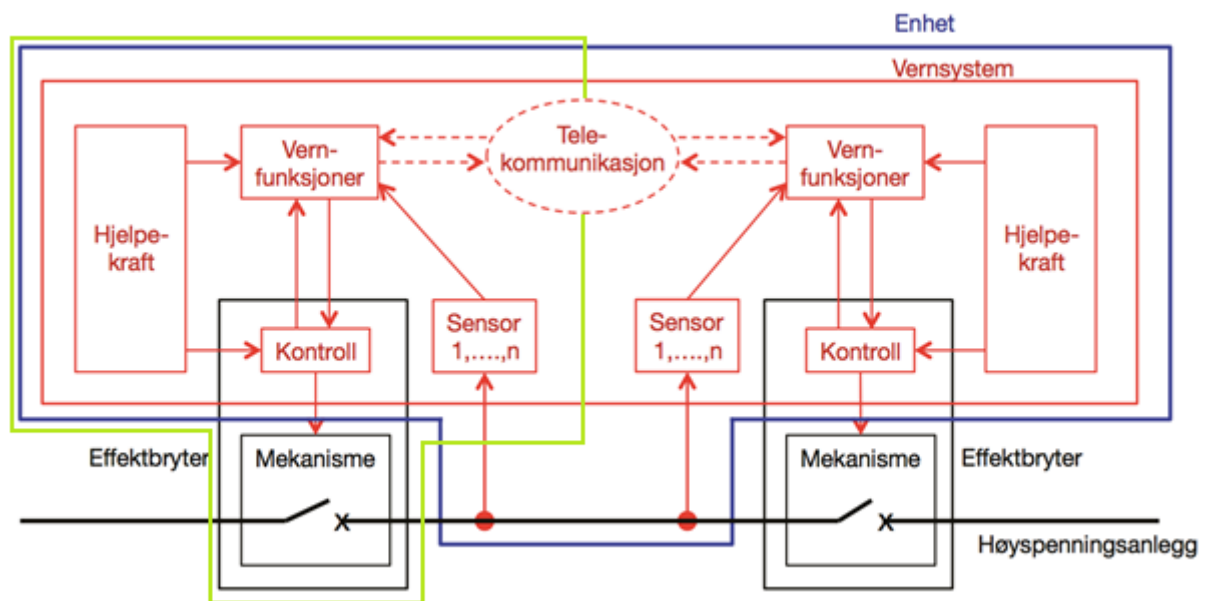
Med kortslutning menes her sammenslag mellom faser noe som gjør motstanden mellom dem mindre enn motstanden i øvrig kraftledning [8]. Som et resultat øker strømmen målt av strømtrafoer i endene av kraftledningen.

Begrepet "kortslutning" blir brukt som beskrivende av både kortslutninger og jordfeil i denne oppgaven.

Typiske feil på 420 kV-kraftledninger er vind og lyn. Vind og lyn er eksempler på det man kaller forbigående feil, som betyr at feilen ikke finnes etter at kortslutningsstrømmen er brutt. Andre typiske feil kan være menneskelige feil eller feil på teknisk utstyr. Disse tilfellene er ikke forbigående, ettersom feilårsaken er tilstede også etter at kortslutningsstrømmen er brutt. Slike tilfeller kalles "stående feil", og krever manuell innblanding for å løses [7].

2.3 Definisjoner knyttet til klarering av feil i kraftsystemet

For å klarere feil trengs et eget system, hvor vernet og effektbryterens rolle sentral. Her følger definisjoner om dette systemet.



Figur 2 - Kraftsystemoversikt [1]. Grønn strek lagt til av forfatter.

2.3.1 Kraftsystemenhet

En kraftsystemenhet defineres som en gruppe anleggsdeler som er avgrenset ved en eller flere effektbrytere [1]. I Figur 2 er en enhet illustrert innenfor de blå strekene. Enheten består av:

- Et høyspenningsanlegg, som for eksempel en kraftledning, eller en transformator.
- Sensorer, som måler strøm og spenninger.
- Vernfunksjoner, som tar inn informasjon fra sensorer og kommunikasjon, og sender meldinger til andre vern og utløsemelding til effektbrytere.
- Telekommunikasjon, eller samband, som forbinder vern på hver side av aktuelt høyspenningsanlegg.
- Hjelpekraft, som er ekstra strømforsyning til vernet. Sørger for at vernene alltid har krafttilgang selv om vanlig strømforsyning til vernet blir brutt av en feil.
- Kontroll, eller utløsespoler, som utløser brytemekanismen i effektbryterne.
- Kabler, klemmer og tilkoblingspunkt.

2.3.2 Feilklareringssystemet

For hver enhet i kraftsystemet finnes et feilklareringssystem, som skal isolere og klarere feil for aktuell kraftsystemenhet [9]. Feilklareringssystemet er illustrert av den røde og de to sorte firkantene i Figur 2. Forskjellen fra kraftsystemenheten er dermed at effektbryteren er med, og høyspenningsanlegget ikke er det.

2.3.3 Vernsystemet

Vernsystemets oppgave er å reagere slik at konsekvensene av feil reduseres til et minimum [9].

Vernsystemet oppdager feil, og sender melding til effektbryteren om feilen skal klareres:

Effektbryteren er ikke en del av vernsystemet. I Figur 2 er vernsystemet innenfor den røde firkanten.

Vernsystemet skal operere selektivt, mer om dette under vernresponser.

2.3.4 Utløsekjeden

Kraftsystemenheten har en utløsekjede for hver effektbryter [9]. Utløsekjeden er illustrert i Figur 2 innenfor den grønne streken. Forskjellen fra feilklareringssystemet er at utløsekjeden er kun den ene enden av feilklareringssystemet, altså den delen som er forbundet med én effektbryter.

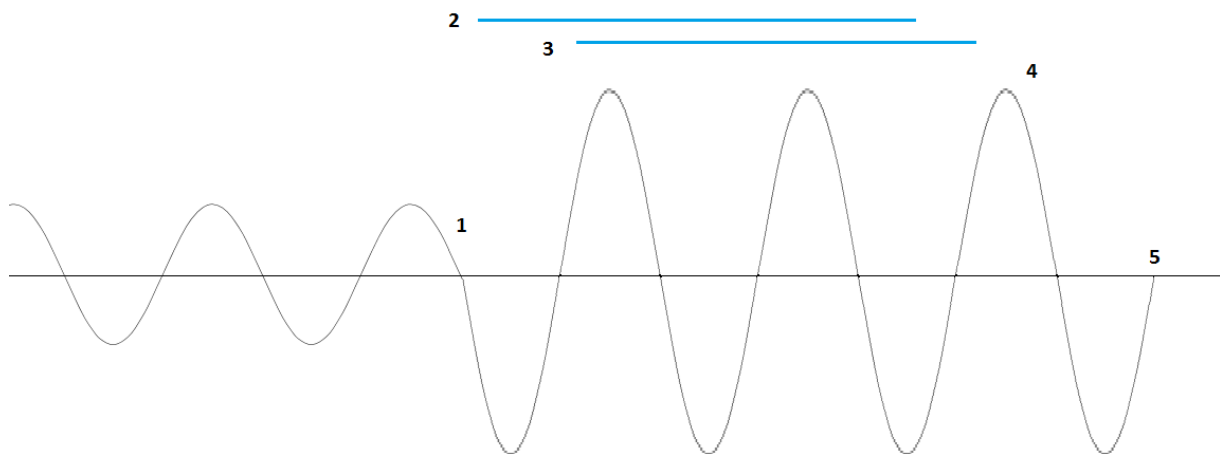
2.4 Definisjoner og fenomen knyttet til feilforløpet

I feilanalyse er det sentralt å definere om feilklareringssystemet har respondert korrekt eller ukorrekt på en hendelse, og hvilken del av feilklareringssystemet som eventuelt reagerte ukorrekt. Derfor er det viktig å ha gode begreper som beskriver feilforløpet, og dets sammenheng med feilklareringssystemet.

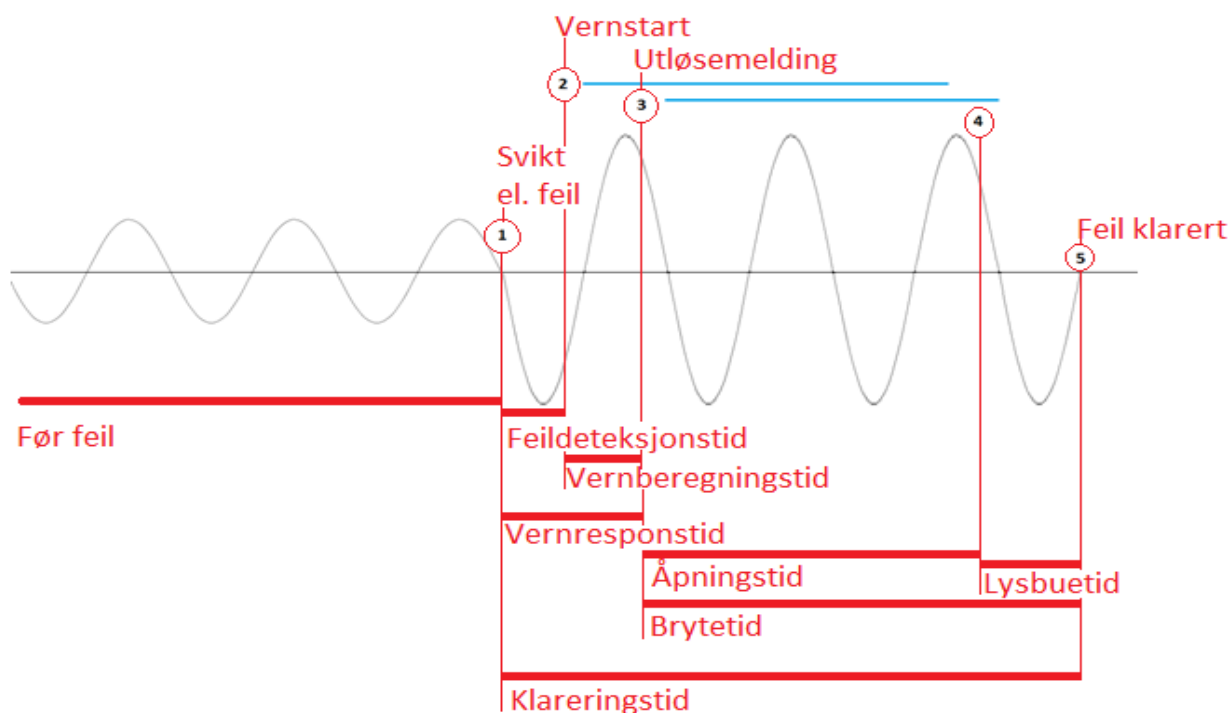
2.4.1 Feilforløpet

En typisk kortslutningsfeil på en fase i en kraftledning er presentert i Figur 3, og vil ha følgende forløp, markert med punkt 1-5:

1. Feilen oppstår med utgangspunkt i et feilfritt nett
2. Vernet starter fordi terskelverdiene for vernstart overstiges
3. Vernet sender utløsemelding til effektbryteren, fordi terskelverdiene for utløsemeldingen overstiges
4. Effektbryteren åpnes
5. Lysbuen til feilen brytes og feilen er klarert



Figur 3 - Et typisk strømsignal for et feilforløp på en fase med jordslutning, med digitale signaler fra vern



Figur 4 - Figur 3 gjengitt med begrep knyttet til feilforløpet

2.4.2 Begrep knyttet til feilforløpet

Med utgangspunkt i Figur 3 beskrives standardiserte¹ begrep for hendelsene forbundet med en feilklarering. Illustreringer av begrepene kan finnes i Figur 4.

Før feil: Et tidsintervall som ender med starten til en feil [10].

Svikt Opphør av en enhets evne til å utføre en krevd funksjon.

Merknad 1: Etter svikt har enheten en feil.

Merknad 2: Svikt er en hendelse, i motsetningen til feil, som er en tilstand [11].

Feil Tilstand for en enhet karakterisert ved en manglende evne til å utføre en krevd funksjon.

Merknad 1: Manglende evne til å utføre en krevd funksjon pga. forebyggende vedlikehold eller andre planlagte handlinger, eller på grunn av manglende eksterne ressurser, regnes ikke som feil.

Merknad 2: En feil er ofte resultatet til en svikt av en enhet, men kan eksistere uten tidligere svikt [11].

¹ Ved standard menes "... til felles og gjentatt bruk, fremkommet med konsensus og vedtatt av et anerkjent organ som gir regler, retningslinjer eller kjennetegn for aktiviteter eller resultatene av dem for å oppnå optimal orden i en gitt sammenheng", som definert av IEC Guide 2:2004.

<i>Feildeteksjon</i>	Hendelse hvor tilstedeværelsen av en feil blir tydelig [11].
<i>Feildeteksjonstid</i>	Tidsintervallet mellom svikt og oppdagelsen av resulterende feil [11].
<i>Utløsningsmelding</i>	Åpning av en effektbryter enten ved hjelp av manuell eller automatisk kontroll eller ved vernenheter [11].
<i>Åpningstid</i>	Tidsintervallet mellom øyeblikket for initiering av åpningen og øyeblikket hvor kontaktflatene er separert i alle poler [11].
<i>Lysbuetid</i>	Tidsintervallet mellom øyeblikket lysbuen først starter, og øyeblikket når lysbuen er utslettet i alle poler [11].
<i>Brytetid</i>	Tidsintervallet mellom begynnelsen av åpningstiden for bryteren og slutten av lysbuetiden [11].
<i>Feil klarert</i>	Tilstand hvor alle deler av feilklareringssystemet er intakte [11].
<i>Klareringstid</i>	Tidsintervallet mellom forekomsten av en feil og feilklareringen [11]. Det er denne tiden som utgjør totalresponstiden [4].

I tillegg er det valgt å bruke følgende begrep for å forklare tidsintervaller det ikke ble funnet internasjonale definisjoner på:

<i>Vernberegningstid</i>	For et vern som er i nullstilling er dette tiden mellom øyeblikket en spesifisert verdi er påført som input, og tidspunktet vernets output endres.
<i>Vernresponstid</i>	Responstiden til et vern som alene eller i kombinasjon med andre vern, er en bestanddel av et feilklareringssystem.

2.4.3 Oppsummering begrep feilforløpet

Oppsummeringen av resultatene er presentert i Tabell 2.

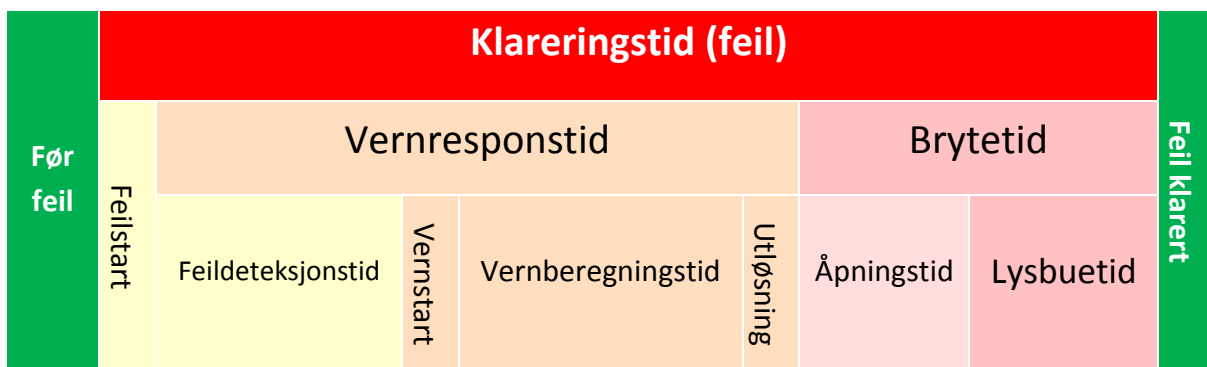
Loddrette ord illustrerer øyeblikk:

- Feilstart
- Vernstart
- Utløsningsmelding
- Feil klarert

Horisontale ord beskriver tidsintervaller:

- Før feil
- Klareringstid, som består av:
 - Vernresponstid, som består av:
 - Feildeteksjonstid
 - Vernberegningstid
 - Brytetid, som består av:
 - Åpningstid
 - Lysbuetid

Tabell 2 - Oppsummering begrep feilforløp



2.4.4 Vandrebølger knyttet til feil og feilklarering

Som nevnt i kapittelet "2.1 Beskrivelse av problemstilling" er det sentralt i denne oppgaven å finne korrekt klareringstid. Dermed er det viktig å se på typiske aspekter forbundet med disse tidspunktene.

I [12] står det at "Enhver forstyrrelse på en kraftledning, som forstyrrer det stabile nettet, resulterer i vandrebølger med lysets hastighet som forplanter seg mot endene av ledningen, hvor de gjerne blir reflektert og modifisert, og som dempes og forvrenges av elektriske utladninger og andre tap inntil de dør ut." Ifølge [12] er dette forårsaket av opp- og utladning av kraftledningens kapasitans og impedans.

Dette er nyttig for denne oppgaven ettersom det innebærer at start på feil og åpning av effektbrytere vil gi følgende karakteristikker i strøm- og spennings signaler:

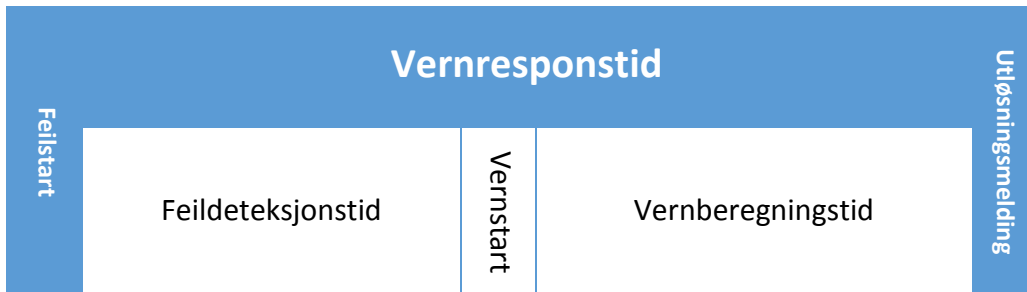
1. Det vil være høyfrekvente forstyrrelser
2. Forstyrrelsene vil være impulser, altså vil forstyrrelsens amplitude avta

Altså må en eventuell automatisk metode kunne analysere høyfrekvente signaler, og lokalisere tidspunktet for starten på de høyfrekvente forstyrrelsene.

2.5 Vernets logikk

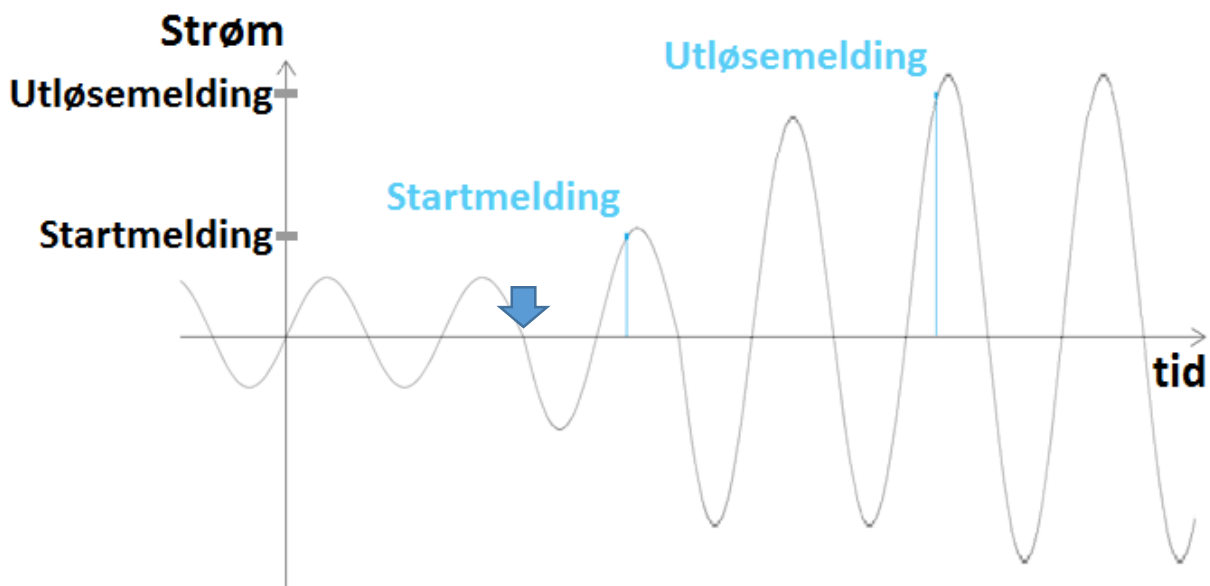
Vernets programmering gjør at vernet kan respondere ulikt på forskjellige feil. Som forklart i kapittelet "2.4.2 Begrep knyttet til feilforløpet" består vernresponstiden til vernet av feildeteksjonstid og vernberegningstid, illustrert i Tabell 3.

Tabell 3 - Forklaring av vernresponstiden



2.5.1 Utløsekriterier for ulike vern

Alle vern har definert egne terskelverdier for hva som skal starte vernet og trigge en utløsemelding til en effektbryter. Disse terskelverdiene kan være størrelser på strøm, spenning, impedans, frekvens, eller lignende. Figur 5 viser et tenkt eksempel fra et overstrømsvern, altså et vern hvor vernmeldingene er trigget av størrelsen på strømmen [13].



Figur 5 - Overstrømsvern, og forskjell på startmelding og utløsemelding. Pil markerer feilstart.

I Figur 5 er ikke feilstrømmen i første periode etter at feilen oppstår (blå pil) stor nok til å trigge utløsningsmeldingen. Dermed skjer den først i tredje periode, når feilstrømmen er over terskelverdien for utløsemelding.

Vern kan ha flere terskelverdier for utløsningsmeldinger, for eksempel to hvor den høyeste verdien gir umiddelbar utløsning, mens en lavere verdi gir utløsning etter en tidsforsinkelse. En høyere triggeretskel i Figur 5 kunne resultert i at utløsningsmeldingen kom etter en tidsforsinkelse, og vernberegningstiden ville dermed blitt lengre. Dette er en forutsetning for selektivetsfunksjonen

hos vern. Karakteristikker for hvert enkelt vern oppsummeres i vernets releplan, med terskelverdier og tidsforsinkelser [13].

2.5.1.1 Ulike utløsemeldinger

Det er to utløsemeldinger vernet kan sende effektbryter(e):

- **1-faset utløsemelding:** Dette skal skje når det har skjedd en jordslutning mellom en fase og jord. Et feilklareringssystem med relevern har funksjoner for å koble ut kun en fase, for så å forsøke automatisk gjeninnkobling (kalt GIK) etter 1 s.
- **3-faset utløsemelding:** Alle faser kobles ut, og blir manuelt vurdert gjeninnkoblet. Noen vern har også automatisk gjeninnkobling for 3-fasede utkoblinger.

2.5.2 Innkoblingsautomatikk

Vern på kraftledninger har en funksjon kalt automatisk gjeninnkobling. Denne funksjonen skal gi forbigående feil minst mulig påvirkning, ved raskt å koble kraftledningen inn igjen. Forutsetningen for vellykket automatisk gjeninnkobling (GIK) er at feilen er forbigående.

Betingelser for at automatisk gjeninnkobling skal være mulig er som følger [7]:

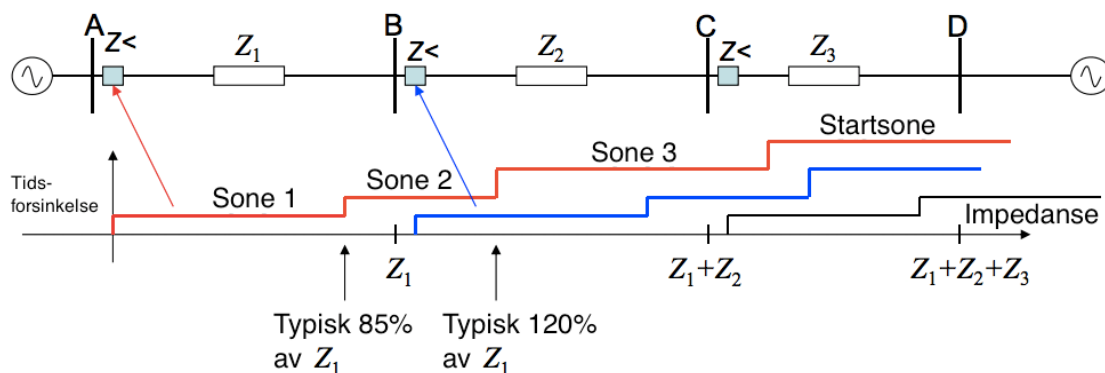
- Aktuell effektbryter lå inne før startmelding fra vernet kom
- Aktuell effektbryter er klar for rask kobling: ut-inn-ut
- Vernet har gitt uforsinket utløsemelding
- Gjeninnkoblingstid er utløpt (som regel 1 sekund = 1000 ms)
- Logikk som gir utkobling av de to gjenværende faser ved overgangen til flerfaset kortslutning
- Det gis innkommando til effektbryter
- 3-fase definitiv utkobling ved innkobling på stående feil (dette blir kalt en "mislykket GIK")
- Det startes en blokkering av innkoblingsautomatikken i en innstilt tid (typ 3 min)

2.5.3 Selektivitet for vern

Vern i kraftsystemet fungerer også som støtte for andre vern. Skulle et feilklareringssystem ikke fungere vil denne støtten sørge for at alle feil likevel klareres. Dette konseptet kalles for selektivitet. Et distanseverns karakteristikk er basert på impedansmålinger. Terskelverdiene er satt slik at feil innenfor 80-90% av kraftledningen skal gi umiddelbar utløsning av effektbryterne, mens feil lenger borte gir en tidsforsinket utløsemelding forutsatt at et annet vern ikke allerede har klarert feilen. Disse inndelingene kalles for vernets soner, hvor 1. sone gir umiddelbar utløsning, 2. sone gir en tidsforsinkelse, 3.sone en lengre tidsforsinkelse, osv.

En slik plan er illustrert i Figur 6 og Figur 7. I Figur 6 er den øverste streken en prinsipptegning over et kraftsystem. "Z<" angir distansevern på kraftledningene, "<" angir retningen vernet "ser", i dette tilfellet til høyre, og "Z₁₋₃" angir impedansen i kraftledningene.

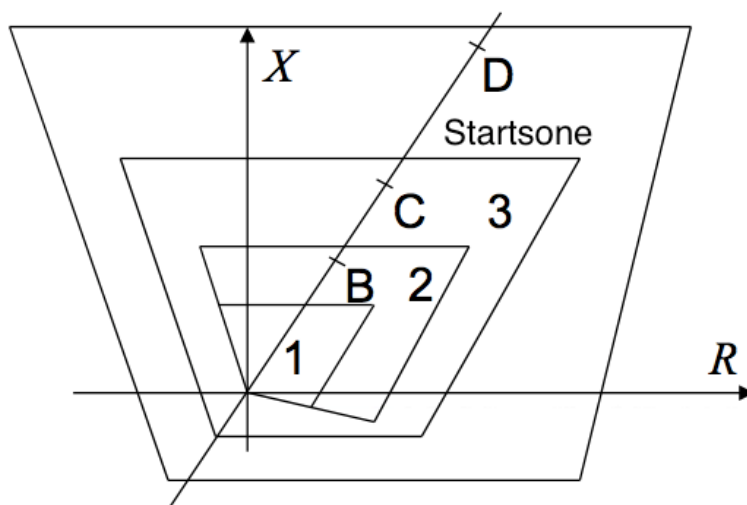
Vernet ved "A" har en selektivitet illustrert ved den røde streken på grafen under prinsipptegningen. Etter hvert som avstand fra vernet øker, øker også impedansen vernet måler. Den blå og sorte streken illustrerer selektiviteten til vernet ved "B" og "C". "Startsonen" for vernet illustrerer impedansen hvor vernet skal starte [13].



Figur 6 - Illustrasjon over hvordan selektivitet fungerer for et vern [13]

Releplanen til et vern kan illustreres av et RX-diagram, som vist i Figur 7. Dette diagrammet viser sammenhengen mellom impedansen og sonene til vernet.

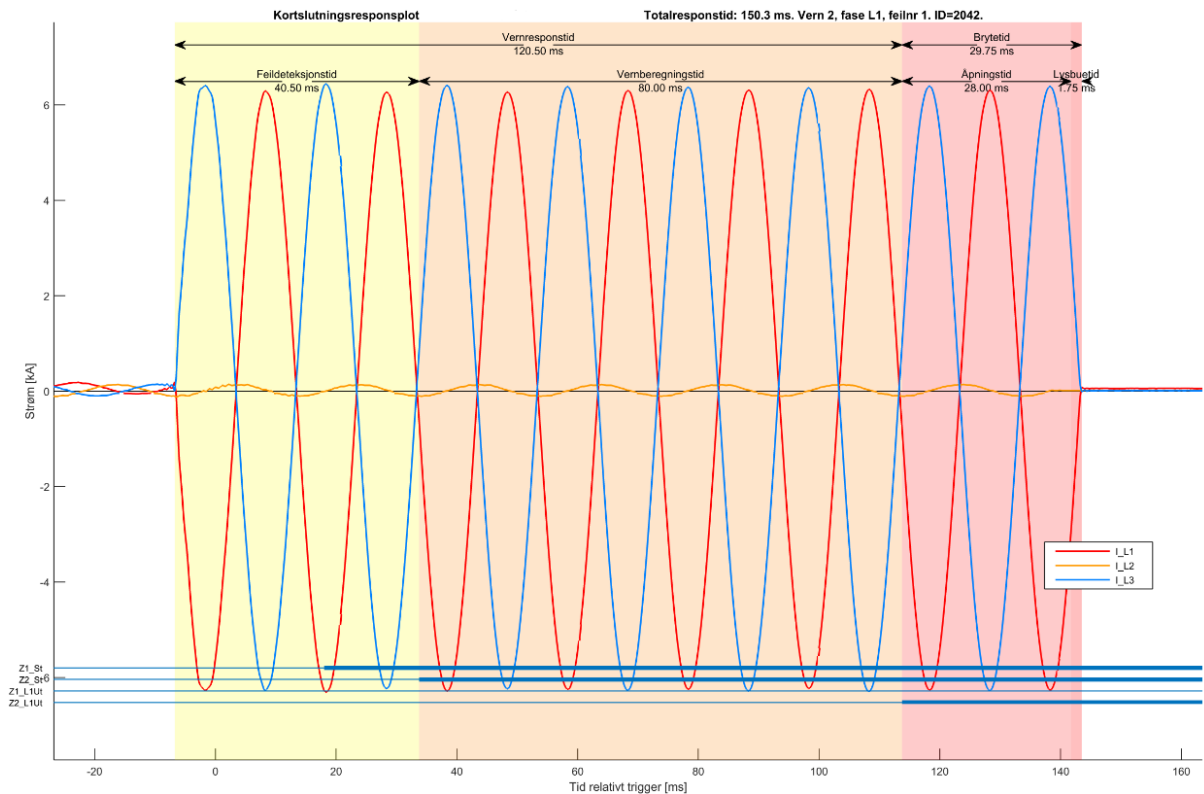
En vanlig driftsituasjon vil befinne seg utenfor startsonen, altså til høyre i RX-diagrammet. Linjen i diagrammet viser en typisk feilimpedanse. Som nevnt tidligere er reaktansen proporsjonal med avstand til feilstedet. Dermed vil feil langt fra vernet gi høy reaktans, og muligens ikke komme innenfor vernets startsone. Overlast gir lavere resistans, som igjen kan føre til at vernet starter, og klarerer. Som vist i diagrammet "ser" vernet også bakover i 3.sone og startsonen, altså er vernet sikkerhet for et vern som befinner seg i motsatt retning av det vernet "ser" [13].



Figur 7 - RX-diagram for et distanseverns selektivitet [13]

2.5.4 EKKO-funksjon

EKKO-funksjonen til vernet er aktuell når en kraftledning er utkoblet i ene enden og spenningssett i den andre enden. Om en kortslutning oppstår i et slikt tilfelle vil ikke sambandet fungere. Oppstår en feil nær utkoblet ende, vil vernet i spenningssett ende oppfatte at driftsforstyrrelsen er i 2.sone. Vernet i spenningssett ende får ikke svar på sine signaler, og da aktiveres EKKO-funksjonen. Dette er en funksjon som sender utløsemelding med noe forsinkelse, for eksempel 30 ms [7].



Figur 8 - EKKO-funksjonen fører til lang vernresponsstid. Figuren er hentet fra nyere utviklinger av AutoDIG [6]

2.6 Vernresponser

Vernet skal sende utløsemelding til effektbryterne hver gang det oppstår en feil. Målet på hvor godt vernet utfører denne oppgaven kalles vernets respons i denne oppgaven. I [9] brukes begrepet vernfunksjon.

2.6.1 Krav til vernresponser

[1] beskriver ulike krav til de ulike sonene for et distansevern. Kravene for direktejordet system på 300- og 420 kV-nett er som følger:

- Ved en feil i sone 1 skal feilklareringssystemet ha en totalrespons på maks 0,1 sekund.
- Ved feil i sone 2, eller senere soner, skal totalresponsen være maks 0,3 sekund.

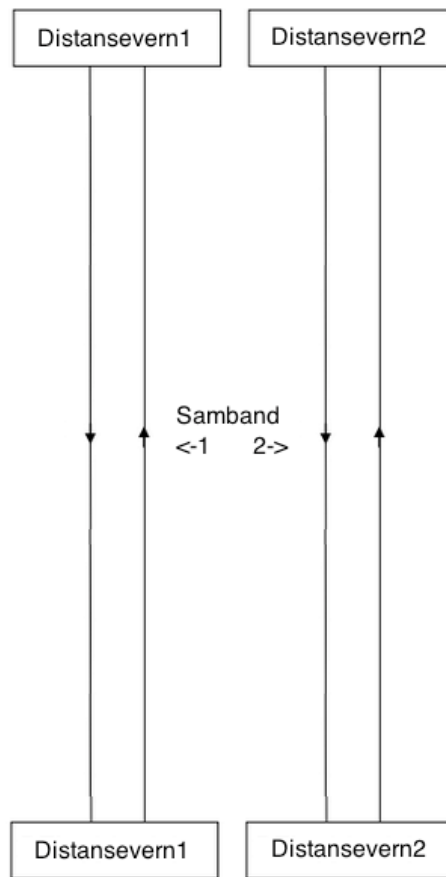
Sett at et det oppstår en feil på en kraftlinje nært et vern, altså utenfor vernet på den andre sidens 1.sone, så vil vernet som har feilen i sin 1.sone sende frakoplingsmelding til vernet på motsatt side, via samband. Dermed kan vernet koble ut før 0,3 s selv om det ikke har feil i sin 1.sone.

2.6.2 Antall vernresponser

For å vurdere vernenes responser er det viktig å vite hvor mange vern som skal respondere til en feil. Her følger aspekter som spiller inn på antallet vernresponser relevant i denne oppgaven.

2.6.2.1 Antall distansevern

Distansevernet har vern i hver ende av kraftledningen. Vernene er knyttet sammen ved hjelp av samband. I de høyeste spenningsnivåene (300-420 kV) er det doble vern i hver ende av kraftledningen, som vist i Figur 9. De doble vernene er fra ulike fabrikat, som innebærer at de har litt ulik karakteristikk og at eventuelle fabrikkasjonsfeil ikke påvirker begge. Det doble vernsystemet kan i noen tilfeller være vernsystemer av ulik type (for eksempel ett distansevern og ett differansevern), evt at et av vernene er på en annen avgang [7].



Figur 9 - Dublerte distansevern med samband

Ved en feil på 420kV-kraftledning mellom to stasjoner skal altså 4 vern sende utløsningsmelding til effektbryterne umiddelbart [1].

2.6.2.2 Antall vernresponser ved mislykket GIK og prøveinnkobling

En mislykket GIK, altså en automatisk gjeninnkobling mot stående feil, telles som en egen kortslutning i denne oppgaven, som innebærer egne vernresponser. Dette er fordi den nye klareringen av den stående feilen har egne vernmeldinger og bryterkoblinger.

Mislykkede prøveinnkoblinger telles også som egne kortslutninger i denne oppgaven, ettersom de er avhengig av både vern- og effektbryterrespons for å klareres korrekt.

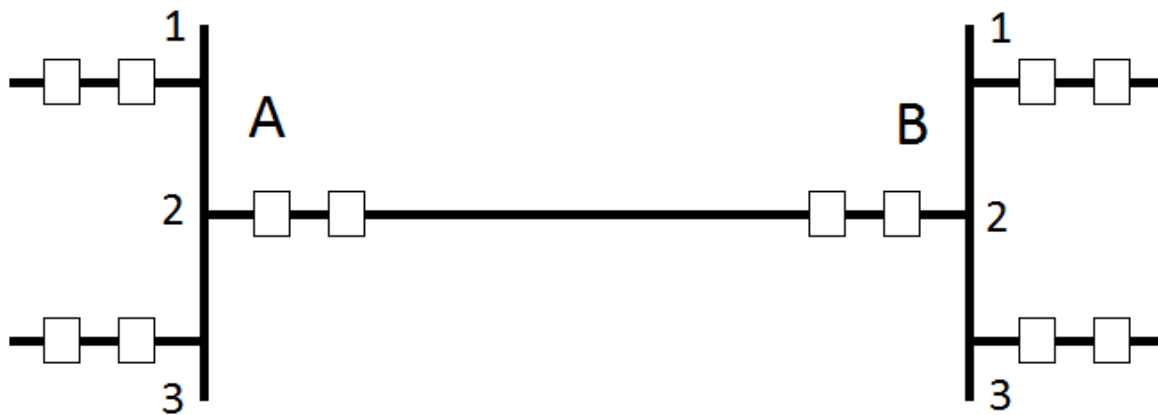
2.6.2.3 Antall vernresponser ved selektivitet

Hvis et feilklareringssystem (for eksempel med dublerte vern) ikke klarerer en feil det skulle klarert, så må bakenforliggende vern klarere denne feilen. Vern som fungerer som sikkerhet for andre vern og som er nødvendige for klarering av en feil skal inkluderes i optelling av vernresponser. Figur 10 skisserer en kraftledning som går mellom stasjon A og stasjon B. Kraftledningen er koblet til plass 2 på samleskinnen hos begge stasjoner. Det er dublerte vern på alle avganger på samleskinnene. Denne figuren brukes til å illustrere hvor mange vernresponser som skal registreres gitt en kortslutning på kraftledningen mellom A og B.

- Hvis minst ett av vernene ved A2 og ett av vernene ved B2 fungerer korrekt, så skal fire vernresponser for A2 og B2 registreres.
- Hvis begge vern hos enten A2 eller B2 har uteblitt funksjon, så skal også alle bakenforliggende vern ved den stasjonen registreres. For eksempel vil uteblitt funksjon ved

begge vern i B2 innebære at åtte vernresponser registreres: To for A2, to for B2, to for B1 og to for B3.

- Hvis begge vern hos både A2 og B2 har uteblitt funksjon, så skal også alle bakenforliggende vern ved begge stasjoner registreres. Dette innebærer tolv vernresponser: To for hver avgang A1-3 og B1-3.



Figur 10 - Skisse over vern på en kraftledning mellom A2 og B2. A1, A3, B1 og B3 er bakenforliggende vern.

2.6.3 Mulige vernresponser

Mulige vernresponser ifølge [9] er:

- **Korrekt vernrespons:** Vernet reagerer riktig på feil som innleder en driftsforstyrrelse i enheter for produksjon, overføring og/eller distribusjon av elektrisk energi.
- **Uteblitt vernrespons:** Vernet klarer ikke feil som innleder en driftsforstyrrelse i enheter for produksjon, overføring og/eller distribusjon av elektrisk energi.
- **Uønsket spontan vernrespons:** Feil i vernsystemet, slik at effektbryter utløses selv om det ikke foreligger feil som innleder en driftsforstyrrelse i enheter for produksjon, overføring og/eller distribusjon av elektrisk energi.
- **Uønsket uselektiv vernrespons:** Feil i vernsystemet, som fører til at effektbryter løser ut, ved feil som innleder en driftsforstyrrelse i enheter for produksjon, overføring og/eller distribusjon av elektrisk energi. Aktuelt vernsystem skulle ikke klarert aktuell feil.

Basert på defineringene i [9] og praksis i [7] er følgende hva som menes med ulike vernresponser, med begrep for å gjøre senere referering lettere:

- Korrekte vernresponser (referert til som "korrekt vernrespons")
- Ukorrekte vernresponser, består av:
 - Uteblitte, består av:
 - Ingen utløsningsmeldinger fra vern (referert til som "uteblitt utløsemelding vernrespons")
 - Forsinket utløsningsmeldinger fra vern (referert til som "uteblitt forsinket vernrespons")
 - Uønskede, består av:
 - Spontane (referert til som "uønsket spontan vernrespons")
 - Uselektive, består av:
 - Vilkårlig vern som ikke skulle klarert aktuell feil (referert til som "uønsket uselektiv vilkårlig vernrespons")

- 3-polt klarering av 1-fase kortslutning, som skulle blitt klarert 1-polt (referert til som "uønsket uselektiv 3-polt vernrespons")

En vernrespons kan med andre ord klassifiseres til én av seks mulige vernrespons.

2.6.4 Registrering av vernrespons i FASIT

Ved registrering av driftsforstyrrelser i FASIT har analytikeren mulighet til å registrere vernrespons. I hovedsak gjøres dette under fane for koblingsforløp, hvor hver bryterkobling blir lagt inn, og tilhørende vernrespons kan registreres, som illustrert i Figur 11. Det er verdt å merke seg at siden vernresponsene blir registrert under koblingsforløp blir hver effektbryter som kobler inn eller ut tilegnet responser for vern(-ene). Vernresponsen blir med andre ord ikke vurdert alene, men som en del av registreringen av en bryterkobling.

For vernresponsen er det mulig å registrere om vernet hadde feilfunksjon, og en kommentar. Mulige registreringer på vernrespons er "korrekt", "forsinket", "uteblitt", "uønsket", "ukjent", "tidlig" og "planmessig korrekt, men driftsmessig uønsket" [4].

The screenshot shows the 'Koblingsforløp' tab in the FASIT software. At the top, there are navigation tabs: 'Generelle opplysninger', 'Feil/hendelse', 'Koblingsforløp' (highlighted), 'Utfall', 'ILE/KILE', and 'Statnett'. Below the tabs, there is a section for 'Koblingsforløp (høyreklikk for meny)' with a checkbox 'Markér berørte trafoer ved klikk i liste (pr tidspunkt ved manuell registrering)' and a 'Traverser i valgt tidspunkt' field. A table with columns: Stasjon, Bryter, sikring, annet nett etc, Ut/Inn, Dato, KI, KI (ms), Seksjonerii, Koblingsmø, GIK innstilli, GIK respor, and Bryt is visible. Below this is a section for 'Vern' (Protection) with a 'Systemvern' sub-section. It contains a table with columns: Navn/ID, Systemvernrespons, Utløsende funksjon, Tidspunkt ut [dato/kl], Tidspunkt inn [dato/kl], Avbrutt effekt [MW], Feilfunksjon, and Kommentar. The 'Feilfunksjon' column has a dropdown menu with 'Nei' selected.

Figur 11 - Utklipp fra FASIT-rapport for fane "Koblingsforløp". OBS! Bildet er tilpasset for å vise de mest sentrale aspekter ved registrering av vernrespons [14]

For denne masteroppgaven vil mulige registreringer på vernrespons tolkes på følgende måte:

- Vernrespons som tolkes som "korrekt vernrespons":
 - "planmessig korrekt, men driftsmessig uønsket"
 - "korrekt"
- Vernrespons som tolkes som "uteblitt vernrespons":
 - "forsinket"
 - "uteblitt"
- Vernrespons som tolkes som "uønsket vernrespons":
 - "uønsket"

"Tidlig" kan bety enten "korrekt" eller "uønsket" avhengig av hva som står i kommentaren. "Ukjent" vil bli forsøkt tolket ut av kommentarfelt. Dette innebærer at disse vernresponsene krever tolkning for å kunne bli tilegnet en av vernresponsene forklart i kapittelet "2.6.3 Mulige vernrespons".

En annen måte vernrespons kan registreres på er ved å registrere et eget feilnummer for vernet som anleggsdel med feil. Figur 12 viser fanen for feil/hendelse, med markeringer for feilnummer og anleggsdel med feil [14].

Generelle opplysninger		Feil/hendelse	Koblingsforløp	Utfall	ILE/KILE	Statnett												
Anlegg	Eier	Systemansvarlig	Overfør ind. avt.	Annen rapportnr.	Systemspenning [kV]													
Feil/hendelse																		
Anlegg	Eier	Systemansvarlig forårsaket avbrudd?																
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="Nei"/>																
Annet rapportnr.	Systemspenning [kV]	Nettnivå	KILE i eget nett [%]	Feilnummer														
<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text"/>	<input type="text" value="100"/>	<input type="text"/>	<input type="button" value="Nye"/>													
<table border="1"> <thead> <tr> <th>Feilsted/Anlegg/Anleggsdel</th> <th>Feil/Feilbeskrivelse</th> <th>Årsak</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Feilsted</td> <td><input type="text"/></td> <td>Anlegg med feil</td> </tr> <tr> <td>Breddegrad WGS84</td> <td><input type="text"/></td> <td>Lengdegrad WGS84</td> </tr> <tr> <td></td> <td></td> <td>Anleggsdel med feil</td> </tr> </tbody> </table>							Feilsted/Anlegg/Anleggsdel	Feil/Feilbeskrivelse	Årsak	Feilsted	<input type="text"/>	Anlegg med feil	Breddegrad WGS84	<input type="text"/>	Lengdegrad WGS84			Anleggsdel med feil
Feilsted/Anlegg/Anleggsdel	Feil/Feilbeskrivelse	Årsak																
Feilsted	<input type="text"/>	Anlegg med feil																
Breddegrad WGS84	<input type="text"/>	Lengdegrad WGS84																
		Anleggsdel med feil																

Figur 12 - Utdrag fra FASIT-rapport for fane "Feil/hendelse". OBS! Bildet er tilpasset for å vise de mest sentrale aspekter ved registrering av vernresponser [14]

2.6.4.1 Korrekte vernresponser i FASIT

I utgangspunktet blir få korrekte vernresponser registrert i FASIT. Dette er fordi det antas at uregistrert vernrespons er korrekt vernrespons [15].

Analytikerne i FASIT har tilgang på mange kilder for vurdering av vernresponser. Vernets respons må analyseres basert på vernets innstillinger i releplanen. Vanskelige måleforhold for vernet, som lav-ohmige feil kan føre til lange klareringstider som går utover kravene satt i [1]. Vernresponsen må likevel vurderes som korrekt, ettersom vernets innstillinger tilsier gitt respons. Andre eksempler er EKKO-funksjonen beskrevet tidligere, som kan gi klareringstid på opptil 130 ms, og er korrekt vernrespons.

2.6.4.2 Antatt sannsynlighet for registrerte vernresponser

Vern- og effektbryterresponser skal registreres i FASIT. Følgende er antatt angående sannsynlighet for korrekt registrering av vernresponser i FASIT [15]:

I den følgende opplistingen er " - " (minus) et argument for å minke sannsynligheten for at vernresponsen oppdages og registreres manuelt av en av feilanalyseanalytikere. " + " (pluss) er argument for å øke sannsynligheten for at vernresponsen oppdages og registreres.

- **Korrekte vernresponser** blir i liten grad registrert:
 - - Ikke-registrert-vernrespons antas tolket som korrekt, og dette er en akseptert antakelse i Statnett for registrering av driftsforstyrrelser.
- **Uteblitte utløsemeldinger vernresponser**, blir i stor grad registrert:
 - + En utløsekjede med uteblitt utløsemelding vernrespons på en kortslutning vil innebære klarering av bakenforliggende vern. Større utkoblede områder øker sannsynligheten for at vernresponser av type uteblitt utløsemelding vernrespons blir registrert.
 - - Det er som regel doble vern, noe som gjør det mulig med en korrekt vernrespons og en uteblitt utløsemelding vernrespons. I disse tilfeller blir ikke større områder

utkoblet og dette øker sannsynligheten for at vernresponser av type uteblitt utløsemelding vernrespons kan oversees.

- **Uteblitte forsinkede vernresponser**, blir i noen grad registrert:
 - + Kravene til klareringstiden er det godt kjent i feilanalyse-miljøet. Dette øker sannsynligheten for at vernresponser av type uteblitt forsinket vernrespons blir registrert.
 - - Det er som regel doble vern, noe som gjør det mulig med en korrekt vernrespons og en uteblitt forsinket vernrespons. I dag er det ingen rutiner på å gjenkjenne det tregere vernets respons, ettersom disse tilfellene ikke vil gi klareringstiden ut over kravet. Dette øker sannsynligheten for at vernresponser av type uteblitt forsinket vernrespons kan oversees.
- **Uønskede spontane vernresponser** blir i stor grad registrert:
 - + Uønsket spontan vernrespons gir utkobling av et område uten at det foreligger feil. Dette øker sannsynligheten for at vernresponser av type uønsket spontan vernrespons blir registrert.
- **Uønskede uselektive vilkårlig vernresponser** blir i stor grad registrert:
 - + En utløsekjede med en uønsket uselektiv vilkårlig vernrespons innebærer at et vern sender utløsemelding, som ikke skulle gjort det. Dette betyr større utkoblede områder enn nødvendig. Dette øker sannsynligheten for at vernresponser av type uønsket uselektiv vilkårlig vernrespons blir registrert.
- **Uønskede uselektive 3-polte vernresponser** blir i noen grad registrert:
 - + En utløsekjede med uønsket uselektiv 3-polt vernrespons vil innebære en 3-polt klarerings, som vanligvis krever manuell innkobling fra sentral, der det potensielt ikke var nødvendig (forbigående feil). Dette øker sannsynligheten for at vernresponser av type uønsket uselektiv 3-polt vernrespons blir registrert.
 - - Det foreligger en feil aktuelt vern skal klarere ved disse tilfellene, og det finnes flere grunner til at 3-polt klarering på 1-fasefeil er korrekt (for eksempel at gjeninnkoblingsautomatikken er i sperretid etter en tidligere GIK). Dette øker sannsynligheten for at vernresponser av type uønsket uselektiv 3-polt vernrespons kan oversees.

Oppsummert:

- Uteblitt utløsemelding, uønsket spontan og uønsket uselektiv vilkårlig vernrespons antas fullstendig registrert i stor grad
- Uteblitt forsinket og uønsket uselektiv 3-polt vernrespons antas fullstendig registrert i noen grad
- Korrekt vernrespons antas fullstendig registrert i liten grad

2.7 Effektbryterens funksjon

Effektbrytere på høye spenningsnivå skal bryte store kortslutningsstrømmer fort. Effektbryteren skal åpne hver gang den får en utløsemelding fra et vern. Som forklart i kapittelet "2.4.2 Begrep knyttet til feilforløpet" består brytetiden til effektbryteren av åpnings- og lysbuetiden, illustrert i Tabell 4.

Tabell 4 - Forklaring av brytetid

Brytetid	
Utløsningsmelding fra vernet	Feil klarert
Åpningstid	Lysbuetid

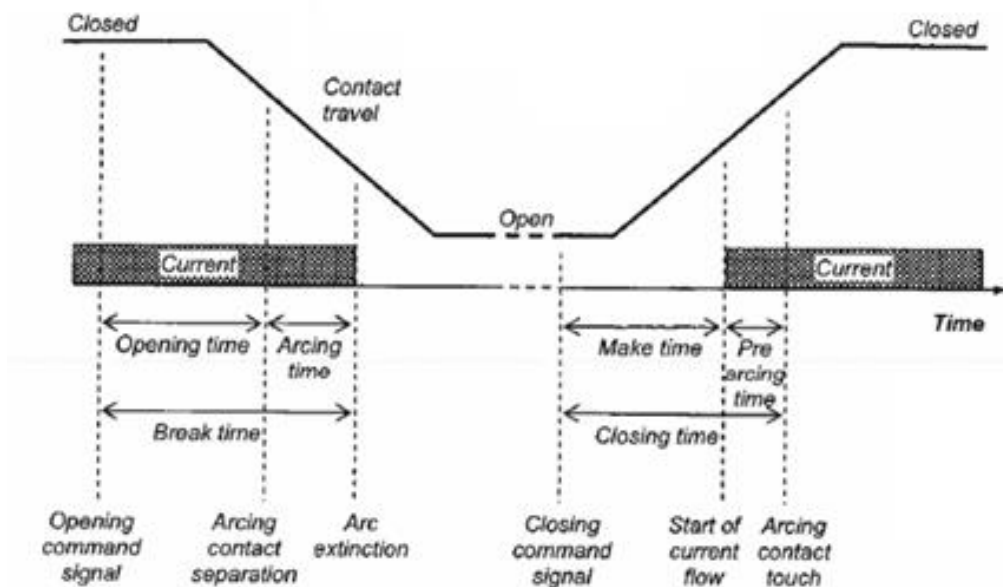
2.7.1 Utløsemekanismen

Når effektbryteren mottar utløsningsmeldingen fra vernet lades utløsespolen til effektbryteren. Denne spolen trigger utløsemekanismen. Vandretiden fra fullstendig lukket bryter, til kontaktflatene inni effektbryteren skiller lag, kalles åpningstiden, som beskrevet i kapittelet "2.4 Definisjoner og fenomen knyttet til feilforløpet" og illustrert i Figur 13.

2.7.2 Åpningstid og åpen bryter

Åpningstiden for en gitt bryter er relativt konstant, men påvirkes av parametere som temperatur, trykk inni effektbryteren (i brytemediet), varighet av lukket/åpnet stilling og slitasje. Fra fabrikk garanteres tider med +/- ett par ms.

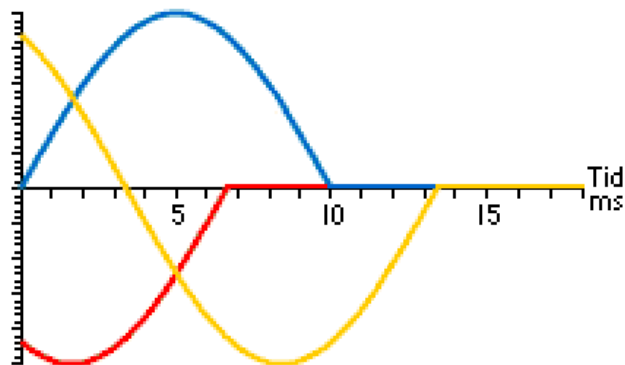
Slutten av åpningstiden er øyeblikket hvor kontaktflatene inne i effektbryteren separeres, og lysbuen oppstår inne i effektbryteren. Effektbryteren bruker opptil ytterligere 10 ms på å åpne så langt mekanikken tillater [16].



Figur 13 – Sammenheng mellom effektbryterens bevegelse og brytetid (break time), åpningstid (opening time) og lysbuetid (arcing time) [16]

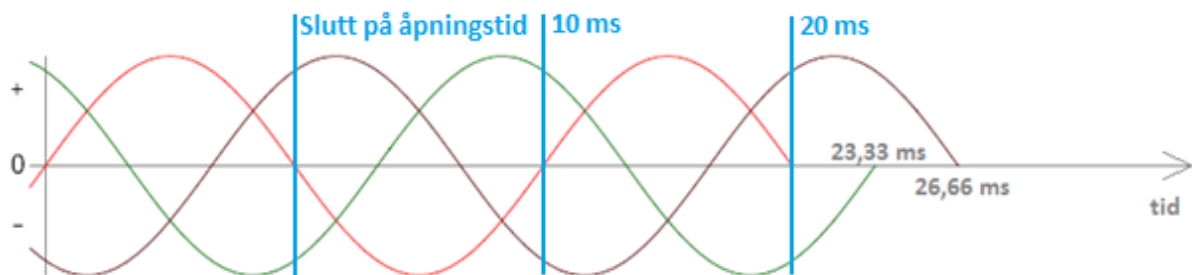
2.7.3 Lysbuetid i hver fase

For å klare å bryte lysbuen er effektbryteren avhengig av en viss avstand mellom de to kontaktflatene, avhengig av størrelse på kortslutningsstrømmen og spenningen. Effektbryteren vil dermed normalt ikke klare å bryte lysbuen ved en nullgjennomgang som skjer kun et par ms etter separering. Bryting av lysbuen vil skje ved første nullgjennomgang som har tilstrekkelig avstand mellom kontaktflatene. Som illustrert i Figur 14 vil bryting i de resterende fasene brytes 3,33 og 6,66 ms etter denne første brytingen. Unntak kan skyldes en stor kortslutningsstrøm i enkelte av fasene [16].



Figur 14 - Lysbueforløp for tre faser

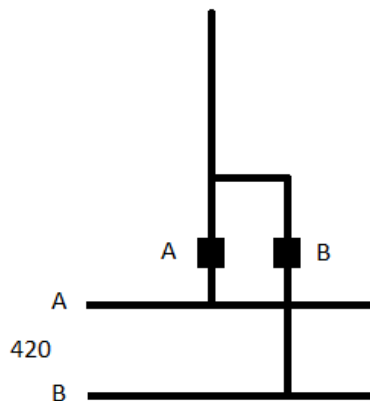
50 Hz gir nullgjennomgang hvert 10. ms for hver enkelt fase i et symmetrisk nett. Om første nullgjennomgang etter separasjon i bryterkammeret gir for liten avstand mellom kontaktflatene kan det altså ta 10 ms ekstra før effektbryteren får brutt kortslutningsstrømmen. Som vist i Figur 15 skal dermed maks lysbuetid være 26,66 ms \approx 27 ms.



Figur 15 - Maks lysbuetid for et strømsignal med tre faser

2.7.4 Fordeling av kortslutningsstrøm

En ende av en 420 kV-kraftledning tilkoblet to samleskinner er illustrert i Figur 16.



Figur 16 - En 420 kV-kraftledning tilkoblet to samleskinner, A og B, gjennom to effektbrytere

Kortslutningsstrømmen vil fordele seg i alle effektbrytere som er tilkoblet hver ende av kraftledningen. Andelen kortslutningsstrøm i hver effektbryter er bestemt av antall effektbrytere og impedans i kretsene forbundet med hver bryter.

Strømtrafoene som gir feilskriverne (mer om feilskrivere i kapittel "[4.1 Datakilder for feilanalyse](#)") sine strømsignal, er plassert på hver fase, men ikke for hver samleskinne. Konsekvensen er at det ikke er mulig å fastsette tidspunkt for brutt kortslutningsstrøm (slutt på lysbuetid) for hver selvstendige bryter, i de tilfellene med mer enn en bryter i hver ende. Feil klarert for en fase er øyeblikket den siste av de to bryterne forbundet med fasen brøt kortslutningsstrømmen.

2.8 Effektbryterrespons

Effektbryteren skal bryte kortslutningsstrømmen [1]. Målet på hvor godt effektbryteren løser denne oppgaven kalles effektbryterens respons i denne masteroppgaven.

2.8.1 Krav til effektbryterrespons

I følge [1] skal effektbrytere dimensjoneres for å bryte alle kortslutningsstrømmer uten å forringes. Det er dermed ingen direkte tidskrav forbundet med effektbryteren.

Effektbryterne på spenningsnivå over 220 kV skal ha to utløsespoler, og de dublerne vernene er koblet til hver sin utløsespole. Dette vil si at effektbryteren åpner på den første utløsemeldingen ett av vernene sender, og at det kun trengs et fungerende vern for at bryteren åpner [1].

2.8.2 Antall effektbryterrespons

Antall effektbrytere som skal bryte kortslutningsstrømmen til en feil er nødvendig informasjon for å vurdere effektbryternes respons. Her følger aspekter som spiller inn på antallet effektbryterrespons relevant i denne oppgaven.

2.8.2.1 Antall effektbrytere

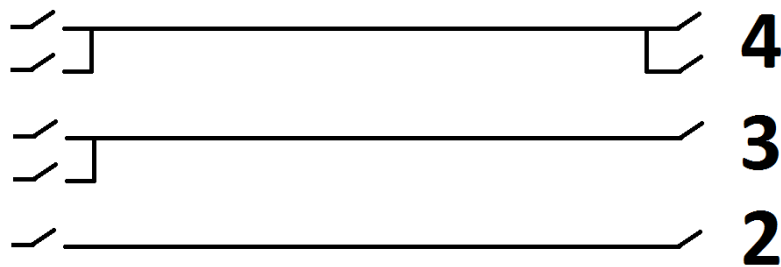
Med "en effektbryter" for kraftledninger på de høyere spenningsnivåene menes en effektbryter per fase, altså 3 selvstendige effektbrytere. Siden det som regel er en effektbryter i hver stasjon er det med andre ord 2 effektbrytere, eller 6 selvstendige effektbrytere forbundet med en kraftledning.

Effektbryterrespons telles per samleskinne kraftledningen er tilkoblet før feil.

Som Figur 17 illustrerer så kan kraftledningene være tilkoblet en eller to samleskinner per stasjon, som vil si at det totalt er alt fra 2 til 4 effektbrytere som skal åpnes ved en driftsforstyrrelse. Unntak fra denne regelen kan forekomme i de tilfellene det er T-avgreininger i nettet, altså at kraftledningen er tilkoblet flere enn to stasjoner.

Ved en feil på 420kV-kraftledning mellom to stasjoner, gjelder følgende som illustrert i Figur 17:

- 2 effektbrytere skal respondere i tilfellet en kortslutning tilkoblet to samleskinner
- 3 effektbrytere skal respondere i tilfelle en kortslutning tilkoblet tre samleskinner
- 4 effektbrytere skal respondere i tilfellet en kortslutning tilkoblet fire samleskinner



Figur 17 - Antall effektbrytere på en 420-kV-kraftledning

2.8.2.2 Antall effektbryterresponser ved selektivitet

Som med vernresponser så vil også antall effektbryterresponser som telles ved en feil (kortslutninger og jordfeil) bli påvirket av hvordan selektiviteten til vernene innvirker.

I denne oppgaven telles alle effektbrytere som får utløsemelding fra vern.

2.8.3 Mulige effektbryterresponser

For effektbrytere er det vanlig å beregne feilfrekvenser, altså antall feil per effektbryter per år. Feil deles inn i forbigående og varige feil [17]:

- **Forbigående feil:** Feil hvor korrigerende vedlikehold ikke er nødvendig.
- **Varige feil:** Feil hvor korrigerende vedlikehold er nødvendig.

I denne oppgaven vil alle typer feil på effektbrytere kalles "ukorrekte effektbryterresponser".

2.8.4 Registrering av effektbryterresponser i FASIT

På samme måte som vernresponser blir effektbryterresponser registrert under fanene for koblingsforløp i FASIT som illustrert i Figur 18. På samme måte som ved vernresponsene, blir effektbryterresponsene registrert under koblingsforløp, hvor hver effektbryter som kobler inn eller ut blir tilegnet responser for effektbryter(-ne). Effektbryterresponsen blir med andre ord ikke vurdert alene, men som en del av registreringen av en bryterkobling.

Her er det mulig å registrere hvilken effektbryter som koblet inn/ut, om aktuell effektbryter hadde feilfunksjon, og en kommentar. Mulige registreringer på effektbryterresponser er "korrekt", "forsinket", "uteblitt/ufullstendig" og "øvrige" [4].

The screenshot shows the 'Koblingsforløp' tab in the FASIT software. At the top, there are navigation tabs: 'Generelle opplysninger', 'Feil/hendelse', 'Koblingsforløp', 'Utfall', 'ILE/KILE', and 'Statnett'. Below the tabs, there's a section for 'Koblingsforløp (høyreklikk for meny)' with a checkbox for 'Markér berørte trafoer ved klikk i liste (pr tidspunkt ved manuell registrering)'. A table is displayed with columns: 'Stasjon', 'Bryter, sikring, annet nett etc', 'Ut/Inn', 'Dato', 'Kl', 'Kl [ms]', 'Seksjon(e)r', 'Koblingsme', 'GIK innstill', 'GIK respon', 'Bryt', 'Bryter resp', 'Tot.', 'Total i', 'Feilnr', 'Feilref', and 'Feil'. Below the table, there are input fields for 'Alarmtidspunkt [dato]' and '[kl]'. On the right, there's a 'Brytersøk' (Breaker search) window with a search box and a list of breaker models: 'L Ajoure 220 AL7 S2-S', 'L Ajoure 220 AL7S3-S', 'L Ajoure 220 G1 S', 'L Ajoure 220 T1 F-S', 'L AJ4 Alaj 420 KA4 E', 'L AJ4 Alaj 420 LD1 E', and 'L AJ4 Alaj 420 PR41E'. There are also checkboxes for 'Kun frittstående brytere' and 'Brytere fra driftsentral'.

Figur 18 - Utklipp fra FASIT-rapport for fane "Koblingsforløp". OBS! Bildet er tilpasset for å vise de mest sentrale aspekter ved registrering av effektbryterresponser [14]

For denne masteroppgaven vil "forsinket" og "uteblitt/ufullstendig" bety "ukorrekt". "Øvrige" vil bli forsøkt tolket ut av kommentarfelt.

En annen måte effektbryterresponser kan registreres på er ved å registrere et eget feilnummer for effektbryteren som anleggsdel med feil. Figur 19 viser fanen for feil/hendelse, med markeringer for feilnummer og anleggsdel med feil [14].

2.8.4.1 Korrekte effektbryterresponser i FASIT

I utgangspunktet blir få korrekte effektbryterresponser registrert i FASIT. Dette er fordi det antas at uregistrert effektbryterrespons er korrekt effektbryterrespons [15].

The screenshot shows the 'Feil/hendelse' tab in the FASIT software. At the top, there are navigation tabs: 'Generelle opplysninger', 'Feil/hendelse', 'Koblingsforløp', 'Utfall', 'ILE/KILE', and 'Statnett'. Below the tabs, there's a section for 'Feil/hendelse' with fields for 'Anlegg', 'Eier', 'Systemansvarlig', 'Overfør ind. avt.', 'Annen rapportnr.', and 'Systemspenning [kV]'. There are also dropdown menus for 'Nettnivå' and 'KILE i eget nett [%]'. A 'Feilnummer' field is highlighted in yellow. Below, there are fields for 'Feilsted', 'Breddegrad WGS84', 'Lengdegrad WGS84', and 'Anleggsdel med feil'.

Figur 19 – Gjentatt utdrag fra FASIT-rapport for fane "Feil/hendelse". OBS! Bildet er tilpasset for å vise de mest sentrale aspekter ved registrering av effektbryterresponser [14]

2.9 Effektbryterresponsens rolle for vernresponsen

I kapittelet "2.7.3 Lysbuetid i hver fase" kom det fram at en lysbuetid ikke burde gå over 27 ms. En lenger lysbuetid enn disse 27 ms skal i teorien ikke skje. Effektbryterresponsen er da forsinket og ukorrekt. Samtidig kan dette føre til at klareringstiden går utover de 100 ms [1] krever av vernresponsen, selv om vernet har respondert korrekt ifølge egen programmering. En ukorrekt effektbryterrespons må dermed inngå i vurderingen av vernresponsen.

Hvordan dette kan gjøres sees nærmere på i kapittelet "5.2.3 Terskelverdi-metoden for å karakterisering vern- og effektbryterresponser".

3 Beregningsmetoder for fastsetting av klareringstid, pålitelighetsindekser for vern og feilfrekvens for effektbrytere

For å beregne pålitelighetsindekser og etablere data for å beregne dem for det norske kraftsystemet er det nødvendig med gode metoder for å beregne korrekt klareringstid og indekser for distansevern. Rollen effektbryterresponser spiller for vurderingen av vernresponser gjør at det er interessant å se på beregningsmetoder av feilfrekvens for effektbrytere.

For beregningsmetoder av fastsettelse av klareringstid har det blitt utforsket en relativt ny metode som blir kalt for bølgekomponent-transformering.

Beregning av pålitelighetsindekser gjøres ved CIGRE-indeksenes metode, sammen med noen tillegg fra forfatter. Beregningsmetode for estimering av antall korrekte vernresponser blir gjort med Ommedals metode, etter noen tilpassinger av forfatter.

Sist i kapittelet presenteres beregningsmetoder for feilfrekvens av effektbrytere, og hvordan Ommedals estimeringsmetode kan benyttes også her.

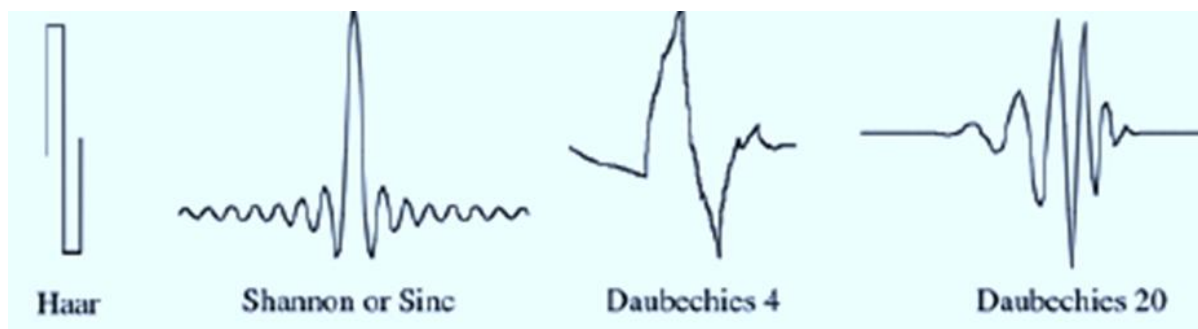
3.1 Fastsettelse av klareringstid

Som nevnt tidligere er det nødvendig med en korrekt fastsettelse av feilstart og feil klarert, gjerne ved hjelp av en automatisk metode som kan implementeres i AutoDIG. En mye brukt metode for tolkning av signaler med frekvenser er Fourier-transformasjon. Ulempen med denne metoden er at den har svakheter når det kommer til ikke-stasjonære-signaler: Den kan ikke lokalisere trender, plutselige endringer, start- og sluttidspunkt for hendelser, osv. Som nevnt i kapittel "2.4.4 Vandrebølger knyttet til feil og feilklarering" trengs det en metode som tillater presentering i både ett frekvens- og tidsdomene [18].

3.1.1 Bølgekomponenttransformering

En lovende metode kalt "wavelet transform" er beskrevet i [18-20]. Mulig norsk oversettelse er "bølgekomponent-transformering". Bølgekomponent-transformering er en matematisk metode som gjør det mulig for brukeren å presentere et signal i både frekvens- og tidsdomenet.

Bølgekomponent-transformeringen går ut på at et originalt signal blir konvertert til en serie av bølgekomponenter. Disse bølgekomponentene er en bølgeform med begrenset varighet og gjennomsnittlig verdi lik null. Bølgekomponentene kan ha ulik form som illustrert i Figur 20 [21].



Figur 20 – Noen ulike bølgekomponenter. Utdrag fra [21]

3.1.1.1 Moderbølgekomponenten

Som utgangspunkt for metoden velges en bølgekomponent (for eksempel en av de illustrert i Figur 20), som moderbølgekomponent. Denne moderbølgekomponenten blir utgangspunktet for sammenligning med originalsignalet, ved å "strekke" og forskyve moderbølgekomponenten. Resultatet blir serier av såkalte bølgekomponent-koeffisienter, som beskriver skalering og forskyving av moderbølgekomponenten. Ved å multiplisere en av bølgekomponent-koeffisientene med moderbølgekomponenten produserer en bestanddel av det originale signalet [22].

Den matematiske formuleringen er som følger:

Formel 1 - Bølgekomponent-transformering [22]

$$\psi_{j,k}(t) = \frac{1}{\sqrt{2}} \psi\left(\frac{t - k2^j}{2^j}\right)$$

$\psi(t)$: Moderbølgekomponenten

j er skaleringsparameteren (heltall)

t er tiden

k er forskyvningsparameteren (heltall)

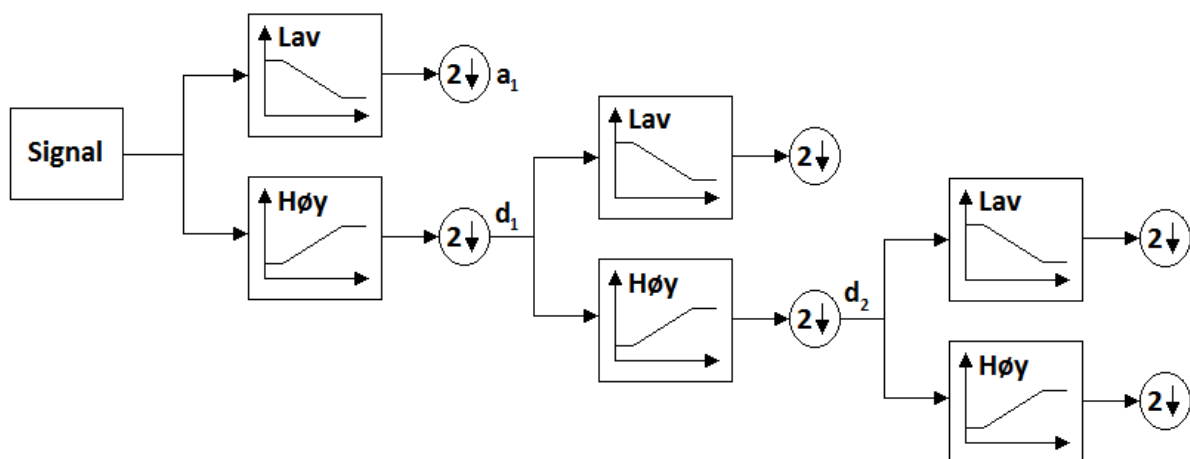
Valg av rett moderbølgekomponent er sentralt i bølgekomponent-transformering. I følge [20] bør valget tas basert på hva som skal analyseres (høy- eller lavfrekvente signaler). I denne oppgaven vil dette valget tas etter at feilskriveropptakene i datagrunnlaget er sett nærmere på.

3.1.1.2 Diskret Bølgekomponenttransformering

Det finnes tre forskjellige typer bølgekomponent-transformering:

- Kontinuerlig Bølgekomponent-transformering (KBT)
- Diskret Bølgekomponent-transformering (DBT)
- Stasjonær Bølgekomponent-transformering (SBT)

I denne oppgaven vil det benyttes diskret bølgekomponent-transformering (DBT) av et signal er beregnet ved hjelp av en serie filter: En høy- og en lavpasserings-bølgekomponent-koeffisientserie, som illustrert i Figur 21. Algoritmen illustrert i Figur 21 kalles en "Mallat algoritme" [22].



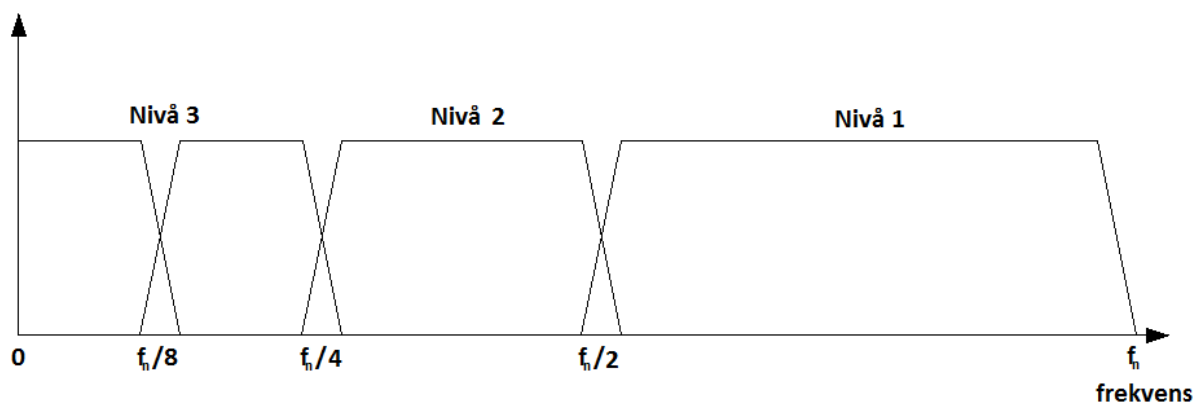
Figur 21 - Mallat algoritmen, med høy- og lavplasseringsfiltre for frekvens, fordelt på 3 nivå [22]

Som vist blir signalet dekomponert inn i lave og høye frekvenser. Grunnet dekomponeringsprosessen må oppløsningen til inngangssignalet være et multiplum med 2^n , hvor n er antall nivå.

Hvis det for eksempel antas at signalet i Figur 21 har en oppløsning på 32 Hz, og at nivåene deler frekvensen opp fra 0 til f_n , så vil vi få 4 utgangsskalaer, som vist i tabell Tabell 5 og Figur 22 [22].

Tabell 5 - Eksempel frekvensfilter for et signal med 32 i oppløsning [22]

Nivå	Frekvens	Oppløsning
3	0 til $f_n/8$	4
	$f_n/8$ til $f_n/4$	4
2	$f_n/4$ til $f_n/2$	8
1	$f_n/2$ til f_n	16



Figur 22 – Frekvensdomene av DBT [22]

Det er med andre ord viktig å vite oppløsningen på signalet som skal analyseres, for å vite hvilket nivå som er av størst interesse for analysen. Oppløsningen for feilskriveropptakene i datagrunnlaget blir introdusert senere i oppgaven.

3.1.2 Modal-signalet

Tidspunktet for feilstart vil være det samme for alle faser, og dermed kan en samlet vurdering være hensiktsmessig. Dette gjør det relevant å vurdere alle fasene samlet.

I [20, 23] beskrives noe som blir kalt for modal-signalet. Modal-signalet, I_m , er en sammenslåing av de tre fasestrømmene I_a , I_b , I_c etter følgende formel:

Formel 2 - Uttrykket for modal-strømmen, som er en lineær kombinasjon av 3-fasestrømmene [23]

$$I_m = \alpha I_a - \beta I_b + \gamma I_c$$

α , β og γ er modal-signalets koeffisienter.

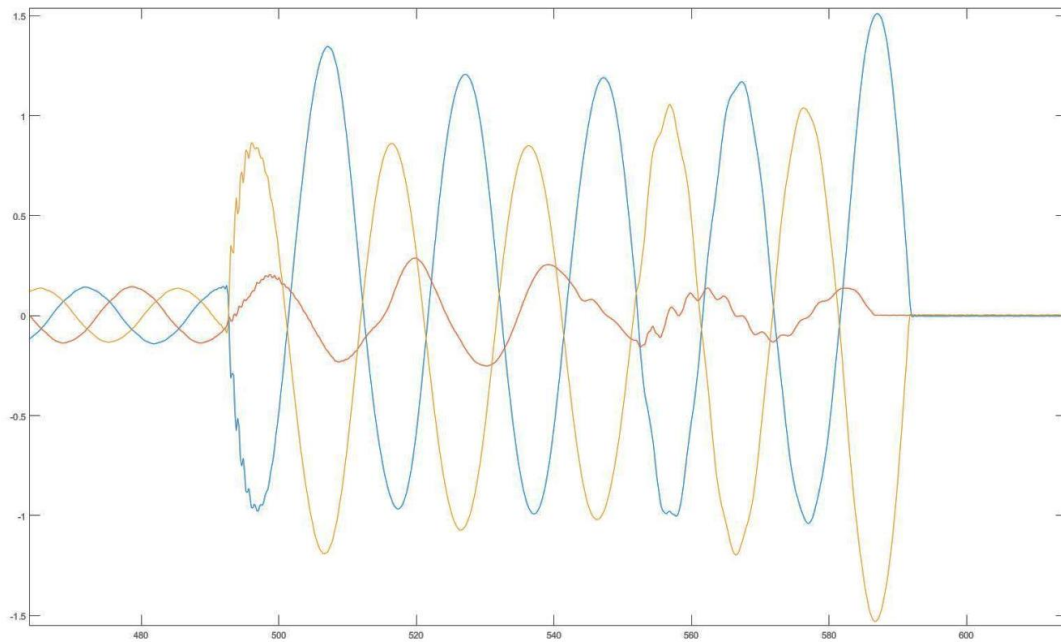
Modal-signalet gjør at noen signal-forstyrrelser som er felles for alle faser elimineres. Dette gjør at modal-signalet er immun mot feil som ikke er tilknyttet vernets kraftledning [24].

3.1.2.1 Valg av koeffisienter til Modal-signalet

[20] har valgt $\alpha = 1$, $\beta = 2$ og $\gamma = 2$. Dette fører til en diskriminering mot signalet i fase 1 (feil i fase 1 blir mindre synlig), noe som ikke er ønskelig. Derfor velges det å gå videre med lik verdi for alle modal-koeffisientene denne oppgaven, med noe forsterkning. Forsterkningen (altså koeffisienter

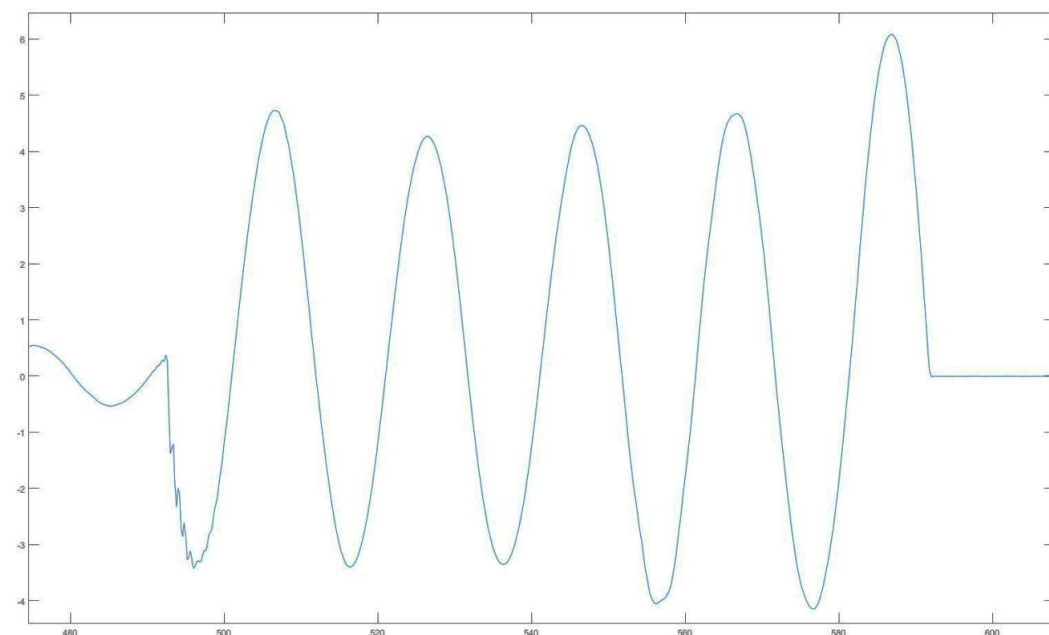
større enn 1) gir større utslagsforskjeller, som dermed letter analysen ettersom utslagene blir større. Det velges derfor $\alpha = \beta = \gamma = 2$.

For å illustrere viser Figur 23 et eksempel fra feilskriveropptakene, plotet i MATLAB, hvor det er en kortslutning mellom to av fasene. Det er lett å se forstyrrelsene i forbindelse med feilstart. Det er tydelige forstyrrelser på alle faser også litt over halvveis av klareringstiden, mest synlig er det på ikke-feilbefengt-fase. Disse forstyrrelsene kan skyldes flere ting, for eksempel klarering på andre enden av kraftledningen.



Figur 23 – Eksempel fra feilskriveropptak av tre faser, og en kortslutning mellom to av fasene. Figuren er plotet i MATLAB.

Figur 24 viser hvordan modal-signalet til Figur 23 blir seende ut. Her er forstyrrelsene fra feilstart fremdeles tydelige, men forstyrrelsene etter midten av klareringstiden er mindre synlig.



Figur 24 – Eksempel på Modal-signal kalkulert av feilskriveropptaket fra Figur 23. Figuren er plotet i MATLAB.

3.2 Pålitelighetsindekser for vern

En indeks er et sammensatt statistisk mål som sammenfatter flere variabler. For pålitelighetsindekser for vern er det antallet av de ulike vernresponsene som er variablene. [2] beskriver tilgjengelighet, sikkerhet og pålitelighet til vernene.

3.2.1 Tilgjengelighet

Formel 3 - Tilgjengelighet [2]

$$D = \frac{N_c}{N_c + N_f}$$

N_c : Antall korrekte funksjoner

N_f : Antall uteblitte funksjoner

Tilgjengeligheten måler sannsynligheten for at vernet ikke har uteblitt respons under gitte omstendigheter, og i gitt tidsintervall (i denne oppgaven 2009-2014). Tilgjengeligheter måler altså sannsynligheten for at vernet responderer når det skjer en feil [2].

3.2.2 Sikkerhet

Formel 4 – Sikkerhet [2]

$$S = \frac{N_c}{N_c + N_u}$$

N_u : Antall uønskede funksjoner

Sikkerheten viser ikke sannsynligheten for at vernet ikke responderer når det ikke skal, ettersom det ikke foreligger en variabel som sier hvor mange ganger vernet kunne respondert uønsket men ikke gjorde det. Derfor sies det at sikkerheten måler evnen vernet har til å ikke respondere, når den ikke skal respondere [2].

3.2.3 Pålitelighet

Formel 5 – Pålitelighet [2]

$$R = \frac{N_c}{N_c + N_f + N_u}$$

Påliteligheten til et feilklareringssystem måler sannsynligheten for at vernet kan utføre ønsket funksjon under gitte omstendigheter for et gitt tidsintervall. Påliteligheten til et vern måler vernets evne til å ikke ha en ukorrekt respons [2].

3.2.4 Opptelling av variabler

CIGRE (International Council in Large Electric Systems), som utviklet formlene for tilgjengelighet, sikkerhet og pålitelighet, teller responsen fra hver enkelt utløsekjede². Dette vil si at variablene viser totalresponsen³ til både vernet, effektbryteren og resten av utløsekjeden (som vist innenfor grønn strek i Figur 2). [2]

N_c : Antall korrekte funksjoner, hvor både vernet og effektbryteren har respondert korrekt på driftsforstyrrelsen

N_f : Antall uteblitte funksjoner, hvor vernet eller effektbryteren eller begge ikke har respondert på driftsforstyrrelsen.

N_u : Antall uønskede funksjoner, hvor vernet eller effektbryteren eller begge har respondert uønsket på driftsforstyrrelsen, uselektivt eller spontant.

I [25] telles hvert enkelt verns respons. Dette vil si at variablene viser kun vernets respons uavhengig av om resten av utløsekjeden reagerte korrekt.

N_c : Antall korrekte vernfunksjoner, hvor vernet har respondert korrekt på driftsforstyrrelsen

N_f : Antall uteblitte vernfunksjoner, hvor vernet ikke har respondert på driftsforstyrrelsen.

N_u : Antall uønskede vernfunksjoner, hvor vernet har respondert uønsket på driftsforstyrrelsen, uselektivt eller spontant.

Det er metoden i [25] for å telle vernresponsen som vil benyttes i denne masteroppgaven.

3.2.5 Tillegg av forfatter om uønskede uselektive 3-polte vernresponsen

Uønsket uselektiv 3-polte vernrespons er en utfordring med tanke på beregning av tilgjengelighetsindeksen. Tilgjengelighet er et mål på om et vern responderer på en feil, og uønsket uselektiv 3-polte vernrespons er en respons på en feil fra et vern som skal respondere. Vernresponsen beskriver et vern som skal klarere en feil (kortslutning eller jordfeil), men som "klarere for mye", som betyr at den klarer tre faser når den kun skulle klart én.

I denne oppgaven foreslås det derfor å inkludere uønsket uselektiv 3-polte vernrespons i beregningen av tilgjengelighet, enten som "korrekt" eller "uteblitt". Dette betyr at vernresponsene vurderes basert på klareringstid, og fordeles mellom korrekte og uteblitte, kun for beregningen av tilgjengelighet. Foreslått ny utforming av formel for tilgjengelighet er da Formel 6.

Formel 6 – Foreslått metode for beregning av tilgjengelighet

$$D = \frac{N_c + N_{uc}}{N_c + N_{uc} + N_f + N_{uf}} = \frac{N_c + N_{uc}}{N_c + N_f + N_{uu3}}$$

N_{uu3} : antall uønskede uselektive 3-polte vernresponsen

N_{uc} : antall uønskede uselektive 3-polte vernresponsen med klareringstid innenfor kravene, og blir dermed regnet som korrekte vernresponsen for beregning av tilgjengelighet

N_{uf} : antall uønskede uselektive 3-polte vernresponsen med klareringstid utover kravene, og blir dermed regnet som uteblitte forsinkede vernresponsen for beregning av tilgjengelighet

² Hva som menes med utløsekjede forklares i kapittel "2.3.4 Utløsekjeden"

³ Hva som menes med totalrespons forklares i "2.4.2 Begrep knyttet til feilforløpet"

3.3 Estimering av korrekte vernresponser

[26] fant en metode for å estimere antall korrekte vernresponser. Metodikken bygger på fire antakelser:

- Alle uteblitte vernresponser er registrert i FASIT
- Alle vernresponser som ikke er registrert i FASIT er korrekte vernresponser
- Alle vernresponser fra vern som skal klarere feil (kortslutninger eller jordfeil) er enten korrekte eller uteblitte
- Alle FASIT-rapporter som beskriver driftsforstyrrelser på 420 kV-kraftledninger inneholder én kortslutning eller jordfeil.
- Alle kortslutninger og jordfeil på 420 kV-kraftledninger skal klareres av fire distansevern (altså dublerede vern)

Antall korrekte vernresponser ble da estimert ved å kalkulere totalt antall vernresponser basert på antall kortslutninger, og så trekke fra antall registrerte uteblitte vernresponser, som illustrert i Formel 7.

Formel 7 - Estimering av korrekte vernresponser [26]

$$N_{c,estimert} = N_{kortslutninger} \cdot 4^4 - N_f$$

3.3.1 Tillegg av forfatter om estimering av korrekte vernresponser

Metodikken til [26] bygger på et par antakelser som er sett nærmere på i denne oppgaven.

3.3.1.1 Gjennomgang av antakelser

Her følger en gjennomgang av de fire antakelsene som [26] bruker som grunnlag for metodikken for estimering av korrekte vernresponser:

"Alle uteblitte vernresponser er registrert i FASIT": Oppdagelser i denne oppgaven gir grunn til usikkerhet rundt hvorvidt alle uteblitte vernresponser er registrert. Kapittel "2.6.4.2 Antatt sannsynlighet for registrerte vernresponser" vurderer at det er noe lavere sannsynlighet for fullstendig registrering av uteblitte forsinkede vernresponser. Dermed er det middels hold i antakelsen om at alle uteblitte vernresponser er registrert i FASIT.

"Alle vernresponser som ikke er registrert i FASIT er korrekte vernresponser": Kapittel "2.6.4.2 Antatt sannsynlighet for registrerte vernresponser" er konkluderer med at korrekte vernresponser i liten grad er fullstendig registrert. Samme kapittel konkluderer også med at det er noen grad av sannsynlighet for uregistrerte uteblitte forsinkede og uønskede uselektive 3-polte vernresponser. Dermed er det middels hold i antakelsen om at alle vernresponser som ikke er registrert i FASIT er korrekte.

"Alle vernresponser fra vern som skal klarere feil (kortslutninger eller jordfeil) er enten korrekte eller uteblitte": Dette er ikke riktig, ettersom det kan være uønskede uselektive 3-polte vernresponser.

"Alle FASIT-rapporter som beskriver driftsforstyrrelser på 420 kV-kraftledninger inneholder én kortslutning eller jordfeil": Denne antakelsen er ikke riktig, ettersom FASIT-rapportene ofte er samlereporter som beskriver flere feil [4].

⁴ Tallet fire kommer av at det antas dublerede distansevern på kraftledningen med feil (kortslutning eller jordfeil). Totalt blir det dermed fire vern som responderer på feilen.

"Alle kortslutninger og jordfeil på 420 kV-kraftledninger skal klareres av fire distansevern": Denne antakelsen er ikke riktig, ettersom det kan være vern av andre typer enn distansevern på 420 kV-kraftledninger.

3.3.1.2 Nytt forslag til estimering av korrekte vernresponser

Basert på at denne oppgaven vurderer antakelsene i [26] til ikke å medføre full riktighet, er metodikken modifisert i denne oppgaven. Senere i denne masteroppgaven foreslås metoder for å avdekke uregistrerte uteblitte vernresponser. Metodikken for å estimere korrekte vernresponser baserer seg dermed på at antallet uteblitte vernresponser er korrekt, evt estimert fra andre metoder. Antakelsene lyder da:

- Alle uteblitte vernresponser er registrert i FASIT eller oppdaget med andre metoder
- Alle vernresponser som ikke er registrert i FASIT eller oppdaget med andre metoder er korrekte vernresponser
- Alle vernresponser fra vern som skal klarere feil (kortslutninger eller jordfeil) er enten korrekte, uteblitte eller uønskede uselektive 3-polte vernresponser.
- FASIT-rapporter som beskriver driftsforstyrrelser på 420 kV-kraftledninger inneholder et antall kortslutning eller jordfeil, som kan finnes ved å summere feilnummer som beskriver kortslutninger på kraftledninger, antall gjentakende feil og antall mislykkede GIK-er
- Noen kortslutninger og jordfeil på 420 kV-kraftledninger skal klareres av distansevern (uvisst om det er dublerede distansevern)

3.3.1.2.1 Antall kortslutninger

Antall kortslutninger, $N_{\text{kortslutninger}}$, blir funnet ved å summere antall feilnummer som beskriver kortslutninger på kraftledning, $N_{\text{feilnummer kraftledninger}}$, med antall gjentakende feil, $N_{\text{gjentakende feil}}$, og med antall mislykkede GIK-er, $N_{\text{mislykkede GIK}}$, som vist i Formel 8.

Formel 8 - Forslag til beregning av antall feil (kortslutninger og jordfeil) en FASIT-rapport beskriver

$$N_{\text{kortslutninger}} = N_{\text{feilnummer kraftledninger}} + N_{\text{gjentakende feil}} + N_{\text{mislykkede GIK}}$$

$N_{\text{feilnummer kraftledninger}}$: Når en FASIT-rapport beskriver flere anleggsdeler med feil blir det registrert med flere feilnummer. Hvert feilnummer har egne registreringer for "anleggsdel med feil". Når et feilnummer har "anleggsdel med feil: Kraftledning" antas det at det er snakk om en feil på kraftledningen (kortslutning eller jordfeil).

$N_{\text{gjentakende feil}}$: Antall gjentakende feil registrert i FASIT. Her må det trekkes fra antall registreringer, ettersom det totale antallet gjentakende feil blir registrert i denne kolonnen⁵.

$N_{\text{mislykkede GIK}}$: Om et feilnummer beskriver feil med mislykkede GIK så skal det være registrert i FASIT. I FASIT er det ikke registrert antall mislykkede GIK, bare hvorvidt GIK var vellykket eller mislykket. Antallet her blir altså antall feilnummer som hadde registrert "Mislykket GIK".

3.3.1.2.2 Antall distansevern

For å finne antall distansevern, $N_{\text{distansevern}}$, er det nødvendig å se på hver involverte kraftlednings releplan. Her er det oversikter over antall aktuelle vern. Antall distansevern blir dermed ganget med antall kortslutninger på aktuell kraftledning for å komme fram til totalt antall vernresponser. Dette gjøres for hver kraftledning, kalt kraftledning i , for totalt antall kraftledninger, K , som vist i Formel 9 Formel 8.

⁵ Med unntak av en registrering av "1" gjentakende feil. Her ble det tolket til "2" gjentakende feil.

$$N_{tot\ vernrespons} = \sum_{i=1}^K N_{kortslutninger,i} \cdot N_{distansevern,i}$$

3.3.1.2.3 Endelig uttrykk for estimering av korrekte vernresponser

Den nye formuleringen av formelen for estimert antall korrekte vernresponser er vist i Formel 10.

$$N_{c,estimert} = N_{tot\ vernrespons} - N_f - N_{uu3}$$

3.4 Feilfrekvens for effektbryterresponser

Feilfrekvensen som presenteres i [17] beregnes per 420 kV-effektbryter, ved hjelp av Formel 11:

$$F = \frac{N_u}{N_b}$$

3.4.1 Opptelling av variabler

Statnett beregner feilfrekvens ved følgende opptelling av effektbryterresponser:

- N_u er antall ukorrekte effektbryterresponser.
- N_b er totalt antall 420kV-effektbrytere i det norske kraftsystemet.

3.4.2 Tillegg av forfatter om opptelling av variabler

Feilfrekvensen til Statnett viser antall feil per 420 kV-effektbryter. I denne oppgaven ønskes det å se på antall feil per registrerte effektbryterrespons, i de tilfeller effektbryterresponsen har fått utløsemelding av et distansevern. Opptellingen blir derfor noe annerledes:

- N_u er antall ukorrekte effektbryterresponser.
- N_b er antall effektbryterresponser.

Antall effektbryterresponser er summen av de korrekte og ukorrekte effektbryterresponsene, som vist i Formel 12.

$$N_b = N_c + N_u$$

3.4.2 Estimering av korrekte effektbryterresponser

Korrekte effektbryterresponser blir ofte ikke registrert i FASIT, som nevnt i kapittel "2.8.4.1 Korrekte effektbryterresponser i FASIT". Denne oppgaven ønsker å se på feilfrekvensen til effektbryterresponser, og dermed er det behov for å estimere antall korrekte effektbryterresponser. Det vil bli brukt en tilnærmet lik metode som det blir brukt for å estimere vernresponser. Antakelser:

- Alle ukorrekte effektbryterresponser er registrert i FASIT eller oppdaget med andre metoder
- Alle effektbryterresponser som ikke er registrert i FASIT eller oppdaget med andre metoder er korrekte vernresponser
- Alle effektbryterresponser fra effektbrytere som skal bryte kortslutningsstrømmer er enten korrekte eller ukorrekte effektbryterresponser.
- FASIT-rapporter som beskriver driftsforstyrrelser på 420 kV-kraftledninger inneholder et antall kortslutning eller jordfeil, som kan finnes ved å summere feilnummer som beskriver kortslutninger på kraftledninger, antall gjentakende feil og antall mislykkede GIK-er
- Alle kortslutninger og jordfeil på 420 kV-kraftledninger skal klareres av effektbrytere (uvisst om det er doble samleskinner)

3.4.2.1 Antall effektbrytere

For å finne antall effektbrytere, $N_{effektbrytere}$, er det nødvendig å se på bryterstillingene i tidsfølgemeldelisen for hver involverte stasjon. Her er det oversikter over hvor mange brytere som var koblet i før feil. I de tilfeller det ikke er tilgjengelig bryterstillinger i tidsfølgemeldelisen, kan oppsett på stasjon (antall effektbrytere tilkoblet kraftledningen) finnes i IFS. Mer om tidsfølgemeldelisen og IFS kan leses i kapittel "4.1 Datakilder for feilanalyse". Antall kortslutninger, $N_{kortslutninger}$, blir funnet på samme måte som i kapittel "3.3.1.2.1 Antall kortslutninger". Antall effektbrytere blir dermed ganget med antall kortslutninger på aktuell kraftledning for å komme fram til totalt antall effektbryterresponser. Dette gjøres for hver kraftledning, kalt kraftledning i , for totalt antall kraftledninger, K , som vist i Formel 13 Formel 8.

Formel 13 - Forslag til beregning av totalt antall effektbryterresponser

$$N_{tot\ effektbryterrespons} = \sum_{i=1}^K N_{kortslutninger,i} \cdot N_{effektbryter,i}$$

3.4.2.2 Endelig uttrykk for estimering av korrekte effektbryterresponser

Formuleringen for estimert antall korrekte effektbryterresponser er vist i Formel 14 Formel 10 Formel 10.

Formel 14 – Nytt forslag på metode for å estimere antall korrekte effektbryterresponser

$$N_{c,estimert} = N_{tot\ effektbryterrespons} - N_u$$

4 Dataunderlag om driftsforstyrrelser og registrering av vern- og effektbryterresponser

I denne masteroppgaven er det i hovedsak sett på to typer datagrunnlag: FASIT-rapporter og feilskriveropptak. Det er hentet informasjon også fra andre kilder, men kun for å bistå analyseringen av nevnte datagrunnlag.

Omfanget er begrenset til det som var tilgjengelig for distansevern på 420 kV-kraftledninger for perioden 2009-2014. I dette kapittelet presenteres datagrunnlaget basert på definisjonene som er lagt til grunn for vurdering av vern- og effektbryterresponser, sammen med viktige aspekt ved datagrunnlaget til for å kunne bruke det til beregningsmetodene.

4.1 Datakilder for feilanalyse

Ved feilanalyse av en driftsforstyrrelse hentes informasjon fra flere kilder. De viktigste kildene for analyse av vern- og effektbryterresponser er:

- **Feilskrivere**
Registrerer endringer i strøm- og spenningsmålinger, og tar opp signaler i forbindelse med driftsforstyrrelser. Signalene er:
 - **Digitale:** fra strøm- og spenningstransformator.
 - **Binære:** fra vernet, som vernstart og utløsemeldinger til effektbryter.
- **Tidsfølgemeldelisten**
Registrerer tidsstempling for effektbrytere (inn, ut, mellomstilling) og vern.
- **Releplaner**
Inneholder oppsettet for hvert enkelt vern, med alt av terskelverdier og tidsforsinkelser, og hvordan vernet er tilknyttet kraftenheten og andre vern.
- **IFS**
IFS er Statnetts database med blant annet informasjon om hva hver enkelt stasjon har av anleggsdeler. Her finnes det informasjon om hva kraftledningene er koblet til i den enkelte stasjon, som antall vern og effektbrytere.

4.2 Datagrunnlag fra FASIT-rapporter

Datagrunnlaget tar utgangspunkt i driftsforstyrrelser registrert i FASIT for 420 kV-kraftledninger for perioden 2009-2014. Målet med oppgaven er som nevnt å komme fram til metoder for å etablere et så komplett som mulig datasett over vern- og effektbryterresponser, og da er det nødvendig å analysere utgangspunktet som allerede er registrert i FASIT. Statnett har supplert forfatteren med to Excel-ark:

- Alle feil på kraftledningsanlegg_420 kV_2009-2014
- Alle vernresponser_420 kV_2009-2014: Dette arket har et litt misvisende navn, da det inneholder både vern- og effektbryterresponser.

For å komme fram til antall relevante rapporter filtreres begge Excel-arkene slik at "anleggsdel med feil" er enten er kraftledning, vern eller effektbryter, tillegg til at "vernstype/utløsende vern" er distansevern eller tomme felt. Resultatet er oppsummert i Tabell 6.

Tabell 6 - Antall FASIT-rapporter i Excel-ark supplert fra Statnett

År	"Alle feil på kraftledningsanlegg ..."	"Alle vernresponser ..."
2009	18	10
2010	10	7
2011	41	37
2012	13	10
2013	28	19
2014	61	12
Total	171	95

Det er tydelig at det er flere rapporter registrert i "Alle feil ..."-arket (totalt 171 FASIT-rapporter) enn i "Alle vernresponser ..."-arket (totalt 95 FASIT-rapporter). Dette kan skyldes at mange FASIT-rapporter ikke har registrert vernresponser, som forklart i kapittel "2.6.4.1 Korrekte vernresponser i FASIT".

4.2.1 Antall kortslutninger registrert i FASIT

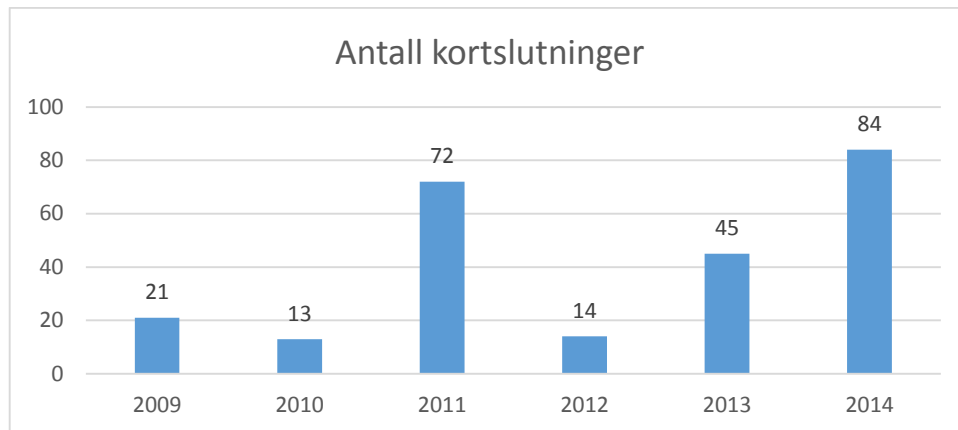
Ved å sammenligne FASIT-rapportene i "Alle feil ..."-arket og "Alle vernresponser ..."-arket er det forsøkt å komme fram til antall kortslutninger på 420 kV-kraftledninger. Her er Excel-arkene er filtrert kun for "kraftledning" på "Anleggsdel med feil". Antall kortslutninger er kommet fram til ved beregningsmåten illustrert i kapittel "3.3.1.2.1 Antall kortslutninger". Resultatet er oversikten i Tabell 7.

Tabell 7 - Totalt datagrunnlag i FASIT for kortslutninger

År	FASIT-rapporter	Feilnummer	Mislykket GIK	Gjentakene feil	Antall kortslutninger
2009	17	17	2	3 - 1 = 2	21
2010	10	11	1	2 - 1 = 1	13
2011	44	46	6	35 - 15 = 20	72
2012	12	12	1	2 - 1 = 1	14
2013	29	29	1	19 - 4 = 15	45
2014	61	62	3	30 - 11 = 19	84
TOTAL	173	177	14	91 - 33 = 58	249

"FASIT-rapporter"-kolonnen viser andre tall enn resultatene i Tabell 6. Årsaken til dette er at det ble funnet feil (kortslutninger og jordfeil) i "Alle vernresponser ..."-arket som ikke var beskrevet i "Alle feil ..."-arket. Etter nærmere undersøkelser ble det kommet fram til at dette blant annet skyldes tilfeller hvor det er driftsforstyrrelser på kraftledninger som går til Sverige. I disse tilfellene gir ikke FASIT mulighet for å registrere "anleggsdel med feil", og dermed dukket ikke disse kortslutningene opp i "Alle feil ..."-arket. Siden koblingsforløpet likevel registreres dukket de opp i "Alle vernresponser ..."-arket.

Tabell 7 viser at det er totalt 173 FASIT-rapporter som beskriver feil (kortslutninger og jordfeil) på kraftledninger, og at driftsforstyrrelsene blant annet innebærer totalt 249 kortslutninger.



Figur 25 - Antall kortslutninger på 420 kV-kraftledninger registrert i FASIT per år

Som vist i Tabell 7 og Figur 25 har årene 2011, 2013 og 2014 flest kortslutninger. Årsaken til dette er ifølge [17] stormene Dagmar (2011), Hilde/Ivar (2013) og Jorun/Kyrre (2014).

4.2.2 Vern- og effektbryterresponses registrert i FASIT

I de 95 FASIT-rapportene fra "Alle vernresponses ..." -arket er det registrert vern- og effektbryterresponses. Det er registreringer som disse som brukes som grunnlaget for beregning av pålitelighetsindekser for vern og feilfrekvens for effektbrytere i [17]. I denne oppgaven vil det bli kalkulert pålitelighetsindekser for vern og feilfrekvens for effektbrytere basert på datagrunnlaget registret i FASIT og datagrunnlaget som oppgaven kommer frem til ved andre metoder. For å kunne sammenligne senere funn kalkuleres først pålitelighetsindekser for vern og feilfrekvens for effektbrytere med registreringene i FASIT.

Referanse [26] brukte tre tilnærminger for å kalkulere pålitelighetsindeksene for vern, nemlig "Rådata"-, "Tolkning"- og "Estimert"-metoden. "Estimert"-metoden er forklart i kapittel "3.3 Estimering av korrekte vernresponses".

"Rådata"-metoden går ut på å filtrere vernresponsene registrert i FASIT etter "Anleggsdel med feil: Kraftledning/vern" og "Verntype: Distansevern".

"Tolkning"-metoden går ut på å supplere resultatet fra "Rådata"-metoden ved å lese gjennom kommentarfeltet for vernresponses som ikke er karakterisert, for å tolke hva som er riktig karakterisering.

Metodene bygger på hverandre, hvor "Rådata"-metoden legger grunnlaget fra FASIT, "Tolkning"-metoden supplerer grunnlaget fra FASIT og "Estimering"-metoden bidrar med de mange korrekte vern- og effektbryterresponsene som ifølge [15] med vilje ikke registreres.

I denne oppgaven vil samme metoder bli brukt, bortsett fra at "Estimering"-metoden vil være forfatterens egen variant, som forklart i kapittel "3.3.1.2 Nytt forslag til estimering av korrekte vernresponses". Metodene brukes for å finne responsene for både vern og effektbrytere.

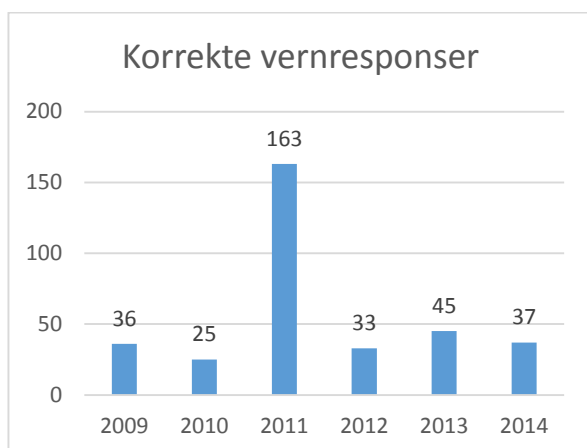
4.2.2.1 "Rådata"-metoden

Tabell 8 viser fordelingen av antall vern- og effektbryterresponsers per år.

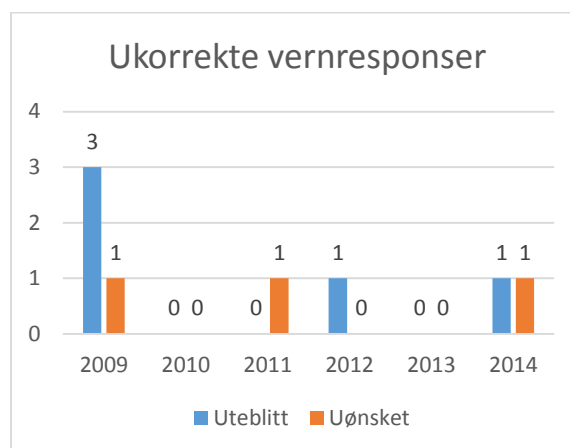
Tabell 8 - Resultat FASIT vern- og effektbryterresponsers metode 1: Rådata

År	Antall vernresponsers			Antall effektbryterresponsers	
	Korrekt	Uteblitt	Uønsket	Korrekt	Ukorrekt
2009	36	3	1	40	0
2010	25	0	0	25	0
2011	163	0	1	161	0
2012	33	1	0	33	0
2013	45	0	0	46	0
2014	37	1	1	38	0
TOTAL	339	5	3	343	0

Det kan være verdt å merke seg at kolonnene i Tabell 8 for korrekte vern- og effektbryterresponsers er tilnærmet like. Som forklart i kapitlene "2.6.4 Registrering av vernresponsers i FASIT" og "2.8.4 Registrering av effektbryterresponsers i FASIT" er dette fordi vern- og effektbryterresponsers blir registrert under koblingsforløp i FASIT, hvor hver bryter som kobler inn eller ut blir tilegnet responsers for både vern(-ene) og bryteren. Det er ikke registrert noen ukorrekte effektbryterresponsers i hele "Rådata"-grunnlaget.



Figur 26 - Korrekte vernresponsers FASIT "Rådata"-metoden



Figur 27 - Ukorrekte vernresponsers FASIT "Rådata"-metoden

Figur 26 og Figur 27 viser korrekte og ukorrekte vernresponsers fordelt på år. Som forventet viser figurene at det er vesentlig færre ukorrekte enn korrekte vernresponsers. 2009 har en del flere uteblitte (en utløsemelding og to forsinkede) vernresponsers, alle forbundet med samme kortslutning. Resten av de uteblitte vernresponsersene er av typen uteblitt utløsemelding vernresponsers. Av de tre uønskede vernresponsersene er en av type uønsket uselektiv 3-polt vernresponsers, og to av type uønsket uselektiv vilkårlig vernresponsers.

4.2.2.2 "Tolkning"-metoden

Uklare/tomme registreringer på vern- og effektbryterresponsers i "Alle vernresponsers ..."-arket ble vurdert basert på kommentarfelt. Rapportnummeret på FASIT-rapportene med uklare/tomme registreringer samt vurderingene er listet i "A - Vurderinger av vernresponsers for "Tolkning" og "Vedlegg B - Vurderinger av effektbryterresponsers for "Tolkning". Tabell 9 oppsummerer funnene fra "Tolkning"-metoden.

Tabell 9 – Funn av vern- og effektbryterresponsers ved "Tolkning"-metoden

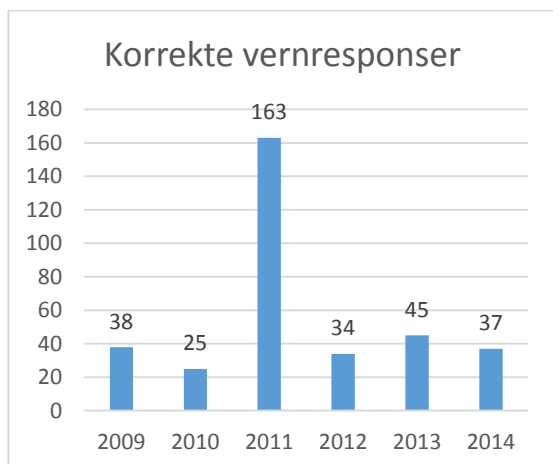
År	Antall vernresponsers			Antall effektbryterresponsers	
	Korrekt	Uteblitt	Uønsket	Korrekt	Ukorrekt
2009	2	0	2	4	0
2010	0	0	0	0	0
2011	0	0	0	3	0
2012	1	0	0	2	0
2013	0	0	0	0	0
2014	0	0	0	0	0
TOTAL	3	0	2	9	0

Det ble ikke oppdaget noen ukorrekte effektbryterresponsers i denne perioden. De tolkede verdiene er så summert med dem fra Rådata-metoden (Tabell 8 og Tabell 9 summeres). Det summerte resultatet er vist i Tabell 10, Figur 28, Figur 29 og Figur 30.

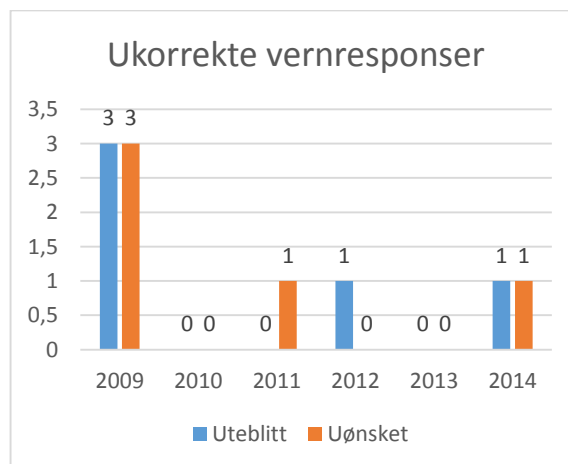
Tabell 10 - Resultat FASIT vern- og effektbryterresponsers metode 2: Tolkning

År	Antall vernresponsers			Antall effektbryterresponsers	
	Korrekt	Uteblitt	Uønsket	Korrekt	Ukorrekt
2009	38	3	3	44	0
2010	25	0	0	25	0
2011	163	0	1	164	0
2012	34	1	0	35	0
2013	45	0	0	46	0
2014	37	1	1	38	0
TOTAL	342	5	5	352	0

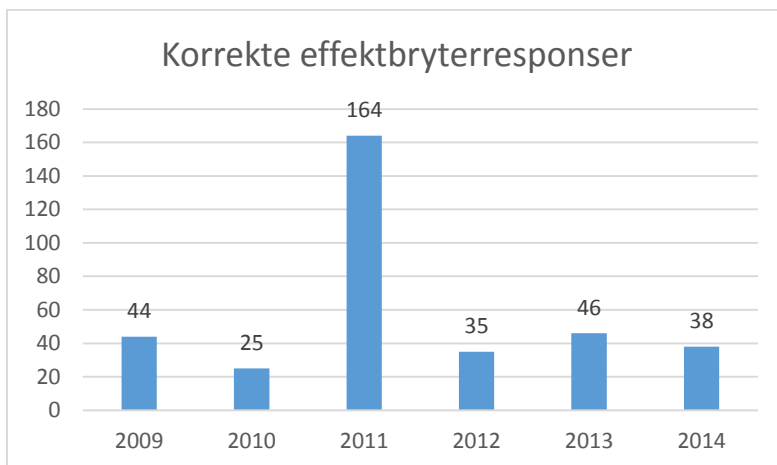
Figur 28 og Figur 29 viser korrekte og ukorrekte vernresponsers fordelt på år. Figur 28 viser at de tre korrekte vernresponsers som ble funnet i "Tolkning"-metoden øker vernresponsers i 2009 med to korrekte og i 2012 med én korrekt. Figur 29 viser at de to uønskede responsers som ble funnet i "Tolkning"-metoden øker de uønskede vernresponsers i 2009. Det framgår av kommentarfeltet at begge disse var uønskede uselektive 3-polte vernresponsers.



Figur 28 - Korrekte vernresponsers FASIT "Tolkning"-metoden



Figur 29 - Ukorrekte vernresponsers FASIT "Tolkning"-metoden



Figur 30 - Korrekte effektbryterresponser FASIT "Tolkning"-metoden

Figur 30 viser korrekte effektbryterresponser fordelt på år. Som forventet er det tydelig at antall korrekte vern- og effektbryterresponser er ganske likt. Korrekte effektbryterresponser som ble funnet i "Tolkning"-metoden øker effektbryterresponsene i 2009, 2011 og 2012.

4.2.2.3 "Estimert"-metoden

Ved å bruke metoden kommet fram til i kapitlene "3.3.1.2 Nytt forslag til estimering av korrekte vernresponser" og "3.4.2 Estimering av korrekte effektbryterresponser" estimeres korrekte vern- og effektbryterresponser.

Antall kortslutninger er det allerede kommet fram til i kapittel "4.2.1 Antall kortslutninger registrert i FASIT".

$$\begin{aligned}
 N_{\text{kortslutninger}} &= N_{\text{feilnummer kraftledninger}} + N_{\text{gjentakende feil}} + N_{\text{mislykkede GIK}} \\
 &= 177 + 14 + 58 = \underline{249}
 \end{aligned}$$

Ved å gå gjennom releplaner, tidsfølgemeldelisten og IFS, og bruke Formel 9 og Formel 13 som beskrevet i kapitlene "3.3.1.2.2 Antall distansevern" og "3.4.2.1 Antall effektbrytere", er det kommet fram til totalt antall vern- og effektbryterresponser. Resulterende vern- og effektbryterresponser er listet i Tabell 11.

Tabell 11 – Totalt antall vern- og effektbryterresponser basert på registrerte kortslutninger i FASIT

År	Totalt antall vernresponser	Totalt antall effektbryterresponser
2009	84	79
2010	50	42
2011	268	260
2012	54	54
2013	174	173
2014	338	311
Total	968	919

Antall korrekte vernresponser beregnes ved å trekke fra uteblitte og uønskede uselektive 3-polte vernresponser og ukorrekte effektbryterresponser, som forklart i kapitlene "3.3.1.2.3 Endelig uttrykk for estimering av korrekte vernresponser" og "3.4.2.2 Endelig uttrykk for estimering av korrekte effektbryterresponser":

$$N_{c,estimert,vern} = 968 - 5 - 2 = \underline{961}$$

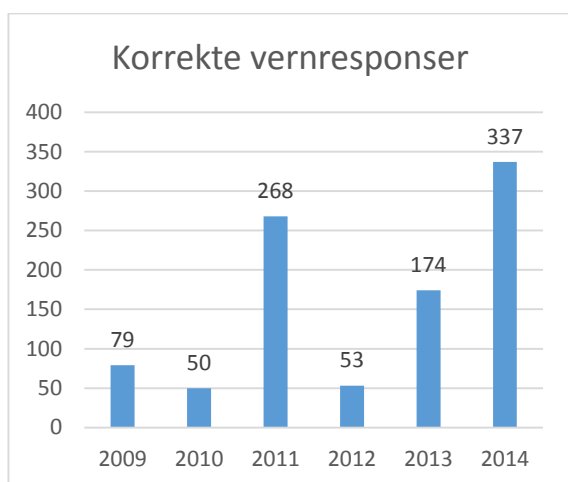
$$N_{c,estimert,bryter} = 919 - 0 = \underline{919}$$

Det beregnes korrekte vern- og effektbryterresponser for alle år, basert på tallene fra Figur 28, Figur 29, Figur 30, og Tabell 11. Tabell 12 oppsummerer resultatet fra "Estimert"-metoden.

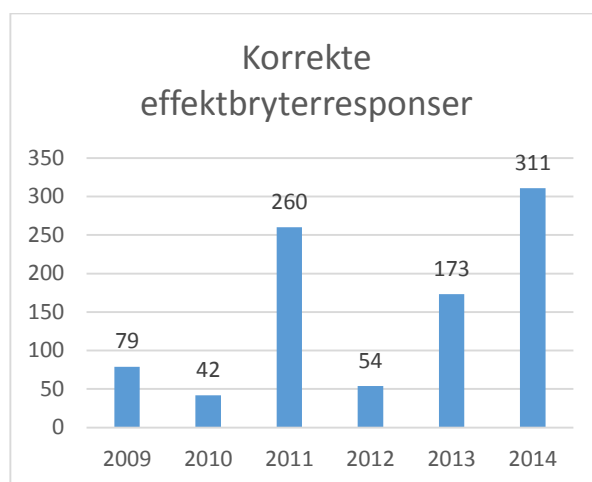
Tabell 12 - Resultat FASIT vern- og effektbryterresponser metode 3: Estimering

År	Antall vernresponser			Antall effektbryterresponser	
	Korrekt	Uteblitt	Uønsket	Korrekt	Ukorrekt
2009	79	3	3	79	0
2010	50	0	0	42	0
2011	268	0	1	260	0
2012	53	1	0	54	0
2013	174	0	0	173	0
2014	337	1	1	311	0
TOTAL	961	5	5	919	0

Som forventet blir antall korrekte vern- og effektbryterresponser er mye større enn ved "Rådata"- og "Tolkning"-metodene. Kolonnene for korrekte vern- og effektbryterresponser er ganske like også her.



Figur 31 - Korrekte vernresponser FASIT "Estimert"-metoden



Figur 32 - Korrekte effektbryterresponser FASIT "Estimert"-metoden

Figur 31 og Figur 32 viser korrekte vern- og effektbryterresponser fordelt på år. Det er verdt å merke seg at denne naturlig nok er mer lik formen til Figur 25, som beskriver fordelingen av kortslutninger per år, siden "Estimert"-metoden baserer korrekte responser på kortslutningene. Det er ikke presentert figur for ukorrekte vernresponser siden det ville vært helt lik Figur 29.

4.2.2.4 Datagrunnlag for videre sammenligning

De tre metodene for å etablere data, "Rådata"-, "Tolkning"- og "Estimering"-metoden, gir ulike datagrunnlag. I denne oppgaven velges det å gå videre med det endelige resultatet fra "Estimering"-metoden. Dette er fordi det baserer seg på registreringer i FASIT og tar høyde for det [15] hevder er vanlig praksis i Statnett for registrering av korrekte vernresponser. Det er tydelig at det er en stor andel uregistrerte responser, basert på antall vern- og effektbryterresponser i Tabell 11, sammenlignet med de registrerte responsene fra "Rådata"- eller "Tolkning"-metoden. "Estimert"-metoden er den eneste metoden som tar høyde for disse uregistrerte vern- og effektbryterresponsene.

4.2.3 Manuell vurdering av FASIT-rapporter

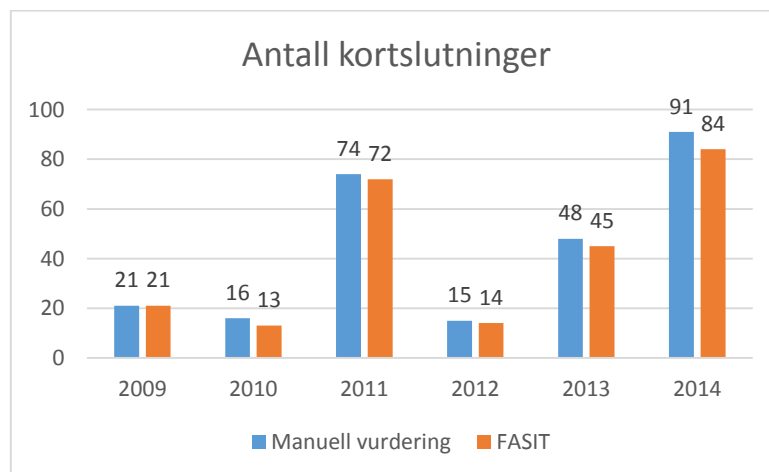
En del av driftsforstyrrelsene i FASIT er observert registrert dobbelt, mest sannsynligvis fordi vernresponsene kobles til bryterresponsene. Med utgangspunkt i denne kunnskapen ble det gjennomført en manuell vurdering av alle FASIT-rapportene, for å dobbeltsjekke resultatene i kapittel "4.2 Datagrunnlag fra FASIT-rapporter". Ved å lese alle 173 rapporter er det kommet fram til antall kortslutninger på 420-kV kraftledninger.

Vurderinger som gav andre utfall enn dem registrert i FASIT er oppsummert i "Vedlegg C - Manuell vurdering av FASIT-rapporter".

Tabell 13 - Resultat manuell vurdering av FASIT

År	Antall FASIT-rapporter	Antall kortslutninger
2009	17	21
2010	10	16
2011	44	74
2012	12	15
2013	29	48
2014	61	91
TOTAL	173	265

Tabell 13 oppsummerer resultatet av den manuelle vurderingen. Her er det verdt å merkes seg at antall vern- og effektbryterresponses avviker mer enn tidligere, spesielt i 2014. Årsaken til dette er som nevnt at bryterstillinger i tidsfølgemeldelisten kun var tilgjengelig i 2014, og det dermed kom fram mange bryterkoblinger hvor kun en av to samleskinner var tilkoblet. Forskjeller i tidligere år skyldes at det ble avdekket en del kraftledninger som kun er tilkoblet en samleskinne.



Figur 33 - Antall kortslutninger funnet ved manuell vurdering av FASIT-rapporter, sammenlignet med dem registrert i FASIT

Figur 33 sammenligner antall kortslutninger i kapittelet "4.2 Datagrunnlag fra FASIT-rapporter", vist i Figur 25, og de som er funnet ved manuell vurdering. Forskjellene i antall kortslutninger mellom utgangspunktet i FASIT og den manuelle vurderingen skyldes flere aspekt:

- Informasjon i FASIT er noen steder ukorrekt registrert:
 - "GIK respons": Her er både informasjon ukorrekt registrert, og ikke registrert.
 - "Feilnummer": Kraftledning omtalt i kommentarfelt har ikke fått eget feilnummer.
 - "Antall gjentakende feil": Her er både informasjon ukorrekt registrert, og ikke registrert.

- "Anleggsdel med feil: Kraftledning". Her er både informasjon ukorrekt registrert, og ikke registrert.
- "Verntype: Distanse": Her er både informasjon ukorrekt registrert, og ikke registrert.
- Mislykket prøveinnkobling: Dette er det ikke et eget feil for i FASIT.
- Flere mislykkede GIK-er, i forbindelse med flere gjentakende feil. Det er kun mulig å registrere at "GIK-responsen" er mislykket GIK, og ikke antall mislykkede GIK-er.
- To rapporter som omhandler de samme kortslutningene.

Forklaringer på alle forskjellene er i "Vedlegg C - Manuell vurdering av FASIT-rapporter".

4.2.3.1 Manuell vurdering av vern- og effektbryterresponsen registrert i FASIT

Det ble observert at noen vern- og effektbryterresponsene i FASIT er blitt registrert dobbelt. Dette er fordi alle bryterkoblinger blir registrert i FASIT, og vernresponsene blir vurdert opp mot hver effektbryter. Antas doble vern og tilkobling til to samleskinner for en ende av en kraftledning, blir dermed vern 1 og 2 registrert for både bryter A og B. Dermed blir det registrert fire vernresponsen og fire effektbryterresponsen, selv om det egentlig kun er snakk om to vernresponsen og to effektbryterresponsen.

Dette var grunnen til at alle vern- og effektbryterresponsen ble gjennomgått manuelt for å sikre at ingen responsen var registrert dobbelt. Etter gjennomgangen var en del vernresponsen fjernet fra utvalget, av flere grunner:

- En del vernresponsen er registrert dobbelt.
- Noen vernresponsen er registrert feil under systemspenning: 420-kV.
- Noen vernresponsen er registrert feil under utløsende vern: Distanse.

Vurderinger som gav andre utfall enn dem registrert i Tabell 8 er oppsummert i vedlegg "Vedlegg D - Manuell vurdering av vern- og effektbryterresponsen".

Etter gjennomgangen ble det benyttet de samme tre metodene som i "4.2 Datagrunnlag fra FASIT-rapporter" for å komme fram til fordelingen mellom korrekte og ukorrekte responsen. Det er nødvendig å bruke alle tre metodene, ettersom de bygger på hverandre, for å komme fram til endelig resultat fra "Estimering"-metoden.

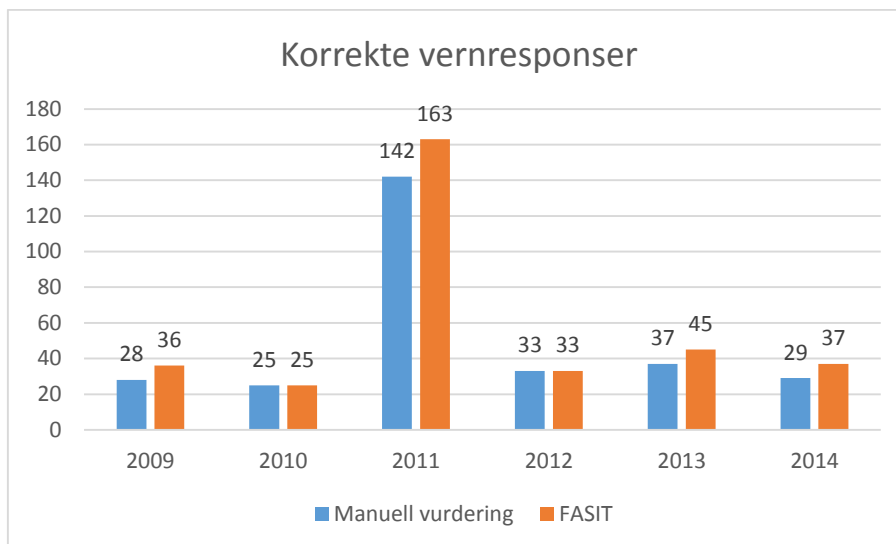
4.2.3.1.1 "Rådata"-metoden

Metoden er beskrevet i kapittel "4.2.2 Vern- og effektbryterresponsen registrert i FASIT".

Tabell 14 - Resultat manuell vurdering FASIT vern- og effektbryterresponsen metode 1: Rådata

År	Antall vernresponsen			Antall effektbryterresponsen	
	Korrekt	Uteblitt	Uønsket	Korrekt	Ukorrekt
2009	28	3	1	32	0
2010	25	0	0	25	0
2011	142	0	1	140	0
2012	33	1	0	33	0
2013	37	0	0	37	0
2014	29	1	1	31	0
TOTAL	294	5	3	298	0

Tabell 14 oppsummerer resultatene av "Rådata"-metoden. Også her er kolonnene for korrekte vern- og effektbryterresponsen relativt like. Det er heller ikke oppdaget noen ukorrekte effektbryterresponsen av den manuelle vurderingen (noe som betyr at det ikke er kommentert noen ukorrekte effektbryterresponsen i FASIT-rapportene).



Figur 34 - Korrekte vernresponser manuell vurdering av FASIT "Rådata"-metoden

Figur 34 sammenligner de korrekte vernresponsene etter manuell vurdering av utgangspunktet oppsummert i Tabell 8. Forskjellene skyldes først og fremst dobbeltregistreringer. Alle vurderinger er forklart i "Vedlegg D - Manuell vurdering av vern- og effektbryterresponser".

4.2.3.1.2 "Tolkning"-metoden

"Tolkning"-metoden skal som beskrevet i "4.2.2 Vern- og effektbryterresponser registrert i FASIT" supplere resultatene fra "Rådata"-metoden med de registreringene som har uklar eller tom karakterisering av vern- og effektbryterresponser. Resultatet fra denne metoden ble akkurat det samme som i kapittelet "4.2.2.2 "Tolkning"-metoden", ettersom ingen responser med behov for tolkning fra ble slettet av manuell vurdering. Dermed er resultatet av "Tolkning"-metoden de samme vern- og effektbryterresponsene som er blitt tolket i Tabell 9. Resultatene fra Tabell 9 er summert med dem fra Tabell 14. Endelig resultat fra "Tolkning"-metoden er presentert i Tabell 15.

Tabell 15 - Resultat manuell vurdering FASIT vern- og effektbryterresponser metode 2: Tolkning

År	Antall vernresponser			Antall effektbryterresponser	
	Korrekt	Uteblitt	Uønsket	Korrekt	Ukorrekt
2009	30	3	3	36	0
2010	25	0	0	23	0
2011	142	0	1	144	0
2012	34	1	0	35	0
2013	37	0	0	41	0
2014	29	1	1	31	0
TOTAL	297	5	5	307	0

4.2.3.1.3 "Estimert"-metoden

Først finnes mulig antall vern- og effektbryterresponser med følgende metode:

- Ved å se på releplaner for alle aktuelle kraftledninger er det kommet fram til **mulig antall vernresponser** fra distansevern ved hver kortslutning.
- Ved å se på antall brytere i IFS og bryterstillinger i tidsfølgemeldelisten er det kommet fram til **mulig antall effektbryterresponser** ved hver kortslutning. OBS! Bryterstillinger i

tidsfølgemeldelisten var kun tilgjengelig for 2014. I øvrige år er det blitt antatt at alle tilgjengelige brytere er koblet til.

Resultatet er presentert i Tabell 16.

Tabell 16 – Totalt antall vern- og effektbryterresponser etter manuell vurdering av FASIT-rapporter

År	Totalt antall vernresponser	Totalt antall effektbryterresponser
2009	84	78
2010	60	46
2011	277	263
2012	55	56
2013	172	176
2014	356	261
TOTAL	1004	880

Andel korrekte vern- og effektbryterresponser estimeres på samme måte som i kapittel "4.2.2.3 "Estimert"-metoden", ved hjelp av Formel 10 og Formel 14.

$$N_{tot\ vernrespons} = \underline{1004}$$

$$N_{tot\ effektbryterrespons} = \underline{880}$$

$$N_{c,estimert,vern} = 1004 - 5 - 2 = \underline{\underline{997}}$$

$$N_{c,estimert,bryter} = 880 - 0 = \underline{\underline{880}}$$

Det samme gjøres for hvert år, og resultatet er oppsummert i Tabell 17.

Tabell 17 - Resultat manuell vurdering FASIT vern- og effektbryterresponser metode 3: Estimering

År	Antall vernresponser			Antall effektbryterresponser	
	Korrekt	Uteblitt	Uønsket	Korrekt	Ukorrekt
2009	79	3	3	78	0
2010	60	0	0	46	0
2011	277	0	1	263	0
2012	54	1	0	56	0
2013	172	0	0	176	0
2014	355	1	1	261	0
TOTAL	997	5	5	880	0

4.3 Datagrunnlag fra feilskriveropptak

Datagrunnlaget som tas utgangspunkt i er driftsforstyrrelser registrert i FASIT for 420 kV-kraftledninger for perioden 2009-2014, som det finnes tilgjengelige feilskriveropptak (med vernmeldinger) av.

Tabell 18 - Datagrunnlag fra feilskriveropptak med antall kortslutninger

År	Ender av kraftledning	Antall kortslutninger
2009	En	3
	To	0
2010	En	3
	To	0
2011	En	11
	To	2
2012	En	4
	To	3
2013	En	13
	To	11
2014	En	45
	To	26
TOTAL		121

Tabell 18 oppsummerer kortslutningene funnet på feilskriveropptak, og om det er opptak av en eller begge ender av aktuell kraftledning. Det finnes altså opptak som helt (begge ender av kraftledningen) eller delvis (en ende av kraftledningen) beskriver 121 kortslutninger. 79 av kortslutningene har feilskriveropptak av kun én ende av kraftledningen, og 42 har opptak fra begge ender.

4.3.1 Antall vernresponser i feilskriveropptak

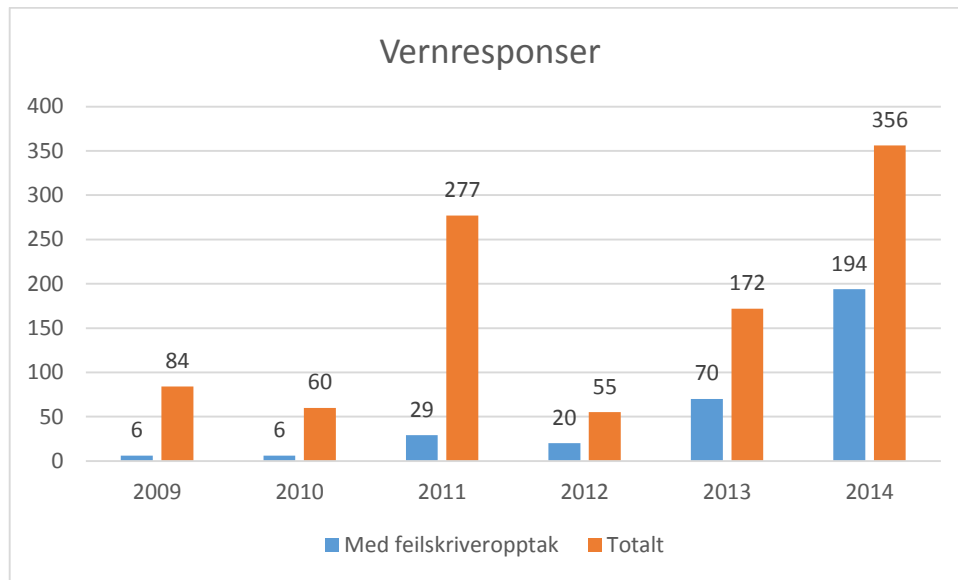
Mulig antall vernresponser er kommet fram til ved å gange antall kortslutninger fra Tabell 18 med to eller fire, basert på om det er feilskriveropptak fra henholdsvis en eller to ender av kraftledningen. Alle feilskriveropptakene beskriver kortslutninger hvor doble distansevern skal respondere, med unntak av ett.

Tabell 19 - Fordeling av vernresponser i tilgjengelige feilskriveropptak

År	Antall vernresponser
2009	6
	0
2010	6
	0
2011	21 ⁶
	8
2012	8
	12
2013	26
	44
2014	90
	104
TOTAL	325

⁶ En av kortslutningene i 2011 skjedde på en kraftledning med enkelt distansevern. Derfor viser dette feilskriveropptaket kun en vernrespons.

Tabell 19 oppsummerer resultatene. Datagrunnlaget fra feilskrivere gir mulighet til å vurdere 325 vernresponser.



Figur 35 - Vernresponser med feilskriveropptak og totalt, fordelt på år.

Figur 35 viser fordelingen per år, sammenlignet med totalt antall vernresponser (fra manuell vurdering av FASIT-rapporter). Med vernresponser er dekningen av feilskriveropptakene en del lavere enn den er på kortslutningene i Figur 38. Årsaken til dette er at 79 av kortslutningene som har feilskriveropptak kun har dekning av en ende av kraftledningen. Dermed blir kun halvparten av disse vernresponsene registrert av feilskriveropptak. Totalt gir feilskriveropptakene grunnlag for å vurdere 32,4 % av alle vernresponsene på 420 kV-kraftledninger 2009-2014.

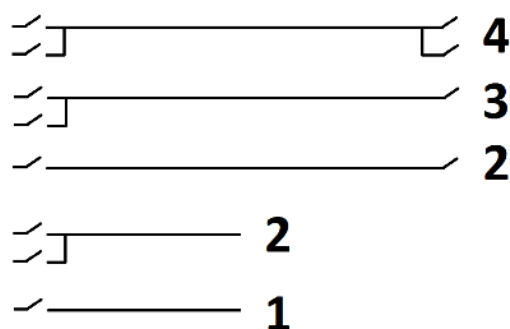
Det er tydelig at feilskriveropptak -dekningen av vernresponser også her er bedre de siste tre årene.

4.3.2 Antall effektbryterresponser i feilskriveropptak

Mulig antall effektbryterresponser vurdert i denne oppgaven er kommet fram til på følgende måte:

- Antall ender av kraftledningen det er feilskriveropptak av.
- Antall samleskinner tilkoblet kraftledningen:
 - I de tilfellene det finnes to samleskinner, men det er uvisst om det er en eller to samleskinner tilkoblet (ingen registreringer i tidsfølgemeldelisten), antas to samleskinner.

Dette gir 5 mulige scenarier med 1, 2, 3, eller 4 effektbryterresponser, som illustrert i Figur 36.

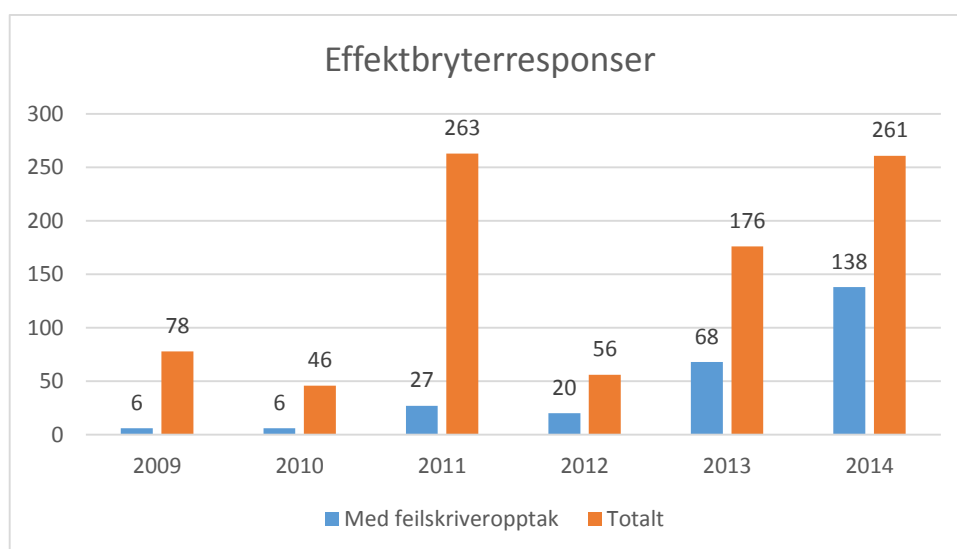


Figur 36 – Fem mulige feilskriveropptak-scenarier med antall brytere

Tabell 20 - Fordeling feilskriveropptak på antall tilkoblede brytere per år

År	Ender av kraftledning	Antall kortslutninger fordelt på antall tilkoblede brytere				Mulig antall effektbryterresponser
		1	2	3	4	
2009	En	0	3	-	-	6
	To	-	0	0	0	0
2010	En	0	3	-	-	6
	To	-	0	0	0	0
2011	En	3	8	-	-	19
	To	-	0	0	2	8
2012	En	0	4	-	-	8
	To	-	0	0	3	12
2013	En	2	11	-	-	24
	To	-	0	0	11	44
2014	En	21	24	-	-	69
	To	-	10	15	1	69
TOTAL		26	63	15	17	265

Tabell 20 viser fordelingen av effektbryterresponser per år, og at feilskriveropptakene gir grunnlag for å vurdere 265 effektbryterresponser.



Figur 37 - Effektbryterresponser med feilskriveropptak og totalt, fordelt på år

Figur 37 viser sammenligningen mellom effektbryterresponsene dekket av feilskriveropptak og totalen (fra manuell vurdering av FASIT-rapporter). Denne figuren er relativt likt Figur 35, og kan forklares på samme måte. Totalt gir feilskriveropptakene grunnlag for å vurdere 30,1 % av alle effektbryterresponsene på 420 kV-kraftledninger 2009-2014.

4.3.3 Oppløsning på feilskriveropptakene av strømsignalene og valg av nivå

Som nevnt Oppløsningen på strømsignalene er avhengig av type feilskriver. De opptakene det er gitt tilgang på i denne oppgaven har en oppløsning på 2-6 kHz. Analysert med metoden illustrert i kapittelet "3.1.1.2 Diskret Bølgekomponenttransformering" vil dette si følgende for oppløsning og nivå:

Tabell 21 - Fordeling av frekvens på forskjellige nivåer avhengig av oppløsning på strømsignalet, til og med nivå 6

Oppløsning [Hz]	Nivå 1		Nivå 2		Nivå 3		Nivå 4		Nivå 5		Nivå 6	
	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav	Høy	Lav
2000	1000	500	500	250	250	125	125	62,5	62,5	31,25	31,25	15,63
3000	1500	750	750	375	375	187,5	187,5	93,75	93,75	46,88	46,88	23,44
4000	2000	1000	1000	500	500	250	250	125	125	62,5	62,5	31,25
5000	2500	1250	1250	625	625	312,5	312,5	156,3	156,3	78,13	78,13	39,06
6000	3000	1500	1500	750	750	375	375	187,5	187,5	93,75	93,75	46,88

[20] har signaler med høyere oppløsning, hvor nivå 1 svarer til en frekvens på 50-100 kHz, og nivå 6 svarer til frekvens 1,5625-3,125 kHz. Nivå 6 i [20] tilsvarer frekvensene i nivå 1 i Tabell 21. Basert på denne bakgrunnen vil det kun benyttes bølgekomponent-transformering på nivå 1 i denne oppgaven.

4.3.4 Valg av bølgekomponent

Som nevnt tidligere er valget av bølgekomponent viktig for å oppdage karakteristikk i strømsignalene. I [27] er det kommet fram til at for raske og raske transiente forstyrrelser er db4 og db6 best, mens for trege transiente forstyrrelser er db8 og db10 bedre. Basert på at [20] bruker db4 og Haar, og Haar-komponenten benyttes i frekvenstilfellene som det er i nivå 1 i Tabell 21, besluttet det å bruke Haar-komponent i denne metoden.

4.4 Datagrunnlag fra FASIT fordelt på feil med og uten feilskriveropptak

For senere å kunne sammenfatte resultatene fra metoder brukt på feilskriveropptakene og øvrig datagrunnlag, er det viktig å vite hvilken andel av de FASIT-registrerte vern- og effektbrytterresponsene som dekkes av feilskriveropptak. Datagrunnlaget fra FASIT gjennomgås med antall FASIT-rapporter, kortslutninger, vern- og effektbrytterrespons, fordelt på feil med og uten feilskriveropptak. Først presenteres antall FASIT-rapporter og kortslutninger.

4.4.1 Fordeling av kortslutninger i FASIT med og uten feilskriveropptak

I FASIT er det oppdaget 173 rapporter om driftsforstyrrelser på 420 kV-kraftledninger fra og med 2009 til og med 2014, som registrert i Tabell 7 fra kapittel "4.2.1 Antall kortslutninger registrert i FASIT". Det er funnet feilskriveropptak som beskriver hele eller deler av 88 av de 173 FASIT-rapportene.

- Av de 133 kortslutningene beskrevet i disse 88 FASIT-rapportene er det funnet feilskriveropptak med vernmeldinger til 121 av dem (inkludert GIK). Feilskriveropptak uten vernmeldinger er ikke inkludert.
- Av disse 121 kortslutningene har 42 feilskriveropptak med vernmeldinger for begge ender av kraftledningen, og 79 opptak fra kun en av endene.

Tabell 22 – Datagrunnlag FASIT-rapporter med feilskriveropptak per år

År	Antall FASIT-rapporter med feilskriveropptak	Ender av kraftledning	Antall kortslutninger
2009	3	En	3
		To	0
2010	2	En	3
		To	0
2011	9	En	11
		To	2
2012	7	En	4
		To	3
2013	15	En	13
		To	11
2014	52	En	45
		To	26
TOTAL	88		121

Antall kortslutninger, fordelt på om det er feilskriveropptak i en eller begge ender av kraftledningen, er oppsummert i

Tabell 22. Som vist i kolonnen "Antall FASIT-rapporter med feilskriveropptak" er det ikke samsvar mellom antall kortslutninger og antall FASIT-rapporter. Dette er fordi en FASIT-rapport kan beskrive flere kortslutninger. Disse 88 FASIT-rapportene beskriver 42 kortslutninger som helt, og 79 kortslutninger som bare delvis, beskrives av feilskriveropptakene.

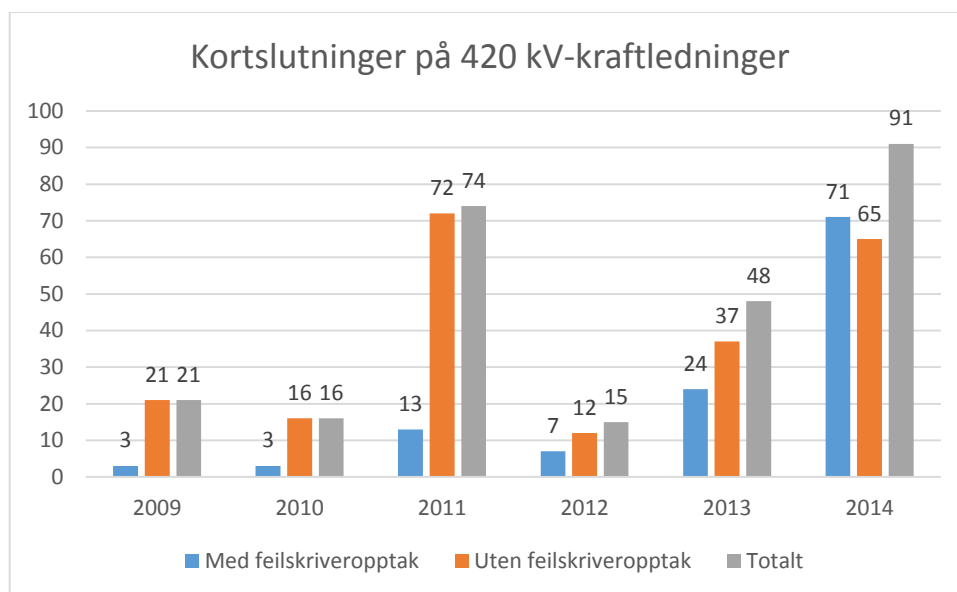
Datagrunnlaget fra FASIT uten feilskriveropptak vil si alle av de 173 FASIT-rapportene som ikke hadde tilhørende feilskriveropptak, og en andel av de 88 som ikke hadde fullstendig dekning fra feilskriveropptak.

Tabell 23 - Datagrunnlag FASIT-rapporter uten feilskriveropptak per år

År	Antall FASIT-rapporter uten feilskriveropptak	Antall kortslutninger
2009	16	21
2010	10	16
2011	43	72
2012	9	12
2013	21	37
2014	42	65
TOTAL	141	223

Tabell 23 oppsummerer manuell gjennomgang av datagrunnlaget fra FASIT uten feilskriveropptak. Total vil dette si at 141 FASIT-rapporter og 223 kortslutninger som helt eller delvis ikke dekkes av feilskriveropptak. Summen av kortslutningene i

Tabell 22 og Tabell 23 blir totalen beskrevet i Tabell 13.



Figur 38 - Kortslutninger beskrevet av FASIT-rapporter, med og uten feilskriveropptak

Figur 38 viser totalt antall kortslutninger på 420 kV-kraftledningen 2009-2014 (fra manuell vurdering av FASIT-rapporter), sammenlignet med dem som har feilskriveropptak (har opptak av hele eller en ende av kraftledningen) og de som ikke har (mangler opptak av hele eller en ende av kraftledningen). Det er tydelig at 2009-2011 har relativt lav dekning av feilskriveropptak, mens 2012-2013 har dekning på omtrent halvparten og 2014 har feilskriveropptak-dekning på større andel enn det er uten.

4.4.2 Registrerte vern- og effektbryterresponsene i FASIT fordelt på feil med og uten feilskriveropptak

Her presenteres vern- og effektbryterresponsene som er registrert i FASIT, fordelt på om det er tilgjengelige feilskriveropptak av dem eller ikke.

Vern- og effektbryterresponsene ble gjennomgått av samme tre metoder som de opprinnelige resultatene fra FASIT. "Rådata"-metoden er oppsummert i Tabell 24 og

Tabell 25.

Tabell 24 - Vern- og effektbryterresponser i FASIT-rapporter som det finnes feilskriveropptak av, "Rådata"-metode

År	Antall vernresponser			Antall effektbryterresponser	
	Korrekt	Uteblitt	Uønsket	Korrekt	Ukorrekt
2009	4	0	0	4	0
2010	2	0	0	2	0
2011	15	0	0	15	0
2012	8	1	0	9	0
2013	14	0	0	14	0
2014	19	0	0	19	0
TOTAL	62	1	0	63	0

Tabell 25 - Vern- og effektbryterresponser i FASIT-rapporter som det ikke finnes feilskriveropptak av, "Rådata"-metode

År	Antall vernresponser			Antall effektbryterresponser	
	Korrekt	Uteblitt	Uønsket	Korrekt	Ukorrekt
2009	24	3	1	32	0
2010	23	0	0	23	0
2011	127	0	1	125	0
2012	25	0	0	24	0
2013	23	0	0	23	0
2014	10	1	1	12	0
TOTAL	232	4	3	239	0

"Tolkning"-metoden ble ikke gjennomført for registrerte vern- og effektbryterresponser i FASIT med feilskriveropptak, da ingen av de aktuelle responsene hadde uklar markering. Siden alle responsene som er funnet i "Tolkning"-metoden ikke har feilskriveropptak, er resultatet fremdeles det som ble funnet i Tabell 9. Tabell 9 er deretter summert med

Tabell 25, og oppsummert i Tabell 26.

Tabell 26 - Vern- og effektbryterresponser i FASIT-rapporter som det ikke finnes feilskriveropptak av, "Tolkning"-metode

År	Antall vernresponser			Antall effektbryterresponser	
	Korrekt	Uteblitt	Uønsket	Korrekt	Ukorrekt
2009	26	3	3	36	0
2010	23	0	0	23	0
2011	127	0	1	128	0
2012	26	0	0	26	0
2013	23	0	0	23	0
2014	10	1	1	12	0
TOTAL	235	4	5	248	0

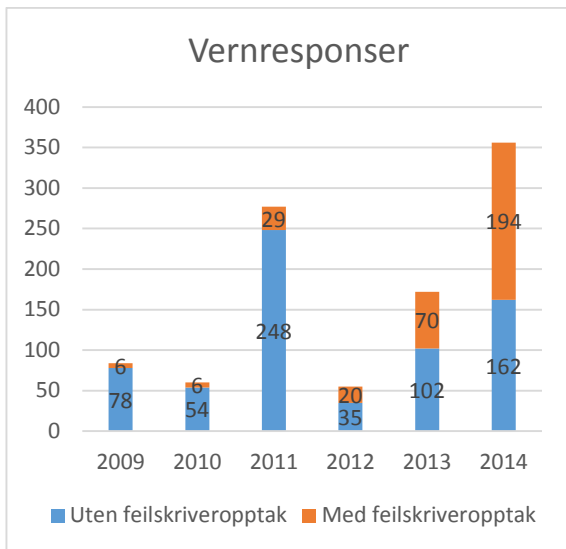
Tabell 27 og Tabell 28 oppsummerer mulige vern- og effektbryterresponser i feilskriveropptak basert på releplaner for vernene, og IFS og tidsfølgemeldelisten for effektbryterne.

Tabell 27 - Totalt antall vern- og effektbryterresponser fra kortslutninger i FASIT-rapporter med feilskriveropptak

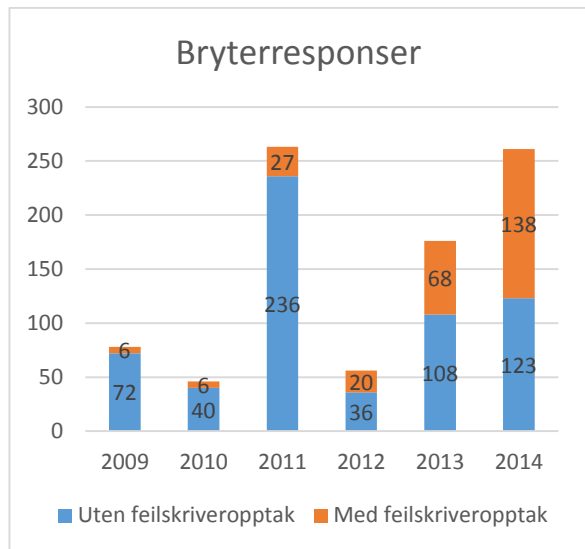
År	Ender av kraftledning	Totalt antall vernresponser	Totalt antall effektbryterresponser
2009	En	6	6
	To	0	0
2010	En	6	6
	To	0	0
2011	En	21	19
	To	8	8
2012	En	8	8
	To	12	12
2013	En	26	24
	To	44	44
2014	En	90	69
	To	104	69
TOTAL		325	265

Tabell 28 - Totalt antall vern- og effektbryterresponser fra kortslutninger i FASIT-rapporter uten feilskriveropptak

År	Totalt antall vernresponser	Totalt antall effektbryterresponser
2009	78	72
2010	54	40
2011	248	263
2012	35	36
2013	102	108
2014	162	123
TOTAL	679	615



Figur 39 - Vernresponsers med og uten feilskriveropptak



Figur 40 - Effektbryterresponsers med og uten feilskriveropptak

Figur 39 og Figur 40 viser alle vern- og effektbryterresponsers oppdaget ved manuell vurdering av FASIT-rapporter, fordelt på dem med og uten feilskriveropptak. Totalt dekker feilskriveropptakene 32,4 % av vernresponsene og 30,1 % av effektbryterresponsene. Dekningsgraden øker med årene, fra 7,4 % i 2009 til 54,5 % i 2014 for vernresponsers, og fra 7,7 % i 2009 til 52,9 % i 2014 for effektbryterresponsers.

Tabell 29 og Tabell 30 oppsummerer resultatene etter "Estimert"-metoden, med vern- og effektbryterresponsene i Tabell 27 og Tabell 28 som utgangspunkt.

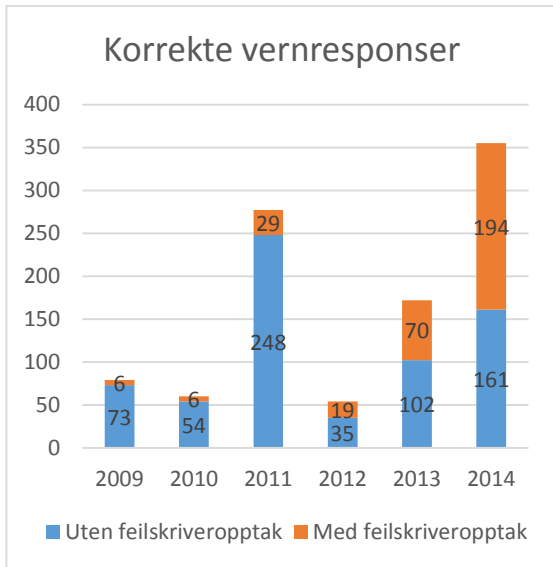
Tabell 29 - Vern- og effektbryterresponsers i FASIT-rapporter med feilskriveropptak, "Estimering"-metode

År	Antall vernresponsers			Antall effektbryterresponsers	
	Korrekt	Uteblitt	Uønsket	Korrekt	Ukorrekt
2009	6	0	0	6	0
2010	6	0	0	6	0
2011	29	0	0	27	0
2012	19	1	0	20	0
2013	70	0	0	68	0
2014	194	0	0	138	0
TOTAL	324	1	0	265	0

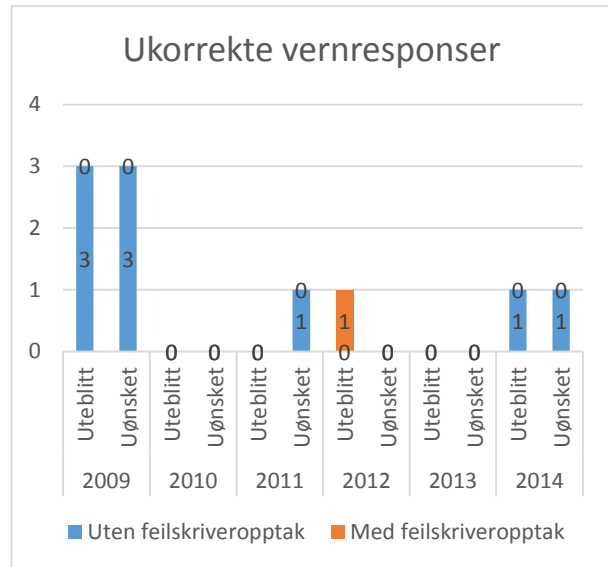
Tabell 30 - Vern- og effektbryterresponsers i FASIT-rapporter uten feilskriveropptak, "Estimering"-rapporter

År	Antall vernresponsers			Antall effektbryterresponsers	
	Korrekt	Uteblitt	Uønsket	Korrekt	Ukorrekt
2009	73	3	3	72	0
2010	54	0	0	40	0
2011	248	0	1	236	0
2012	35	0	0	36	0
2013	102	0	0	108	0
2014	161	1	0	123	0
TOTAL	673	4	4	615	0

Figur 41 og Figur 42 viser fordelingen av estimerte vern- og effektbryterresponsers fordelt mellom de kortslutningene med og uten feilskriveropptak.



Figur 41 - Korrekte vernresponsers fordelt mellom kortslutninger med og uten vernresponsers, "Estimert"-metode



Figur 42 - Ukorrekte vernresponsers fordelt mellom kortslutninger med og uten vernresponsers, "Estimert"-metode

4.5 Behov for bedre datagrunnlag

De manuelle vurderingene oppsummert i "Vedlegg C - Manuell vurdering av FASIT-rapporter" og "Vedlegg D - Manuell vurdering av vern- og effektbryterresponsers" er gjort basert på kommentarfeltet og øvrige registreringer i FASIT-rapportene. Kortslutninger som ble oppdaget på grunn av registreringer av vernresponsene, og oppdagelser av feilregistreringer når det kommer til spenningsnivå og anleggsdel med feil, gir rom for tvil også for de manuelle resultatene. Det er ingen garanti for at det ikke er flere kortslutninger og vernresponsers som er registrert, men som på grunn av filtreringen i FASIT ikke har blitt oppdaget.

Basert på forskjellene i resultatet av kortslutninger før og etter den manuelle vurderingen av FASIT-rapportene er det åpenbart at det finnes rom for forbedring i registreringen av kortslutninger. Estimering av korrekte responsers gir rom for usikkerhet til resultatet. Estimeringen bygger på en antakelse om at alle ukorrekte responsers er registrert korrekt. Dette er en antakelse som skal utfordres i de neste kapitlene.

Forslagene i de neste kapitlene er metoder som, sammen med allerede presentert metodikk, skal gjøre at datagrunnlaget for pålitelighetsindeksene og effektbryterresponsene blir så komplett som mulig.

5 Automatisk karakterisering av vern- og effektbryterresponser

Datamengden som skal analyseres i forbindelse med feil i kraftsystemet i Norge er svært stor [6]. For å øke kvaliteten på feilanalysene, og gjøre feilanalyse til en mer håndterlig jobb, ønskes det å lage automatiske metoder for å analysere så mye som mulig av datamengden, og filtrere ut tilfellene som trenger ekstra manuell analyse. Gode automatiske metoder kan dermed gjøre det mulig å sikre at ukorrekte responser ikke oversees.

Metodene foreslått i denne oppgaven har analyseverktøyet "AutoDIG" som tenkt plattform.

Alle feilskriveropptakene gjort tilgjengelig for denne oppgaven er fra feilskrivere tilknyttet den aktuelle kraftledningen med kortslutning eller jordfeil. Dette innebærer at oppgaven ikke har mulighet til å vurdere feilskriveropptak som beskriver uønskede spontane vernresponser, eller uønskede uselektive vilkårlige vernresponser, ettersom dette ville vært opptak fra feilskrivere som ikke er tilknyttet kraftledningen med en feil (kortslutning eller jordfeil). Basert på antakelsene presentert i kapittel "2.6.4.2 Antatt sannsynlighet for registrerte vernresponser" er sannsynligheten for korrekt registrering av uønskede spontane vernresponser og uønskede uselektive vilkårlige vernresponser høy.

Dermed besluttet det at dette kapittelet skal foreslå automatiske metoder med data fra feilskriveropptak, for å karakterisere vernresponser for vern og effektbrytere tilknyttet kraftledning med feil (kortslutning eller jordfeil). Responsene metoden skal karakterisere er altså:

- Korrekte, uteblitte og uønskede uselektive 3-polte vernresponser
- Korrekte og ukorrekte effektbryterresponser

5.1 AutoDIG

AutoDIG ("Automatisk Diagnose") er et system som Statnett utvikler for fremtidens feilanalyse. AutoDIG skal analysere driftsforstyrrelser automatisk ved å samle og tolke informasjon fra flere kilder, blant annet feilskrivere, tidsfølgemeldelisten og releplaner.

For å kunne vurdere vern- og effektbryterresponsene korrekt trengs tidsinformasjon om:

- Bryterstillinger
- Parameter-settinger fra releplanene til vernene
- Digitale vernsignaler:
 - Vernstart
 - Utløsemelding
- Klareringstiden
- Åpningstid
- Feiltype

Åpningstiden til effektbryterne, og bryter- og vern-oppsett kan finnes i IFS (Statnett-database). Tidsfølgemeldelisten kan gi informasjon om bryterstillinger. Dette var kildene som ble gått gjennom ved den manuelle vurderingen av FASIT-rapportene, men det er gode muligheter for å automatisere slik informasjon om stasjoner i AutoDIG. En elektronisk samling av all denne dataen vil minne om kontrollprogrammene som benyttes i regionalsentralen, hvor alt av lastflyt og koblinger er synlig på store oversikter som oppdateres kontinuerlig. Utdragingen blir å finne balansegangen mellom alt som kan legges til et slikt brukergrensesnitt, og hva som er nødvendig for feilanalysen. AutoDIG har

allerede inne funksjoner som viser meldinger fra tidsfølgemeldelisten, og dermed hvilke effektbrytere som var tilkoblet kraftledningen før feil [6]. På sikt kan man se for seg innspill til AutoDIG fra elektroniske releplaner som fører til øyeblikkelige analyser av vernresponser så fort feilen er registrert.

I denne oppgaven er det valgt å fokusere på hvordan analyse av feilskriveropptak kan brukes til å vurdere vern- og effektbrytterresponser. De digitale vernsignalene blir registrert i feilskriveropptaket. Øyeblikket for feilstart og feil klarert, samt feiltype, må fastsettes så korrekt som mulig, fortrinnsvis automatisk, med strømsignaler fra feilskriveropptaket [6]. Dette skal sees på videre i de neste kapitlene.

5.2 Automatisk metode for å karakterisere vern- og effektbrytterresponser

Her følger et forslag til en metode for automatisk karakterisering av vern- og brytterresponser.

Metoden har to hovedmål:

- Fastsette korrekt klareringstid.
- Sette korrekt karakterisering av vern- og effektbrytterresponser.

5.2.1 Følsomhets-prinsippet

Med feilskriveropptak som input er det en del forstyrrelser på signalene som skyldes andre fenomen enn feilstart og feil klarert. Dette fører til en usikkerhet når det kommer til fastsetting av klareringstid. Derfor vil metoden designes slik at de tilfeller metoden ikke klarer å sette korrekt klareringstid, skal den sette lengre klareringstid enn det som er reelt.

Senere resultater vil vise at feilskriveropptakene kan ha forsinkelser i tidsstemplingen av for eksempel de binære vernmeldingene. Dette innebærer at karakteriseringen av responsene kan baseres på feil grunnlag, altså gal inndeling av vernresponstid og brytetid. På grunn av dette skal metoden, i de tilfeller det ikke kan garanteres korrekt respons, sette ukorrekt respons.

Metoden designes med andre ord til å være følsom, altså ønskes det å garantere at de responsene som markeres som korrekte er korrekte, og flere responser markeres med ukorrekt enn det som er reelt. Målsetningen er dermed å redusere arbeidsmengden til feilanalytikere til kun å dreie seg om analyse av responser som metoden har karakterisert som ukorrekte.

5.2.2 Bølgekomponent-metoden

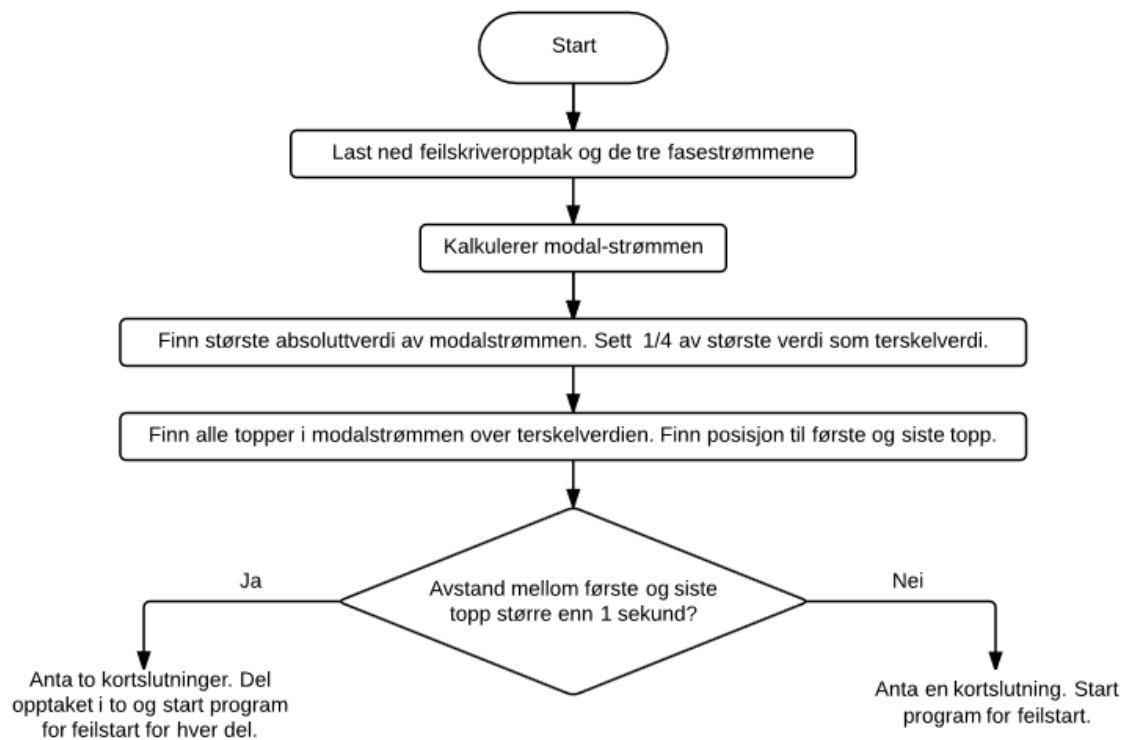
Basert på bølgekomponent-transformering blir det her foreslått en metode for automatisk fastsettelse av tidspunkt for feilstart og feil klarert. Bølgekomponent-metoden blir brukt til flere ting:

- Fastsetting av klareringstid
- Fastsetting av antall kortslutninger i feilskriveropptaket
- Fastsetting av antall klarerte faser
- Fastsetting av antall feilbefengte faser

Som nevnt tidligere vil denne bølgekomponent-metoden se på enhver kortslutning som en egen hendelse, som skal ha egne vern- og effektbrytterresponser. Dette inkluderer automatiske gjeninnkoblinger mot stående feil. Metodens plattform er MATLAB. MATLAB har en funksjonspakke med bølgekomponent-funksjoner. Endelig MATLAB-kode kan finnes i "Vedlegg G - MATLAB-kode for bølgekomponent-metoden".

5.2.2.1 To kortslutninger i ett feilskriveropptak

I noen tilfeller er det to kortslutninger i samme feilskriveropptak, for eksempel ved mislykkede automatiske gjeninnkoblinger. Disse tilfellene identifiseres ved modalsignalet. Figur 43 illustrerer reglene som brukes for å gjenkjenne to kortslutninger i et feilskriveropptak.



Figur 43 - Flytskjema for antall kortslutninger i et feilskriveropptak

Kortslutningsstrømmer er som nevnt i kapittelet "2.1 Beskrivelse av problemstilling

Sentralt for å vurdere en vern- eller effektbryterrespons er etablering av korrekt klareringstid, altså differansen mellom tidspunkt for feilstart og feil klarert. AutoDIG (analyseverktøyet til feilanalyse i Statnett SF) har brukt vernstart som feilstart, siden dette er et digitalt signal fra vernet som blir sendt kort tid etter feilstart. Nærmere undersøkelser har vist at det kan ta flere ms fra feilstart til vernet starter, og dermed kan denne praksisen gi feil klareringstid. Det er altså nødvendig med en korrekt fastsettelse av feilstart og feil klarert, gjerne ved hjelp av en automatisk metode som kan implementeres i AutoDIG.

I denne masteroppgaven fokuseres det på å etablere data og indekser for distansevern, for 420 kV kraftledninger. Masteroppgaven går ut på å finne ut hvilke data som kreves for å beregne slike pålitelighetsindekser og etablere data for å beregne dem for det norske kraftsystemet. Det blir vurdert både automatiske og manuelle metoder for å etablere data. I de tilfeller det mangler data ser oppgaven på en modell for sannsynligheter for uteblitt og uønsket funksjon.

Opgaven tar utgangspunkt i prosjektoppgaven "Pålitelighetsindikatorer for vern i kraftsystemer" utført våren 2015, og funn i en prosjektoppgave av Hanne Ommedal i samarbeid med Statnett høsten 2014. Ommedal har utviklet en metodikk for å kalkulere antall korrekte vernresponser som ikke er registrert i FASIT (standardisert registreringsverktøy for feil og avbrudd i totalsystemet).

2.2 Feiltyper og årsak til feil" er strøm i forbindelse med feil større enn strømmene i et stabilt nett. Dermed vil store utslagsverdier i signalene sett på i denne oppgaven sannsynligvis være kortslutningsstrømmer. En grov filtrering av signalet gjøres ved å finne det største utslaget i modalsignalet, og deretter finne alle verdier i signalet som er lik, eller større enn, halvparten av maksutslaget.

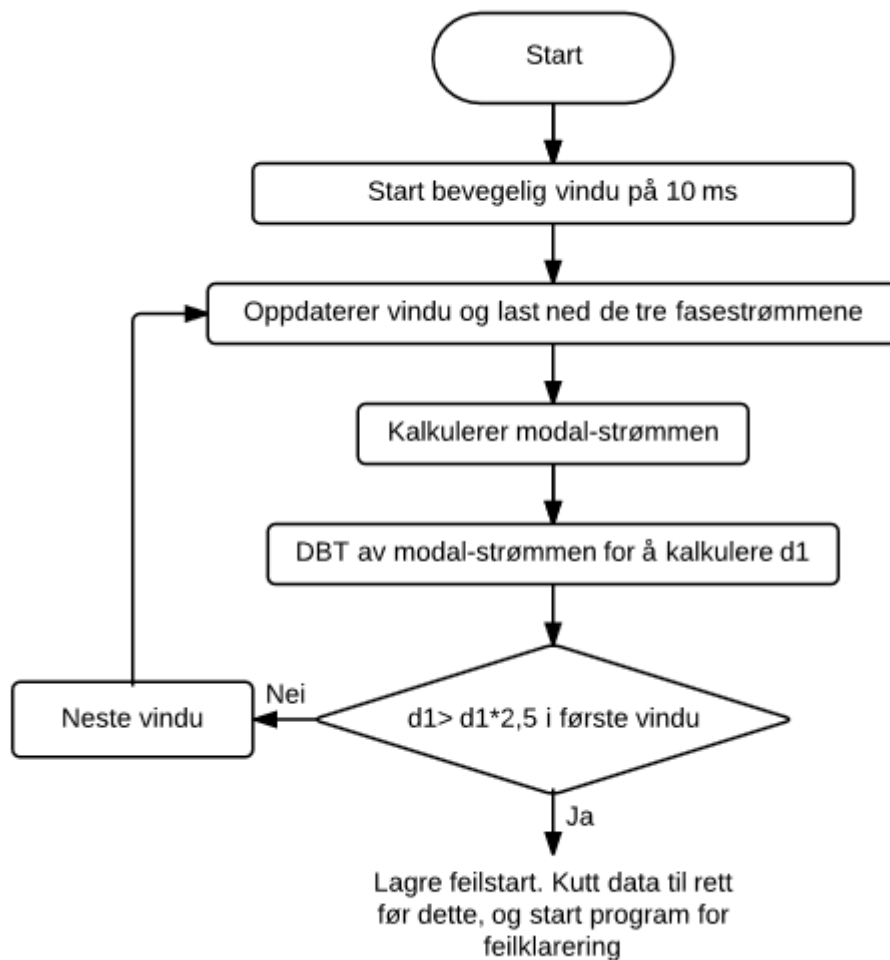
Etter den grove filtreringen lokaliseres første og siste utslag av den antatte kortslutningsstrømmen. I de tilfellene hvor disse lokasjonene er mer enn et sekund fra hverandre (1000 ms) antas to kortslutninger. Signalene (tre faser og et modalsignal) blir da delt i to like deler, hvor hver del analyseres for seg.

Denne metoden er overfølsom, og vil i nesten alle tilfeller med vellykket gjeninnkobling tolke forløpet som to kortslutninger. Dette er det tatt høyde for ved metoden for å finne tidspunkt for feilklarering.

5.2.2.2 Lokalisering av tidspunkt for feilstart

Forløpet for lokalisering av tidspunkt for feilstart er illustrert i Figur 44. Som forklart vil tidspunktet for feilstart inneholde større høyfrekvente signaler enn før feil. Derfor settes det som en terskelverdi basert på frekvensmålinger av de første 10 ms i opptaket. De høyfrekvente signalene må være minst 2,5 ganger høyere enn i første opptak, for at metoden godkjenner tidspunktet som feilstart.

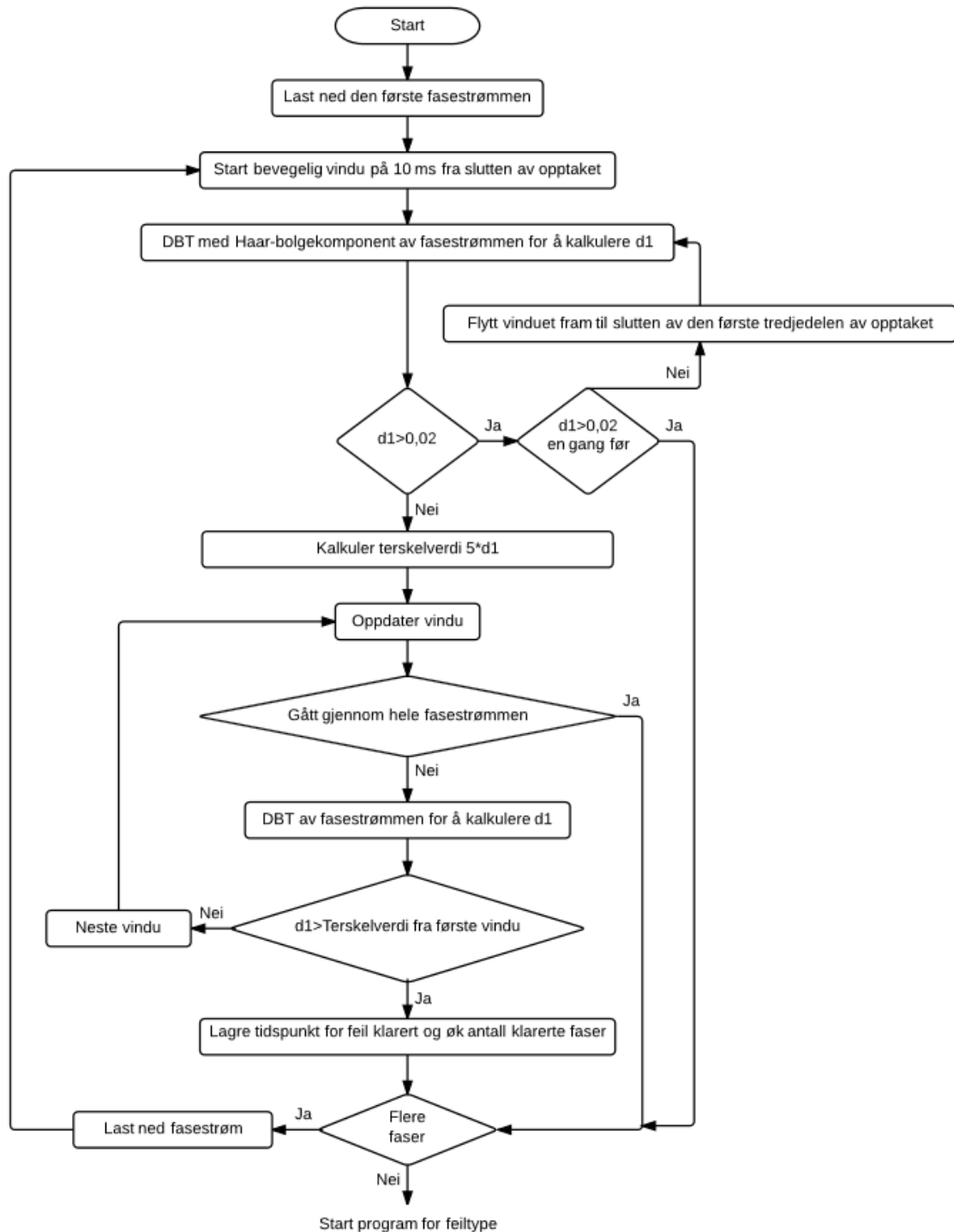
Som i [20] benyttes det et vindu på 10 ms, som flyttes og tar for seg ett og ett utdrag av opptaket. Vinduet fortsetter å flytte på seg til det når terskelverdien. Når tidspunkt for feilstart er lokalisert, kuttet starten av opptaket før det sendes videre til program for feilklarering.



Figur 44 - Flytskjema for lokalisering av tidspunkt for feilstart

5.2.2.3 Lokalisering av tidspunkt for feil klarert

Forløpet for lokalisering av tidspunkt for feilstart er illustrert i Figur 45. En effektbryter som åpner, som i tilfellet ved en feilklarering, har mindre utslag på de høyfrekvente signalene enn en feilstart [20]. Dette betyr at det må brukes andre terskelverdier enn i tilfellet med feilstart. Metoden minner om den som benyttes for å finne feilstart, ettersom det også her benyttes et bevegelig vindu på 10 ms. Forskjellen er at vinduet starter i slutten av opptaket, og beveger seg bakover.



Figur 45 - Flytskjema for lokalisering av tidspunkt for feil klarert

Det første vinduet benyttes også her til å beregne en terskelverdi. Dette første vinduet skal ideelt sett inneholde en klarert fase, noe som innebærer strøm lik null. På grunn av forstyrrelser har ofte også dette vinduet små utslag. Basert på dette kalkuleres Detalj 1 og vurderes:

- Er $d1$ lik null for hele vinduet, så settes terskelverdien til 0,001.
- Er $d1$ større enn 0,02 så antas det at opptaket måler strøm etter gjeninnkobling. Da flyttes vinduet til slutten av første tredjedel av opptaket. Vinduet flyttes hit ettersom opptaket starter med feilstart, og gjeninnkobling har en forsinkelsestid på 1000 ms før gjeninnkobling.

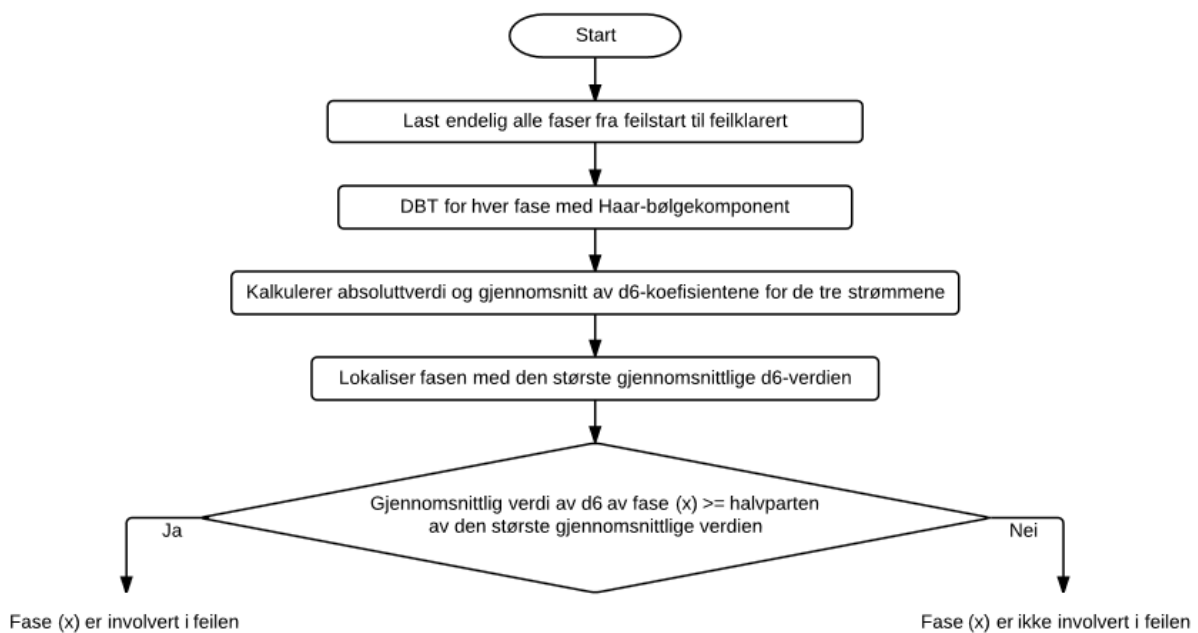
Dermed er det antatt at første tredjedel av opptaket inneholder hele feilforløpet (sant for alle klareringstider < 500 ms). Ved dette nye vinduet kalkuleres detalj 1 en gang til. Er verdien fremdeles større enn 0,02, så konkluderes det med at opptaket viser en fase som ikke klareres. Programmet hopper da videre til neste fase.

- Er d_1 over null men mindre enn 0,02 ganges d_1 med 5, og dette blir den nye terskelverdien.

Vinduet flyttes så bakover til det treffer tidspunkt for feilklarering. Sett at metoden ikke finner tidspunkt for feilklarering før den når tidspunkt for feilstart, konkluderes det med at opptaket viser en fase som ikke klareres. Programmet hopper da videre til neste fase.

5.2.2.4 Klassifisering av feiltype

Klassifisering av feiltype er først og fremst for å skille ut tilfeller hvor kun en fase er involvert i feilen. Dette har betydning ettersom det er eneste tilfelle hvor enpolst klarering kan skje. Alle faser involvert i feilen vil ha høyere frekvente komponenter enn de fasene som ikke er involvert i feilen [20]. Flytskjemaet i Figur 46 illustrerer reglene for klassifiseringen av feiltype.



Figur 46 - Flytskjema for klassifisering av feiltype.

Antall faser involvert i feilen, sammen med tidspunkt for feilstart og feil klarert for de fasene som ble klarert, lagres før programmet går videre til neste feilskriveropptak.

5.2.3 Terskelverdi-metoden for å karakterisering vern- og effektbryterresponser

Terskelverdi-metoden skal karakterisere vernresponsene basert på følgende data:

- Korrekt klareringstid
- Binære signaler fra vernet
- Antall kortslutninger (Om det er mislykkede GIK i opptaket eller ikke)
- Antall klarerte faser
- Antall feilbefengte faser

Hvilken vernrespons som tilegnes en hendelse defineres av to ting:

- **Hvordan vernet og bryteren reagerer på en hendelse**
- **Krav til klareringstid**

For at terskelverdi-metoden skal kunne karakterisere vern- og effektbryterresponsene korrekt må aktuelle tidsintervall for vern og effektbrytere kalkuleres. Aktuelle tidsintervall er de som er listet i Tabell 2: Klareringstid, vernresponstid, brytetid, feildeteksjonstid, vernberegningstid, åpningstid og lysbuetid.

Etter at størrelsen på aktuelle tidsintervall er kjent, bruker metoden noen terskelverdier bestemt ut i fra kravene i FIKS. Terskelverdiene brukes for å vurdere om tidsintervallene er innenfor kravet eller ikke.

I tillegg til tidsintervall trenger terskelverdi-metoden flere verktøy for å kunne vurdere alle vernresponser. Terskelverdi-metoden trenger verktøy som kan:

- Vurdere begge vernenes respons, i tilfeller med dubberte vern, selv om klareringstiden kun er avhengig av et verns utløsemelding.
- Vurdere uønskede uselektive 3-polte vernresponser, siden denne ikke vurderes basert på klareringstid
- Vurdere effektbryterresponsen i de tilfeller kraftledningen er koblet til to samleskinner i én eller flere stasjoner

5.2.3.1 Kalkulering av tidsintervaller i feilforløpet

For å kalkulere tidsintervallene i feilforløpet brukes data fra korrekt fastsettelse av klareringstiden og de binære vernmeldingene. Aktuelle tidsintervaller med beregningsmetoder er:

- **Klareringstid:** Beregnes ved å trekke tidspunkt for feilstart fra tidspunkt for feil klarert
- **Vernresponstid:** Beregnes ved å trekke tidspunkt for feilstart fra tidspunkt for utløsemeldingen fra vernet
- **Brytetid:** Beregnes ved å trekke tidspunkt for utløsemeldingen fra vernet fra tidspunkt for feil klarert
- **Feildeteksjonstid:** Beregnes ved å trekke tidspunkt for feilstart fra tidspunkt for vernstart-meldingen fra vernet.
- **Vernberegningstid:** Beregnes ved å trekke tidspunkt for utløsemeldingen fra vernet fra tidspunkt for vernstart-meldingen fra vernet.
- **Åpningstid:** Hentes fra IFS. Det skal være registrert i dataarket til aktuell effektbryter. I de tilfeller det ikke er det kan det finnes åpningstid i "Tilstandskontroll"-arket, også vedlagt i IFS. I de tilfeller det er flere tidspunkt oppgitt velges den minste åpningstiden. Dette er fordi den minste åpningstiden vil gi den største lysbuetiden. En stor lysbuetid gir større sannsynlighet for ukorrekt effektbryterrespons som bygger opp under hele metodens følsomhets-prinsipp.
- **Lysbuetid:** Beregnes ved å trekke åpningstiden fra brytetiden.

Beregningsmetoder og tidsintervallenes forhold til hverandre oppsummeres i Tabell 31.

Tabell 31 - Beregning av tidsintervall i feilforløp

Klareringstid = Feilstart til Feil klarert							
Før feil	Feilstart	Vernresponstid = Feilstart til Utløsemelding			Brytetid = Utløsemelding til feilklarert		
		Feildeteksjonstid = Feilstart til Vernstart	Vernstart	Vernberegningstid = Vernstart til Utløsning	Utløsning	Åpningstid = Gitt i IFS	Lysbuetid = Brytetid minus Åpningstid
Feil klarert							

Som forklart i neste kapittel er det kun klareringstiden og lysbuetiden som brukes til terskelverdi-metoden. I kapittelet "7.2.1 Tidsintervaller i feilforløpet" vil det derfor kun presenteres resultater for klareringstid og lysbuetid. De andre tidsintervallene kan muligens benyttes til andre formål, som foreslått i kapittel "10.3 Tilstandsovervåkning".

5.2.3.2 Terskelverdier for analyse

En terskelverdi som presenterer en "maksimal forventet tidsbruk" gir utgangspunktet for en automatisk metode som tolker vern- og effektbryterresponser. Terskelverdiene presentert her er definert av kravene i FIKS og design på vern og bryter.

5.2.3.2.1 Terskelverdi for klareringstid

På 420kV-kraftledninger er det, som nevnt tidligere, et krav om feilklarering innen 100 ms fra feilen starter. Dette gjelder for feil som skjer i vernets 1.sone. Om vernet har støttefunksjon for andre vern er kravet feilklarering innen 300 ms fra feilen starter.

Terskelverdi for klareringstiden er:

- **100 ms for feil i 1. sone.**
- **300 ms for feil i 2. sone.**

Hendelser med klareringstider over terskelverdien til klareringstid tilegnes ukorrekt respons.

5.2.3.2.2 Terskelverdi for lysbuetid

Som nevnt tidligere er effektbryteren avhengig av to ting for å få brutt kortslutningsstrømmen:

1. Nullgjennomgang på strømmen
2. En viss avstand mellom kontaktflatene i brytekammeret

Som nevnt i kapittel "2.8 Effektbryterresponser" vil et system med ca 50 Hz ha maks lysbuetid innenfor 26,66 ms \approx 27 ms.

Terskelverdi for lysbuetid er 27 ms.

Hendelser med lysbuetider over terskelverdien til lysbuetid tilegnes ukorrekt respons.

5.2.3.2.3 Terskelverdi-metoden med terskelverdier

Basert på tidligere nevnte metoder blir klareringstid og lysbuetid målt og sammenlignet med terskelverdiene. Om begge tidene er under respektiv terskelverdi er både vern- og effektbryterrespons korrekt. Sett at dette ikke er tilfellet vil ett av følgende scenarioer stemme:

- **Scenario 1: Klareringstid under 100 ms, og lysbuetid over 27 ms:** I dette tilfelle er vernresponsen korrekt og bryterresponsen ukorrekt.
- **Scenario 2: Klareringstid over 100 ms, og lysbuetid under 27 ms:** I dette tilfelle er vernresponsen uteblitt og bryterresponsen korrekt.
- **Scenario 3: Klareringstid over 100 ms, og lysbuetid over 27 ms:** I dette tilfelle er vernresponstiden uvisst og effektbryterresponsen ukorrekt. For å fastsette vernresponstiden i scenario 3 er det nødvendig å kalkulere en hypotetisk klareringstid, forutsatt lysbuetid på 27 ms. Den hypotetiske klareringstiden, K_{hyp} , finnes ved å summere vernresponstiden V , åpningstiden Δ , og lysbuetid på 27 ms, som vist i formelen under.

$$K_{hyp} = V + \Delta + 27$$

Vernresponsen er korrekt eller uteblitt avhengig av om den hypotetiske klareringstiden er henholdsvis under eller over 100 ms.

5.2.3.3 Vurdering av begge vernresponser i tilfeller med dublerte vern

Som regel sender ett av vernene utløsemeldingen etter det andre. Effektbryteren reagerer på det første vernet som sender utløsemelding. På grunn av dette beregnes en hypotetisk klareringstid for det vernet som sender utløsemelding sist. Den kalkuleres ved følgende formel, hvor $K_{hyp,s}$ er hypotetisk klareringstid og V_s er vernresponstid for det senere vernet, og B_r er brytetiden for det raskere vernet:

$$K_{hyp,s} = V_s + B_r$$

Basert på dette vurderes det tregere vernets respons med terskelverdi-metodens terskelverdier.

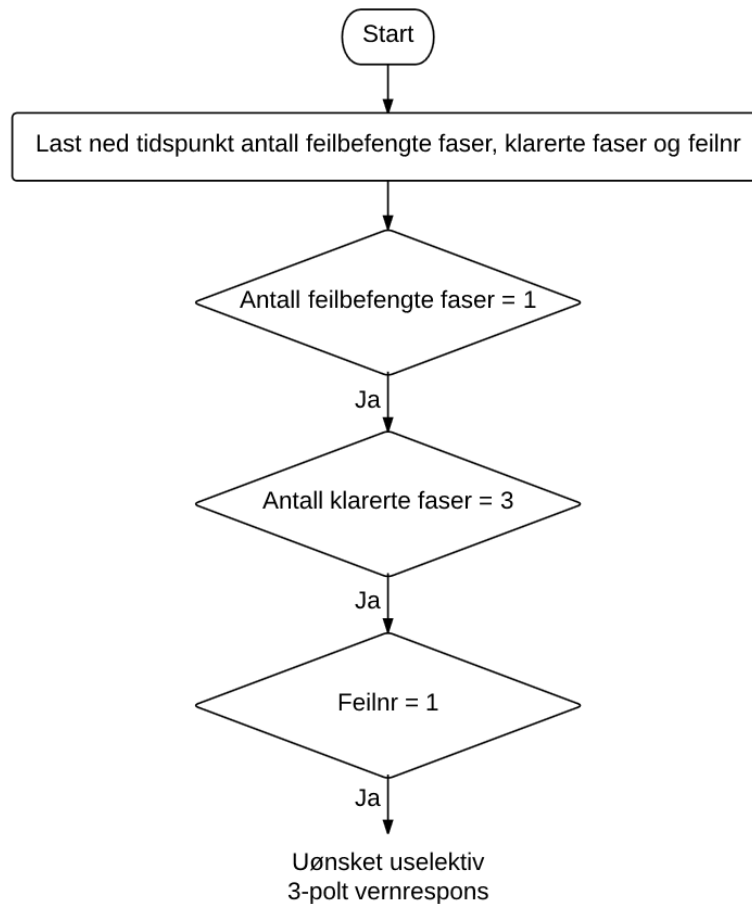
5.2.3.4 Vurdering av uønskede uselektive 3-polte vernresponser

Som nevnt er det nødvendig med metoder for å vurdere uønskede uselektive 3-polte vernresponser, ettersom disse ikke kan vurderes basert på klareringstid. Disse vernresponsene vurderes basert på følgende datagrunnlag fra feilskriveropptaket:

- Antall kortslutninger (om det er en mislykket GIK med eller ikke)
- Antall klarerte faser
- Antall feil-befengte faser

Metoden antar at enhver 1-fasefeil som blir koblet ut 3-polt, og som ikke har hatt en 1-polt utkobling før, er en uønsket uselektiv 3-polt vernrespons. Metoden tar altså ikke hensyn til at GIK-funksjoner kan være avslått, noe som øker sannsynligheten for at en respons feil blir tilegnet uønsket uselektiv 3-polt vernrespons som bygger opp under hele metodens følsomhets-prinsipp.

Metoden for å karakterisere uønskede uselektive vernresponser i tilfellet 1-fasefeil som er utkoblet 3-polt er illustrert i flytskjemaet i Figur 47. Vernresponsen gjenkjennes ved at antall feilbefengte faser, klarerte faser og feilnummer fra bølgekomponent-metoden sammenlignes. I de tilfellene det er en feilbefengt fase, men alle fasene er klarert, og feilnummeret er 1 antas uønsket uselektiv vernrespons.



Figur 47 - Flytskjema for å karakterisere vernrespons som uønsket uselektiv 3-polt vernrespons

5.2.3.4.1 Hierarki for vernrespons

Et feilklareringssystem klarerer 3 faser, og hvert vern sender egne meldinger til hver fase. En vernrespons er den samlede vurderingen av klareringen av alle tre faser. Dermed trengs et hierarki mellom de tre mulige vernresponsene, i tilfelle de tre fasene vurderes ulikt.

- **Ukorrekte vernrespons prioriteres over korrekte:** Poenget med feilanalyse er å identifisere feil. Dermed blir én ukorrekt klarert fase prioritert over to korrekte.
- **Uønskede vernrespons prioriteres over uteblitte:** Om et vern klarer en fase uønsket er det mindre interessant om det brukte for lang tid på klareringsmeldingen.

5.2.3.5 Effektbryterrespons når kraftledningen er tilkoblet to samleskinner i én eller flere stasjoner

I de tilfellene det er to samleskinner tilkoblet en kraftledning er det ikke egne feilskriveropptak per samleskinne. Dette innebærer at det ikke er mulig å skille mellom de to brytere koblet mot hver sin samleskinne. Dette betyr at effektbryterresponsen i tilfeller med to samleskinner ganges med to.

5.2.3.6 Oppsummert terskelverdi-metoden

For vernresponser betyr dette at følgende karakteriseres som ukorrekte responser, med mindre responseren er forklart og vurdert til korrekt i FASIT-rapportene:

- Klareringstid (reell og hypotetisk) på over 100 ms registreres som uteblitte
- 3-polt klarering av 1fasefeil, for vern som burde ha aktivert GIK, registreres som uønsket uselektiv 3-polt vernrespons

For effektbryterresponser blir lysbuetider over 27 ms karakterisert som ukorrekte responser, med mindre responseren er forklart og vurdert til korrekt i FASIT-rapporter.

6 Estimering av vern- og effektbryterresponser på tilfeller uten feilskriveropptak

Som nevnt tidligere er det en god andel vern- og effektbryterresponser som ikke dekkes av feilskriveropptak. Dermed vil de automatiske metodene kan ikke "sikre" responser her. Dette kapittelet presenterer metoder for å estimere vern- og effektbryterresponser i de tilfellene det ikke er feilskriveropptak tilgjengelig.

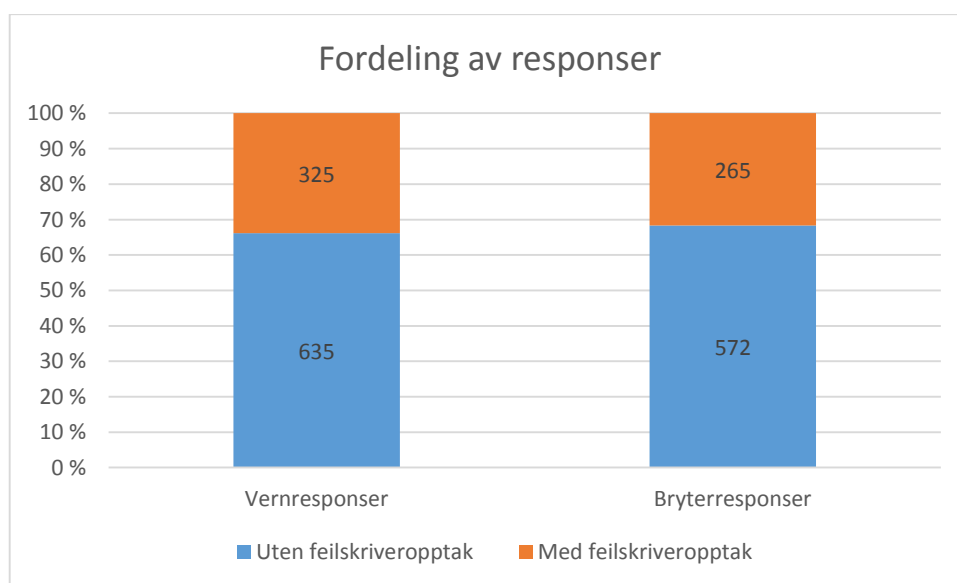
Estimeringen av vern- og effektbryterresponser må basere seg på det som allerede er etablert. Så langt har det blitt vist metoder som gjør at det skal finnes informasjon om:

- **Antall vern- og effektbryterresponser som skulle respondert for alle driftsforstyrrelser:** Finnes ved at AutoDIG henter bryterstillinger og antall vern i forbindelse med hver driftsforstyrrelse.
- **Faktiske vern- og effektbryterresponser for driftsforstyrrelsene med feilskriveropptak:** Finnes ved bruk av bølgekomponent- og terskelverdi-metoden, samt manuell vurdering av ukorrekte responser.

Basert på denne informasjonen estimeres potensielle oversette responser uten feilskriveropptak ved hjelp av antakelser. Antakelsene presentert i dette kapittelet bygger på at forholdet mellom korrekte og ukorrekte responser er likt mellom kortslutninger med og uten feilskriveropptak.

Å summere alle vern- og effektbryterresponsene fra 2009-2014 gir det største datagrunnlaget mulig som utgangspunkt for estimeringen. Alternativet hadde vært å se på datagrunnlaget fra år til år, men siden særlig de tidlige årene har svært liten dekning på kortslutninger med feilskriveropptak ble det sett bort i fra denne tilnærmingen.

Forholdet mellom vern- og effektbryterresponser med og uten feilskriveropptak gjennom 6 år er presentert i Figur 48. 30-35 % av responsene antas dekket av feilskriveropptak. Estimeringsmetoden skal dekke resterende 65- 70 %.



Figur 48 - Fordeling av responser mellom dem med og uten feilskriveropptak i prosent

Som nevnt i kapittel "2.6.4.2 Antatt sannsynlighet for registrerte vernresponser" antas det at det er høy sannsynlighet for at uønskede spontane vernresponser og uønskede uselektive vilkårlige vernresponser registreres korrekt i FASIT. Basert på denne antakelsen besluttet det at estimerte ukorrekte vernresponser legges til disse korrekt registrerte uønskede vernresponsene. Det faktum at feilskriveropptakene ikke dekker disse tilfellene (siden det kun er opptak fra endene av feilbefengt kraftledning) underbygger denne beslutningen.

6.1 Beregningsmetode

Beregningsmetoden bygger på en antakelse om at forholdet mellom korrekte og ukorrekte vernresponser er likt i kortslutningene med og uten feilskriveropptak.

$N_{respons}$ er antall mulige responser, enten for vern eller bryter, for hele perioden eller ett år.

N_c er antall korrekte responser, enten for vern eller bryter, for hele perioden eller ett år. $N_{c,med}$ og $N_{c,uten}$ er antall korrekte vernresponser med eller uten feilskriveropptak henholdsvis.

N_u er antall ukorrekte responser, enten for vern eller bryter, for hele perioden eller ett år. $N_{u,med}$ og $N_{u,uten}$ er antall ukorrekte vernresponser med eller uten feilskriveropptak henholdsvis.

N_{ut} og $N_{uø}$ er antall uteblitte og uønskede henholdsvis.

Formel 15 - Forholdet mellom ukorrekte og korrekte responser antas å være likt

$$\frac{N_{u,med}}{N_{c,med}} = \frac{N_{u,uten}}{N_{c,uten}}$$

Formel 16 - Mulig antall responser er summen av de korrekte og ukorrekte

$$N_{respons,med} = N_{u,med} + N_{c,med}$$

$$N_{respons,uten} = N_{u,uten} + N_{c,uten}$$

Med utgangspunkt i Formel 15 og Formel 16 er det kommet fram til følgende resultat (fullstendig utgreiing kan leses i "

Vedlegg F - Utgreiing uttrykk for estimering av responser"):

Formel 17 - Uttrykk for ukorrekte og korrekte responser

$$N_{u,uten} = \frac{N_{respons,uten}}{N_{respons,med}} \cdot N_{u,med}$$

$$N_{c,uten} = \frac{N_{respons,uten}}{N_{respons,med}} \cdot N_{c,med}$$

For vernresponser er det også nødvendig å skille mellom typer ukorrekte. Det gjøres på samme måte som man skiller mellom korrekte og ukorrekte, bare at variablene er uteblitte og uønskede.

Formel 18 - Forholdet mellom uteblitte og uønskede antas likt

$$\frac{N_{ut,med}}{N_{u\emptyset,med}} = \frac{N_{ut,uten}}{N_{u\emptyset,uten}}$$

Formel 19 - Antall ukorrekte er summen av de uteblitte og uønskede

$$N_{u,med} = N_{ut,med} + N_{u\emptyset,med}$$

$$N_{u,uten} = N_{ut,uten} + N_{u\emptyset,uten}$$

Med utgangspunkt i Formel 18 og Formel 19 er det kommet fram til følgende resultat (på samme måte som ved korrekte og ukorrekte):

Formel 20 - Uttrykk for ukorrekte og korrekte responser

$$N_{ut,uten} = \frac{N_{u,uten}}{N_{u,med}} \cdot N_{ut,med}$$

$$N_{u\emptyset,uten} = \frac{N_{u,uten}}{N_{u,med}} \cdot N_{u\emptyset,med}$$

7 Resultater med utgangspunkt i hendelser fra 420 kV-kraftledninger 2009-2014

Resultat-kapittelet tar for seg resultatet av de automatiske metodene og estimeringsmetoden foreslått:

- Bølgekomponent-metoden for fastsetting av klareringstid og feiltype
- Terskelverdi-metoden for karakterisering av vern- og effektbryterrespons
- Estimering-metoden for å estimere uregistrerte ukorrekte vern- og effektbryterrespons

For å kunne vurdere resultatene fra de automatiske metodene, begynner hvert av kapitlene med en manuell vurdering av feilskriveropptakene. Klareringstiden i feilskriveropptakene funnet ved manuell fastsetting av tidspunkt for feilstart og tidspunkt for feil klarert, sammenlignes med den funnet i bølgekomponent-metoden. Den manuelle vurderingen feilskriveropptakene for å karakterisere vern- og effektbryterrespons sammenlignes med karakteristikken funnet i terskelverdi-metoden.

Estimeringsmetoden for kortslutninger uten feilskriveropptak kan ikke vurderes opp mot noen "fasit" ettersom det ikke er feilskriveropptak tilgjengelig.

Tilslutt blir det beregnet pålitelighetsindekser basert på tre "komplette" datagrunnlag:

- **Datagrunnlaget fra FASIT:** Data fra kapittelet "4.2.3.1.3 "Estimert"-metoden", hvor manuelle vurderinger av registreringer i FASIT-rapporter er komplimentert med estimerte korrekte vern- og effektbryterrespons.
- **Datagrunnlag fra terskelverdi-metoden og FASIT:** Datagrunnlaget fra terskelverdi-metoden på feilskriveropptak, summert med datagrunnlaget fra kapittel "4.4.2 Registrerte vern- og effektbryterrespons i FASIT fordelt på feil med og uten feilskriveropptak" for vern- og effektbryterrespons uten feilskriveropptak.
- **Datagrunnlag fra estimeringsmetoden:** Datagrunnlag fra estimeringsmetoden for vern- og effektbryterrespons uten feilskriveropptak, summert med datagrunnlaget fra terskelverdi-metoden på feilskriveropptak og uønskede spontane og uønskede uselektive vilkårlige vernrespons registrert i FASIT.

7.1 Bølgekomponent-metoden

Et utgangspunkt for å vurdere resultatene fra bølgekomponent-metoden, finnes ved en manuell vurdering av feilskriveropptakene, med fastsettelse av korrekt tidspunkt for feilstart og feil klarert. Antall klarerte og feilbefengte faser blir også fastsatt, ettersom dette vurderes med automatisk bølgekomponent-metoden, og er en del av dataen som gis videre til terskelverdi-metoden.

For implementeringen av bølgekomponent-metoden var det 219 klarerte faser som var tilgjengelig på feilskriveropptak, av totalt 301 som ble beskrevet av feilskriveropptakene. Årsaken til at færre feilskriveropptak var tilgjengelig for bølgekomponent-metoden var metoden ble utviklet på et senere tidspunkt enn alle feilskriveropptakene var tilgjengelige, grunnet fysiske utfordringer med plassering av filer.

7.1.1 Klareringstid funnet ved manuell vurdering av feilskriveropptakene

Klareringstiden vurderes manuelt ved å fastsette tidspunkt for feilstart og tidspunkt for feil klarert basert på feilskriveropptakene. Antall feilbefengte og klarerte faser noteres for hver kortslutning. Resultatene er oppsummert i "

Vedlegg H - Klareringstid satt av manuell vurdering av feilskriveropptak".

Klareringstidene og antall feilbefengte og klarerte faser blir brukt som vurderingsgrunnlag til resultatene fra bølgekomponent-metoden.

7.1.2 Klareringstid funnet ved bølgekomponent-metoden på feilskriveropptakene

Klareringstiden, og antall feilbefengte og klarerte faser, vurderes med bølgekomponent-metoden på feilskriveropptakene. Resultatene er oppsummert i "

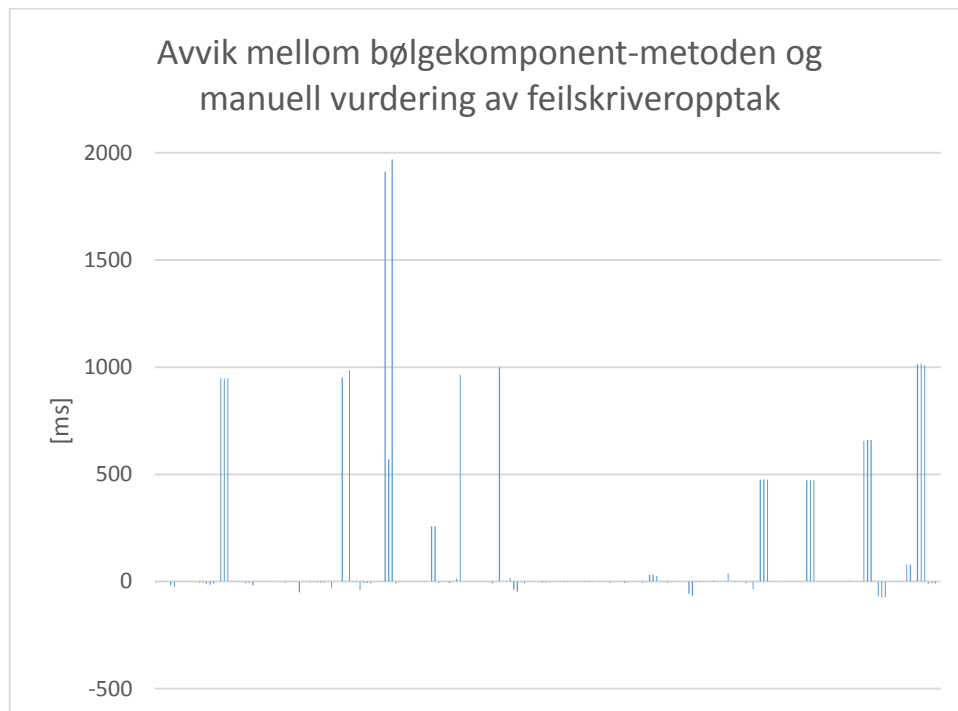
Vedlegg I - Klareringstid satt av bølgekomponent-metoden".

7.1.3 Sammenligning mellom bølgekomponent-metoden og manuell vurdering av feilskriveropptak

For å vurdere bølgekomponent-metoden sammenlignes funnene med det som ble funnet ved manuell vurdering av feilskriveropptakene.

7.1.3.1 Avvik i klareringstid

Ved å trekke den reelle klareringstiden, funnet ved manuell vurdering av feilskriveropptakene, fra den satt av bølgekomponent-metoden, er det kommet fram til avvikene for hver klarerte fase. Resultatet er vist i Figur 49, hvor alle avvikene er satt ved siden av hverandre. Det er tydelig at det er en del store avvik (24 stk), på 0,5, 1, og nesten 2 sekund. Disse blir filtrert ut for å kunne se nærmere på de små avvikene.



Figur 49 - Avvikene mellom klareringstid fastsatt av bølgekomponent-metoden og manuell vurdering av feilskriveropptak

Figur 50 oppsummerer "små" avvik mellom bølgekomponent-metoden og manuell vurdering av feilskriveropptakene. Her er det fremdeles en del større avvik med absoluttverdi på 10 til 80 ms.

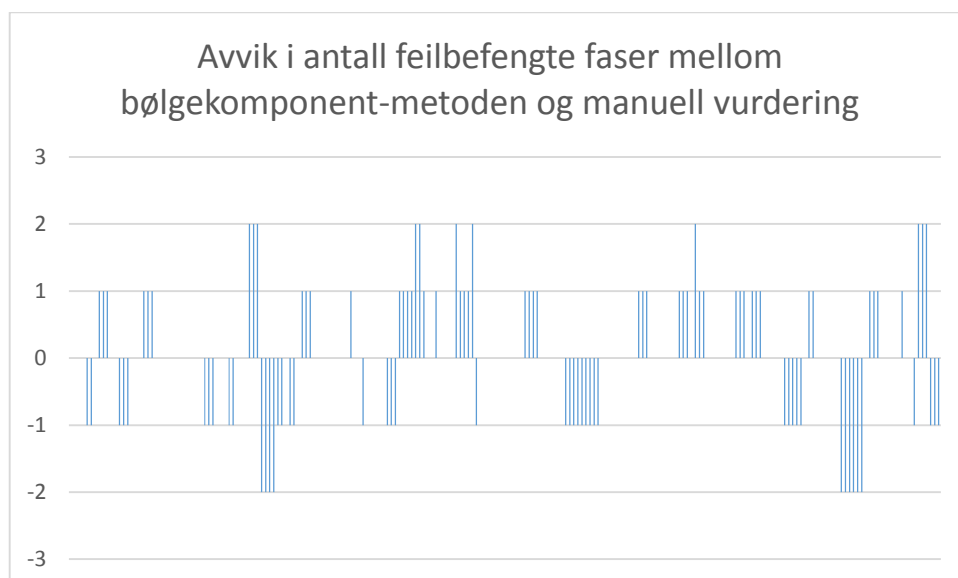


Figur 50 - Avvik mellom bølgekomponent-metoden og manuell vurdering av feilskriveropptak, uten de største avvikene

Ved å tillate alle positive avvik (i tråd med følsomhetsprinsippet) fungerer metoden på 53 % av de klarerte fasene. Sett at metoden skal tillate mindre negative avvik, for eksempel på -5 ms, og alle positive avvik, så fungerer metoden på 84 % av de klarerte fasene.

7.1.3.2 Avvik mellom antall feilbefengte og klarerte faser

Ved å trekke det reelle antallet feilbefengte og klarerte faser, funnet ved manuell vurdering av feilskriveropptakene, fra det satt av bølgekomponent-metoden, er det kommet fram til avvikene for hver klarerte fase. Resultatene er presentert i Figur 51 og Figur 52.

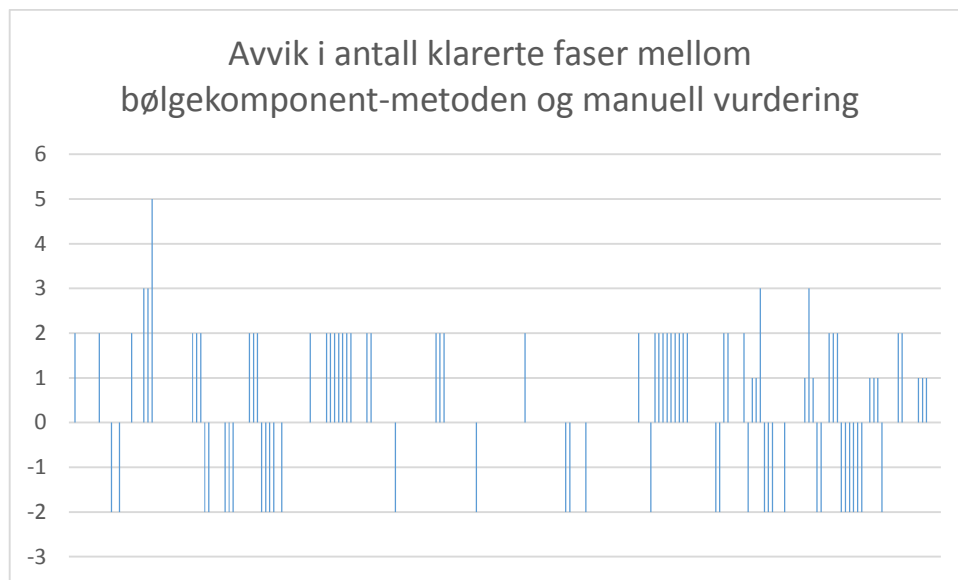


Figur 51 - Avvik i antall feilbefengte faser mellom bølgekomponent-metoden og manuell vurdering

Figur 51 viser at det er en del avvik i antall feilbefengte faser mellom bølgekomponent-metoden og manuell vurdering av feilskriveropptakene. 52 % av vurderingene fra bølgekomponent-metoden er korrekte.

Avvikene fordeler seg mellom 2 til -2:

- Et positivt avvik på 2 innebærer at det reelt kun er én feilbefengt fase, men bølgekomponent-metoden har tolket at det er tre feilbefengte faser.
- Et negativt avvik på 2 innebærer at det reelt er tre feilbefengte faser, men bølgekomponent-metoden har tolket at det kun er én feilbefengt fase.
- Et positivt avvik på 1 innebærer at det reelt kun er én feilbefengt fase, men bølgekomponent-metoden har tolket at det er to feilbefengte faser.
- Et negativt avvik på 1 innebærer at det reelt er to feilbefengte faser, men bølgekomponent-metoden har tolket at det kun er én feilbefengt fase.



Figur 52 - Avvik i antall klarerte faser mellom bølgekomponent-metoden og manuell vurdering

Figur 52 viser at det er en del avvik i antall klarerte faser mellom bølgekomponent-metoden og manuell vurdering av feilskriveropptakene. 56 % av vurderingene fra bølgekomponent-metoden er korrekte. Avvikene fordeler seg mellom 5 til -2:

- Et positivt avvik på 5 innebærer at det reelt kun er én klarert fase, men bølgekomponent-metoden har tolket at det er seks klarerte faser. Dette vil si at metoden tror det er en 3-faset klarering av to kortslutninger, altså både original kortslutning og mislykket GIK. Dette forekommer ikke i feilskriveropptakene i datagrunnlaget.
- Et positivt avvik på 3 innebærer at det reelt kun er én klarert fase, men bølgekomponent-metoden har tolket at det er fire klarerte faser. Dette vil si at metoden tror det er en mislykket GIK, uten at det er det.
- Et positivt avvik på 2 innebærer at det reelt kun er én klarert fase, men bølgekomponent-metoden har tolket at det er tre klarerte faser.
- Et negativt avvik på 2 innebærer at det reelt er tre klarete faser, men bølgekomponent-metoden har tolket at det kun er én klarert fase.
- Et positivt avvik på 1 innebærer at det reelt er tre klarerte faser, men bølgekomponent-metoden har tolket at det er fire klarete faser. Dette vil si at metoden tror det er en mislykket GIK på en 1-fasefeil, når det egentlig kun er en 3-faset klarering.

7.1.3.3 Vurdering av bølgekomponent-metoden

Som nevnt tidligere er det viktig at følsomhetsprinsippet fungerer for bølgekomponent-metoden: det vil si at det skal lite til for at metoden karakteriserer en hendelse som ukorrekt, og mye til for at den blir karakterisert som korrekt. Kapittel "7.1.3.1 Avvik i klareringstid" viser at kun 53 % av alle klareringstidene er lik eller større enn reelt. Resten av klareringstidene har bølgekomponent-metoden fastsatt som mindre enn den reelt er. Dette gir rom for oversette ukorrekte vern- og effektbryterresponser, noe som går på tvers av følsomhetsprinsippet. Bølgekomponent-metoden vil med andre ord trenge ytterligere bearbeidelse før den kan vurderes implementert for feilanalyse.

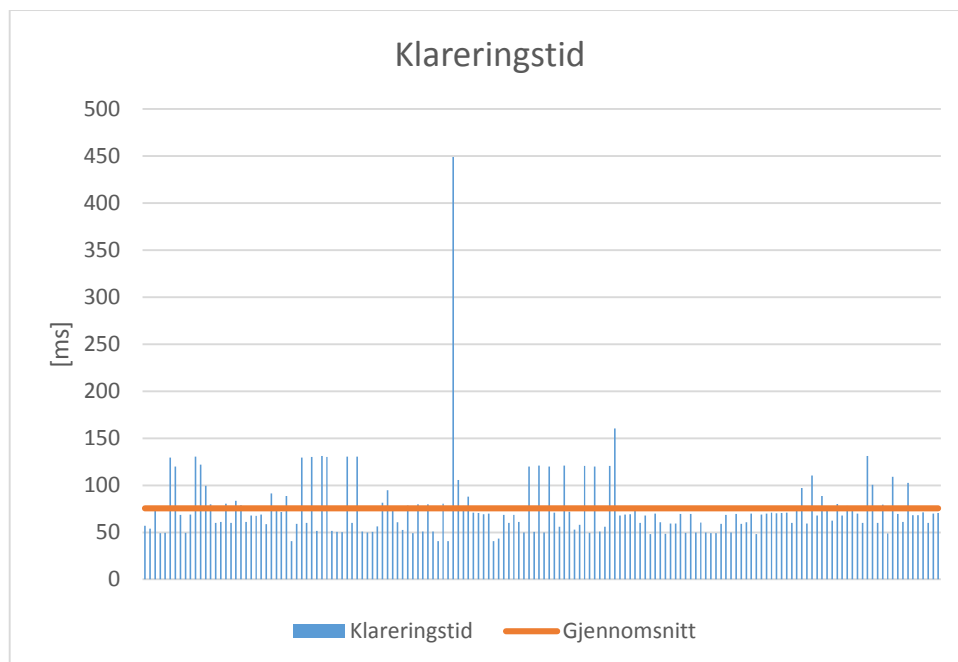
7.2 Terskelverdi-metoden

Ved å ta utgangspunkt i tilgjengelige feilskriveropptak og FASIT-rapporter sjekkes det om terskelverdimetoden ville fungert på feilskriveropptakene fra Statnett. Som datagrunnlag bruker Terskelverdi-metoden:

- Klareringstid, antall feilbefengte og klarerte faser fra manuell vurdering av feilskriveropptakene
- Tidsstemplingen på de binære vernmeldingene fra feilskriveropptaket
- Åpningstid fra IFS

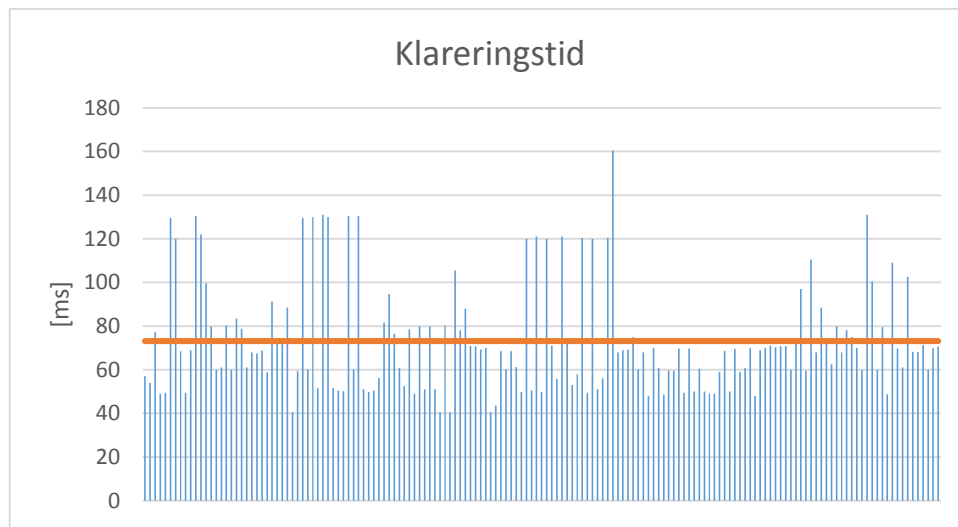
7.2.1 Tidsintervaller i feilforløpet

Som nevnt tidligere presenteres kun klareringstid og lysbuetid, ettersom det er disse som benyttes i terskelverdi-metoden. Siden terskelverdi-metoden skal karakterisere vern- og effektbryterresponser presenteres kun en klareringstid og lysbuetid for hver kortslutning. Dette er gjort ved å velge den klareringstiden og lysbuetiden som er størst av de tre fasene. Figur 53, Figur 54 og Figur 55 oppsummerer resultatet for klareringstid og lysbuetid med metoden for fastsetting av tidsintervallene.



Figur 53 - Klareringstid fra feilskriveropptak, alle kortslutninger listet opp kronologisk etter hverandre

Figur 54 gjengir det samme som Figur 53, uten den ene store klareringstiden. Det er gjort for å gjøre det lettere å se verdiene for resterende klareringstider. Det er tydelig at de aller fleste klareringstidene ligger rundt 50-60 ms, og at en del større klareringstider trekker opp gjennomsnittet til ca 75 ms.

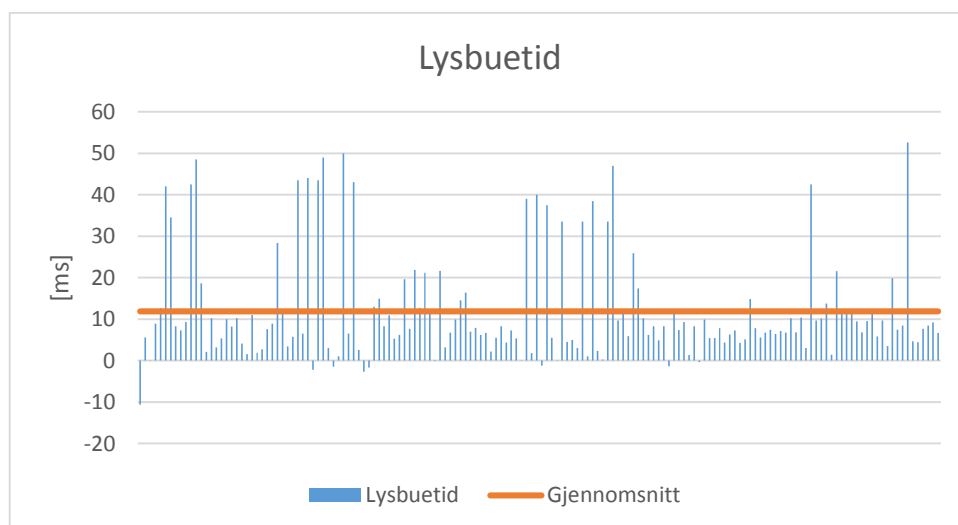


Figur 54 - Klareringstid fra feilskriveropptak, filtrert for en stor klareringstid

Figur 55 viser at en del av lysbuetidene er negative. Reelt sett er dette en umulighet. Det kan komme av flere ting:

- Åpningstiden kan være for stor. Den er konstant, og hentet fra IFS, som igjen har den fra prøveprotokoll og tilstandskontroller av effektbryteren. Aspekter som trykk og temperatur kan endre åpningstiden, noe som gjør at kalkuleringen av lysbuetid blir feil.
- Vernmeldingene kan ha feil tidsstempling. Feilskriveropptaket tidsstempler vernets meldinger når de registreres i feilskriveropptaket. Sett at dette blir forsinket på grunn av samband eller kø av flere meldinger, vil tidspunktet i feilskriveropptaket bli galt, og kalkuleringen av lysbuetid også feil.

De samme aspektene som gir negativ lysbuetid kan selvsagt også gi for liten lysbuetid.



Figur 55 - Lysbuetid fra feilskriveropptak, alle kortslutninger listet opp kronologisk etter hverandre

7.2.2 Vernresponser med terskelverdi-metoden

Vernresponsene vurderes med terskelverdi-metoden ved bruk av klareringstidene og lysbuetidene funnet i forrige kapittel.

Tabell 32 oppsummerer resultatene fra terskelverdi-metoden. Det er funnet en stor andel ukorrekte responser, som forventet i henhold til følsomhets-prinsippet.

Tabell 32 - Resultat antall vernresponser ved terskelverdimetoden fordelt på år

År	Antall vernresponser		
	Korrekt	Uteblitt	Uønsket
2009	4	0	2
2010	2	0	4
2011	16	10	4
2012	15	1	4
2013	40	16	14
2014	144	26	24
TOTAL	221	53	52

7.2.2.1 Vernresponser etter manuell vurdering av ukorrekte responser

Alle de automatiske metodene bygger på følsomhetsprinsippet, som tilsier at alle ukorrekte vernresponser skal gjennomgå manuell analyse for å sjekke at responsen reelt er ukorrekt. Vernresponsene vurderes manuelt ved bruk av tre kilder:

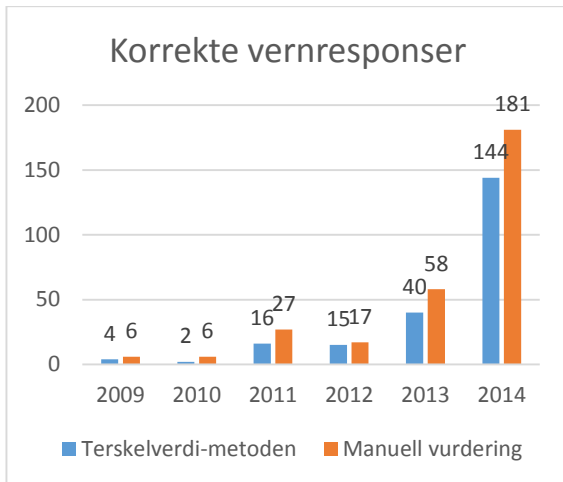
- Resultatene fra terskelverdi-metoden, som baserer seg på:
 - Klareringstidene og lysbuetidene funnet i kapittelet "7.2.1 Tidsintervaller i feilforløpet"
 - Krav til klareringstid i FIKS
- FASIT-rapportene: For evt vurderinger av vern- og effektbryterresponser som "godkjenner" responser som i utgangspunktet karakteriseres som ukorrekte

Tabell 33 oppsummerer resulterende vernresponser fordelt på år. Vurderingene er registrert i vedlegg "Vedlegg E - Tvilstilfeller manuell vurdering av feilskriveropptak". Av de tjueto registrerte uteblitte vernresponsene, er kun tre uteblitt utløsemelding vernresponser. Resten er av typen uteblitt forsinket vernrespons. Alle de uønskede vernresponsene er av typen uønsket uselektiv 3-polt vernrespons.

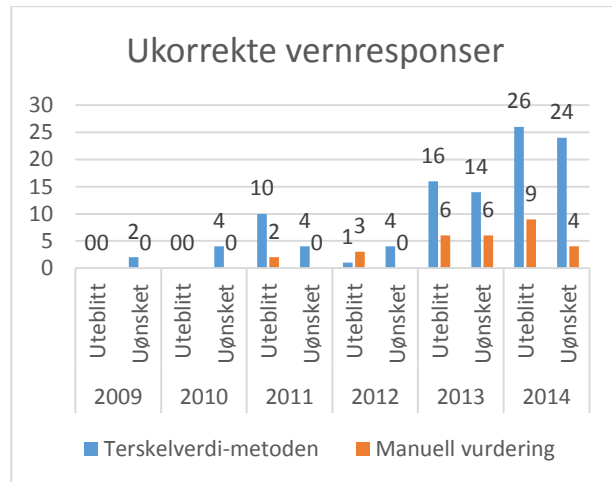
Tabell 33 - Vernresponser fra manuell vurdering av feilskriveropptak per år

År	Antall vernresponser		
	Korrekt	Uteblitt	Uønsket
2009	6	0	0
2010	6	0	0
2011	27	3	0
2012	17	5	0
2013	58	6	6
2014	179	11	4
TOTAL	293	22	10

Figur 56 og Figur 57 viser en sammenligning mellom vernresponser funnet ved terskelverdi-metoden og resultatene fra den manuelle vurderingen av feilskriveropptakene. Som forventet har terskelverdi-metoden færre korrekte responser og flere ukorrekte enn den manuelle vurderingen.



Figur 56 - Korrekte vernresponser hvor resultatet fra terskelverdi-metoden sammenlignes med dem funnet av manuell vurdering av feilskriveropptakene



Figur 57 - Ukorrekte vernresponser hvor resultatet fra terskelverdi-metoden sammenlignes med dem funnet av manuell vurdering av feilskriveropptakene

Tabell 34 – Vernresponser tolket av terskelverdi-metoden sammenlignet med reell respons

	Korrekt Terskelverdi-metoden	Ukorrekt Terskelverdi-metoden
Korrekt reell	220	73
Ukorrekt reell	0	32

Tabell 34 sammenligner korrekte og ukorrekte vernresponser funnet med terskelverdi-metoden med dem funnet av manuell vurdering av feilskriveropptakene. Terskelverdimetoden baserer seg på korrekt fastsettelse av klareringstid og lysbuetid. Forutsatt at dette er på plass så er det tydelig at metoden fungerer godt. Den største andelen av responser tolkes til "korrekt" vernrespons, og er reelt korrekt. Ingen av de responsene som har fått tildelt "korrekt" av terskelverdi-metoden er ukorrekte. Dette vil si at metoden er overfølsom for å gi ukorrekt respons, men at den for dette datagrunnlaget ikke gir feil korrekt respons, i tråd med følsomhetsprinsippet.

7.2.2.2 Det tregere vernets respons

Ved analyse av feilskriveropptakene har det blitt kalkulert en "hypotetisk" klareringstid for det distansevernet som sist sender utløsemelding til effektbryteren. Beregningen skjer ved at det tregeste vernets vernresponstid blir lagt til brytetiden beregnet med det raskeste vernet. Dette fører til at det tregeste vernet alltid vil få en lengre klareringstid enn det raskeste. Tabell 35 viser en sammenligning mellom vernresponser fordelt mellom raskeste og tregeste vernrespons. Det er tydelig (og forståelig) at det tregeste vernet har flere uteblitte responser. Av de 12 uteblitte responsene som kun er på det tregeste vernet er 3 uteblitte signal, mens resten er forsinket. Det er ikke vanlig praksis å kalkulere hypotetisk klareringstid for det tregeste vernet ved feilanalyse, noe som kan forklare hvorfor ingen av disse 9 uteblitte forsinkede vernresponsene er kommentert i FASIT-rapportene.

Tabell 35 - Vernresponser fordelt på raskeste og tregeste vern

	Tregeste vern korrekt	Tregeste vern uteblitt	Tregeste vern uønsket
Raskeste vern korrekt	140	12	0
Raskeste vern uteblitt	0	5	0
Raskeste vern uønsket	0	0	5

7.2.3 Effektbryterresponser med terskelverdi-metoden

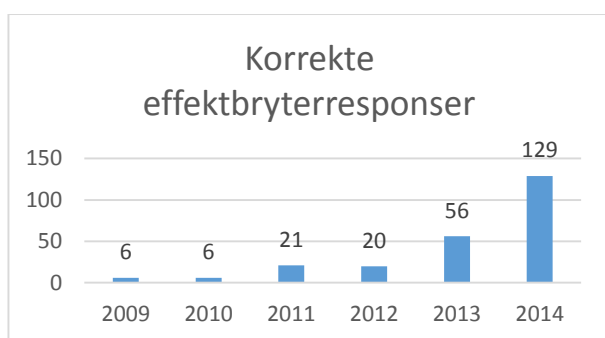
Effektbryterresponserne vurderes med terskelverdi-metoden ved bruk av lysbuetidene funnet i kapittel "7.2.1 Tidsintervaller i feilforløpet".

Effektbryterresponser som fører til lysbuetider på over 27 ms registreres som ukorrekte.

Tabell 36, Figur 58 og Figur 59 oppsummerer effektbryterresponserne fra terskelverdi-metoden. Det er funnet ukorrekte effektbryterresponser, noe som var helt fraværende i FASIT-rapportene.

Tabell 36 - Manuell registrering av effektbryterresponser per år

År	Antall effektbryterresponser	
	Korrekt	Ukorrekt
2009	6	0
2010	6	0
2011	21	6
2012	20	0
2013	56	12
2014	129	0
TOTAL	238	27



Figur 58 - Korrekte effektbryterresponser fra feilskriveropptak



Figur 59 - Ukorrekte effektbryterresponser fra feilskriveropptak

7.2.3.1 Effektbryterresponser etter manuell vurdering av ukorrekte responser

Det var ingen kommentarer som forklarte ukorrekte effektbryterresponser i FASIT-rapportene. En manuell vurdering ville dermed kun være basert på terskelverdi-metoden, og dermed gi det samme resultatet som i forrige kapittel.

7.3 Estimeringsmetoden

Basert på resultatene fra terskelverdi-metoden, med manuell gjennomgang av ukorrekte effektbryterresponser, skal det estimeres fordeling mellom korrekte og ukorrekte responser i de kortslutningene uten feilskriveropptak. Sammen med de ukorrekte responsene registrert i FASIT utgjør dette en tilnærming av et komplett datagrunnlag for å beregne pålitelighetsindekser for vern.

Tabell 37 oppsummerer vern- og effektbryterresponser fra feilskriveropptak. Tabell 38 oppsummerer vern- og effektbryterresponser for kortslutninger uten feilskriveropptak.

Tabell 37 - Vern- og effektbryterresponser fra feilskriveropptak

Antall vernresponser				Antall effektbryterresponser		
Korrekt	Uteblitt	Uønsket	Totalt	Korrekt	Ukorrekt	Totalt
295	20	10	325	238	27	265

Tabell 38 - Mulige vern- og effektbryterresponser fra kortslutninger uten feilskriveropptak

Antall vernresponser	Antall effektbryterresponser
635	572

Basert på Formel 17 for estimering av responser, blir resultatet som følger:

$$N_{ukorrekt,vern,uten} = \frac{635}{325} \cdot 30 = 58,6 \approx 59 \quad N_{korrekt,vern,uten} = \frac{635}{325} \cdot 295 = 576,4 \approx 576$$

$$N_{uteblitt,vern,uten} = \frac{59}{30} \cdot 20 = 39,3 \approx 39 \quad N_{ønsket,vern,uten} = \frac{59}{30} \cdot 10 = 19,7 \approx 20$$

$$N_{ukorrekt,bryter,uten} = \frac{572}{265} \cdot 27 = 58,3 \approx 58 \quad N_{korrekt,bryter,uten} = \frac{572}{265} \cdot 238 = 513,7 \approx 514$$

I FASIT er det registrert 2 uønskede spontane vernresponser eller uselektive vilkårlige vernresponser. Disse to skal legges til estimerte vernresponser. Endelig resultat for estimeringen er oppsummert i Tabell 39.

Tabell 39 - Oppsummert estimerte og registrerte vern- og effektbryterresponser for kortslutninger uten feilskriveropptak

Antall vernresponser			Antall effektbryterresponser	
Korrekt	Uteblitt	Uønsket	Korrekt	Ukorrekt
576	39	12	514	58

De estimerte responsene legges til dem fra feilskriveropptakene, og dette gir et totalt datagrunnlag for vern- og effektbryterresponser. Tabell 40 oppsummerer resultatet.

Tabell 40 - Totalt datagrunnlag etter analyse fra feilskriveropptak og estimering av kortslutninger uten feilskriveropptak

Metode	Antall vernresponser			Antall effektbryterresponser	
	Korrekt	Uteblitt	Uønsket	Korrekt	Ukorrekt
Feilskriveropptak	295	20	10	238	27
Estimering og registret	576	39	12	514	58
TOTALT	871	59	22	752	85

7.4 Pålitelighetsindekser og feilfrekvens med alle metoder

Som nevnt innledningsvis i dette kapittelet ("7 Resultater med utgangspunkt i hendelser fra 420 kV-kraftledninger 2009-2014") så skal det beregnes pålitelighetsindekser og feilfrekvenser basert på tre "komplette" datagrunnlag:

- **Datagrunnlaget fra FASIT:** Data fra kapittelet "4.2.3.1.3 "Estimert"-metoden", hvor manuelle vurderinger av registreringer i FASIT-rapporter er komplimentert med estimerte korrekte vern- og effektbryterresponser.
- **Datagrunnlag fra terskelverdi-metoden og FASIT:** Datagrunnlaget fra terskelverdi-metoden på feilskriveropptak, summert med datagrunnlaget fra kapittel "4.4.2 Registrerte vern- og effektbryterresponser i FASIT fordelt på feil med og uten feilskriveropptak" for vern- og effektbryterresponser uten feilskriveropptak.
- **Datagrunnlag fra estimeringsmetoden:** Datagrunnlag fra estimeringsmetoden for vern- og effektbryterresponser uten feilskriveropptak, summert med datagrunnlaget fra terskelverdi-metoden på feilskriveropptak og uønskede spontane og uønskede uselektive vilkårlige vernresponser registrert i FASIT.

Pålitelighetsindeksene beregnes ved hjelp av datagrunnlaget for vernresponser og uttrykkene fra Formel 8, Formel 9 og Formel 10 (fra kapittel "3.2 Pålitelighetsindekser for vern").

Feilfrekvensen beregnes ved hjelp av datagrunnlaget for effektbryterresponser og uttrykkene fra Formel 11 og Formel 12 (fra kapittel "3.4 Feilfrekvens for effektbryterresponser").

7.4.1 Datagrunnlag basert på data fra FASIT

Pålitelighetsindeksene og feilfrekvensen beregnes basert på datagrunnlaget fra kapittelet "4.2.3.1.3 "Estimert"-metoden".

Av uønskede uselektive 3-polte vernresponser var det kun to tilfeller, oppdaget i tolket-metoden. Begge disse to antas å være korrekte i beregningen av "Tilgjengelighet"-indeksen. Tabell 41 viser pålitelighetsindeksene for vern etter den manuelle vurderingen av FASIT-rapporter.

Tabell 41 - Pålitelighetsindekser basert på manuell vurdering av data i FASIT

Datagrunnlag	Korrekt	Uteblitt	Uønsket	Tilgjengelighet, D	Sikkerhet, S	Pålitelighet, R
FASIT	997	5	5	0,9950	0,9950	0,9901

Tabell 42 oppsummerer beregningen av feilfrekvens for effektbrytere. Siden det ikke ble oppdaget noen ukorrekte effektbryterresponser ved den manuelle vurderingen av FASIT er feilfrekvensen lik null.

Tabell 42 - Feilfrekvens for effektbrytere basert på manuell vurdering av data i FASIT

Metode	Korrekt	Ukorrekt	Feilfrekvens
Estimert	880	0	0,0000

7.4.2 Datagrunnlag fra terskelverdi-metoden og FASIT

Pålitelighetsindeksene og feilfrekvensen beregnes av datagrunnlaget fra summen av:

- Terskelverdi-metoden på feilskriveropptak, med manuell vurdering av ukorrekte responser
- Datagrunnlaget fra kapittel "4.4.2 Registrerte vern- og effektbryterresponser i FASIT fordelt på feil med og uten feilskriveropptak" for vern- og effektbryterresponser uten feilskriveropptak

Uønskede uselektive 3-polte vernresponser fordeler seg mellom vernresponser med og uten feilskriveropptak:

- Med feilskriveropptak: Alle uønskede funnet i feilskriveropptakene er uønskede uselektive 3-polte vernresponser. Av de ti uønskede har seks av dem har klareringstid over 100 ms, og vil derfor regnes som uteblitte i kalkuleringen av tilgjengelighet. De resterende fire uønskede regnes som korrekte.
- Uten feilskriveropptak: Kun to tilfeller, oppdaget i tolket-metoden. Begge disse to antas å være korrekte i beregningen av "Tilgjengelighet"-indeksen.

Tabell 43 viser pålitelighetsindeksene for vern etter den manuelle vurderingen av FASIT-rapporter.

Tabell 43 – Pålitelighetsindekser basert på terskelverdi-metoden og manuell vurdering av ukorrekte vernresponser registrert i FASIT-rapporter

Datagrunnlag	Korrekt, N _c	Uteblitt, N _f	Uønsket, N _u	Tilgjengelighet D	Sikkerhet S	Pålitelighet R
Terskelverdi-metoden med feilskriveropptak	293	22	10	-	-	-
FASIT uten feilskriveropptak	673	4	4	-	-	-
Totalt	966	26	14	0,9642	0,9857	0,9602

Tabell 44 oppsummerer beregningen av feilfrekvens for effektbrytere. Det er kun ukorrekte effektbryterresponser fra feilskriveropptakene.

Tabell 44 - Feilfrekvens basert på terskelverdi-metoden og manuell vurdering av ukorrekte effektbryterresponser registrert i FASIT-rapporter

Datagrunnlag	Korrekt	Ukorrekt	Feilfrekvens
Terskelverdi-metoden med feilskriveropptak	238	27	-
FASIT uten feilskriveropptak	615	0	-
Totalt	853	27	0,0307

7.4.3 Datagrunnlag fra estimeringsmetoden

Pålitelighetsindeksene og feilfrekvensen beregnes av datagrunnlaget fra kapittel "

7.3 Estimeringsmetoden".

Totalt antall uønskede uselektive 3-polte vernresponser er 20, hvor 12 regnes som uteblitte og 8 som korrekte vernresponser ved beregning av tilgjengelighet. Tabell 45 oppsummerer pålitelighetsindeksene.

Tabell 45 – Pålitelighetsindekser basert på estimeringsmetoden

Datagrunnlag	Korrekt, N _c	Uteblitt, N _f	Uønsket, N _u	Tilgjengelighet D	Sikkerhet S	Pålitelighet R
Estimeringsmetoden	871	59	22	0,9253	0,9754	0,9149

Tabell 46 oppsummerer beregningen av feilfrekvens for effektbrytere.

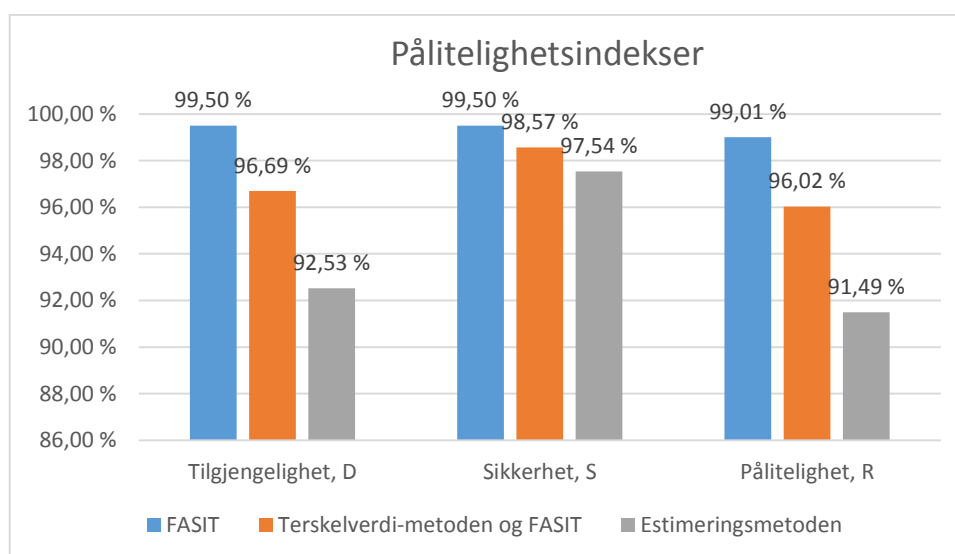
Tabell 46 - Feilfrekvens for effektbrytere basert på manuell vurdering av data i FASIT

Metode	Korrekt	Ukorrekt	Feilfrekvens
Estimert	752	85	0,1016

7.4.4 Pålitelighetsindekser og feilfrekvens oppsummert for alle "komplette" datagrunnlag
 Tabell 47 og Figur 60 viser pålitelighetsindeksene beregnet med de tre forskjellige "komplette" datagrunnlagene.

Tabell 47 - Pålitelighetsindekser sammenligning mellom manuell vurdering av FASIT-rapporter og manuell vurdering av feilskriveropptak og estimering

Datagrunnlag	Korrekt	Uteblitt	Uønsket	Tilgjengelighet, D	Sikkerhet, S	Pålitelighet, R
FASIT	997	5	5	0,9950	0,9950	0,9901
Terskelverdi-metoden og FASIT	966	26	14	0,9741	0,9857	0,9602
Estimeringsmetoden	871	59	22	0,9253	0,9754	0,9149



Figur 60 - Pålitelighetsindekser fra manuell vurdering av FASIT-rapporter og feilskriveropptak

Indeksene fra terskelverdi-metoden og estimering er som ventet lavere enn utgangspunktet fra FASIT, på grunn av de mange uteblitte responsene som er oppdaget i feilskriveropptakene. "Midt-scenarioet" hvor manuell tolkning av FASIT-rapporter er kombinert med terskelverdi-metoden gir forståelig nok indekser som ligger mellom de to andre.

Tabell 48 viser feilfrekvensen for effektbryterne, beregnet med de tre forskjellige "komplette" datagrunnlagene.

Tabell 48 - Feilstatestikk for effektbrytere, basert på feilskriveropptak og estimering

Datagrunnlag	Korrekt, N _c	Ukorrekt, N _b	Feilfrekvens, F
FASIT	880	0	0,00%
Terskelverdi-metoden og FASIT	853	27	3,07%
Estimeringsmetoden	752	85	10,16%

8 Drøfting

Målet med hele oppgaven er å bedre datagrunnlaget for vern- og effektbrytterresponser i FASIT. Det er presentert tre utkast på "komplette" datagrunnlag:

- **Datagrunnlaget fra FASIT**
- **Datagrunnlag fra terskelverdi-metoden og FASIT**
- **Datagrunnlag fra estimeringsmetoden**

Disse datagrunnlagene har ulike tilnærminger, fra "grunnleggende" vurderinger av FASIT til mer komplekse metoder ved hjelp av automatisk analyse av feilskriveropptak. Alle vurderingene og metodene bygger på forskjellige antakelser og datagrunnlagene har dermed varierende grad av usikkerhet. Ved å se på spredningen av pålitelighetsindekser for vern for de tre "komplette" datagrunnlagene i Figur 60 ("7.4.4 Pålitelighetsindekser og feilfrekvens oppsummert for alle "komplette" datagrunnlag"), er det tydelig at det er mye usikkerhet forbundet med datagrunnlaget for vernresponser. Økt grad av automatisering, i form av vurdering av feilskriveropptak og terskelverdier, ser ut til å gi økt andel ukorrekte responser, spesielt uteblitte. Dette trenger ikke være reelt, og kan skyldes at de manuelle vurderingene er gjort med for lite grunnlag, eller at de automatiske metodene presentert i oppgaven er for "følsomme".

Ved å se på "Tilgjengelighet"-indeksen i Figur 60, som bruker korrekte, uteblitte og uønskede uselektive 3-polte vernresponser som variabler, er det en endring på omtrent 7 % fra FASIT- til estimert-datagrunnlaget. Dette innebærer at en korrekt fastsetting av klareringstiden kan ha relativt store konsekvenser for pålitelighetsindeksene.

Dette kapitlet ser nærmere på usikkerheten i de datagrunnlagene som er presentert og de antakelsene som er tatt i metodene. Kapitlet tar også for seg oppgavens måte å kalkulere pålitelighetsindeksene til vernene og feilfrekvensen til effektbryterne, og antakelsene de baserer seg på.

8.1 Usikkerhet forbundet med datagrunnlaget fra FASIT

Det "komplette" datagrunnlaget funnet etter manuell gjennomgang av FASIT-rapportene er basert på metoder som gir rom for usikkerhet:

- Registreringskvaliteten i FASIT: Det er oppdaget oversette rapporter og registreringer i arbeidet med FASIT for denne oppgaven.
- Vurdering av totalt antall effektbrytterresponser basert på tilgjengelig informasjon: for effektbrytterresponsene før 2014 antas det at alle effektbrytere mot kraftledningen med feil var tilkoblet før feil.

Dette delkapitlet ser nærmere på disse metodene.

8.1.1 Registreringer i FASIT

FASIT er registreringsverktøyet for feilanalyse i kraftsystemet, og har ifølge [5] forbedringspotensial. Måten data er registrert i FASIT i dag har gitt noen utfordringer i arbeidet med denne oppgaven, spesielt når det kom til å finne riktig antall kortslutninger og vern- og effektbrytterresponser. Registreringer som har blitt oppfattet som ukorrekte er registrert, men ikke kontrollert av Statnett.

8.1.1.1 Antall kortslutninger

I kapitlet "

4.2.3 Manuell vurdering av FASIT-rapporter" kom det fram utfordringer med å finne rett antall kortslutninger beskrevet i FASIT-rapportene. Noen av utfordringene virket som om det skyldes feilregistreringer, mens andre kom av registreringsmulighetene i FASIT. Følgende registreringsrammer i FASIT gjorde at antall kortslutninger ble feil:

- Feil på svensk side: Gjør at det ikke er mulig å registrere anleggsdel med feil i FASIT.
- Mislykket prøveinnkobling: Ikke mulig å registrere i FASIT.
- Flere mislykkede GIK-er, i forbindelse med flere gjentakende feil. Det er kun mulig å registrere en mislykket GIK per feilnummer.
- To rapporter som omhandler de samme kortslutningene.

8.1.1.2 Vern- og effektbryterresponser

I FASIT registreres bryterkoblinger for hver bryter som har koblet ut og/eller inn i forbindelse med driftsforstyrrelsen. For hver bryterkobling registreres det hvilke vern som har sendt utløsemelding til bryteren. Dette fører til doble registreringer av vern- og effektbryterresponser når det hentes ut av FASIT, i de tilfellene flere enn en samleskinne var tilkoblet en ende av kraftledningen.

Om det skal være mulig å hente ut riktig antall vern- og effektbryterresponser fra en FASIT-rapport i fremtiden må Neste Generasjon FASIT (NGF) få annen logisk oppbygging om vern- og effektbryterresponser. En mulighet er å inkludere informasjon om bryterstillinger og antall vern ved hver stasjon, slik at det lett registreres mulig antall vern- og effektbryterresponser.

8.1.1.3 Feilregistreringer

I "Vedlegg C - Manuell vurdering av FASIT-rapporter" og "Vedlegg D - Manuell vurdering av vern- og effektbryterresponser registrert i FASIT" er det listet en del påståtte feilregistreringer. Disse er vurdert ukorrekte basert på feilskriveropptak, krav i FIKS og fravær av forklaring i FASIT-rapportene. Like fullt finnes eksempler på det motsatte: At FIKS og feilskriveropptak har gitt inntrykk av ukorrekte responser, men FASIT-rapporten kommenterer forløpet som korrekt. Disse vurderingene er Statnetts egne, og kan komme av bedre kunnskap om vern og brytere enn det som er presentert i denne oppgaven. Det innebærer at en del av de responsene som manuelt er vurdert ukorrekt i denne oppgaven, kan bli vurdert korrekt etter nøyere undersøkelser fra Statnett.

8.1.2 Antall effektbrytere tilkoblet før feil

For effektbryterresponsene før 2014 antas det at alle effektbrytere mot kraftledningen med feil var tilkoblet før feil. Dette er en antakelse som med høy sannsynlighet ikke er riktig. Gjennomgang av tidsfølgemeldelisten for aktuelle bryterkoblinger i 2014, viser at de kraftledningene som kan være tilkoblet to samleskinner, ofte ikke er det. Altså er det høyst sannsynlig at det er færre effektbryterresponser i årene før 2014 enn det som er med i denne oppgaven.

8.2 Usikkerhet forbundet med datagrunnlaget fra terskelverdi-metoden

Det "komplette" datagrunnlaget funnet i terskelverdi-metoden har, på grunn av følsomhetsprinsippet, en grad av usikkerhet. Usikkerheten skyldes følgende aspekt:

- Manuell analyse av ukorrekte vern- og effektbryterresponser funnet ved terskelverdi-metoden være ukorrekt.
- Terskelverdi-metoden må vurderes for følgende:
 - Kan metoden vurdere reelt korrekte vern- og effektbryterresponser ukorrekt?
 - Hva er konsekvensene av metodens bruk av hypotetiske klareringstider?
 - Burde metoden ha flere terskelverdier for vurdering av responsene?
 - Er tidsstemplingen i feilskriveropptakene korrekt?

Disse usikkerhetsaspektene sees nærmere på i dette delkapittelet.

8.2.1 Manuell analyse

Som nevnt finnes det tilfeller hvor klareringstiden kan være lengre enn 100 ms, og vernresponsen likevel er korrekt. Denne metoden tar ikke høyde for disse tilfellene. Det er derfor viktig at alle vernresponses som merkes "ukorrekt" av denne metoden blir undersøkt manuelt.

Alle metodene i denne oppgaven er sensitive for å tolke en respons som ukorrekt, og det er derfor viktig at responser som registreres som ukorrekte undersøkes nærmere.

8.2.2 Terskelverdi-metoden

Her gjennomgås usikkerhetsmomenter ved terskelverdi-metoden.

8.2.2.1 "Korrekt" er korrekt

Det er viktig at følsomhetsprinsippet fungerer for terskelverdi-metoden: det vil si at det skal lite til for at metoden karakteriserer en hendelse som ukorrekt, og mye til for at den blir karakterisert som korrekt. Når dette er tilfellet gjør det at feilanalytikere med stor sikkerhet kan stole på de automatiske metodenes korrekte vern- og effektbryterresponses, og kan konsentrere seg om å dobbeltsjekke de ukorrekte. Tabell 34 (fra kapittelet "

7.2.2.1 Vernresponses etter manuell vurdering av ukorrekte responses") viser sammenhengen mellom reelt korrekte og ukorrekte vernresponses, og terskelverdi-metodens korrekte og ukorrekte responses. Terskelverdi-metoden gjenkjenner 220 av de totalt 293 korrekte vernresponsesene, og karakteriserer korrekt 32 av de ukorrekte responsesene. Ingen reelt ukorrekte responses blir karakterisert som korrekte av terskelverdi-metoden. Her er det oppnådd målsetningen at alle metoden markerer som korrekt, er korrekte. Metoden baserer seg på korrekt fastsettelse av klareringstid og lysbuetid, og så lenge det ikke kan garanteres fungerer heller ikke metoden.

Forutsatt at det foreligger en automatisk metode som fastsetter klareringstid og lysbuetid korrekt, så viser datagrunnlaget i denne oppgaven at terskelverdi-metoden kan implementeres.

8.2.2.2 Flere uteblitte responses grunnet hypotetisk klareringstid

I terskelverdi-metoden er det benyttet to hypotetiske klareringstider:

- En hypotetisk klareringstid for å vurdere vernresponsen til det siste vernet som sender utløsemelding.
- En hypotetisk klareringstid for å vurdere for lange klareringstider som har ukorrekte effektbryterresponses (altså lysbuetid på over 27 ms).

Disse metodene baserer seg på noen antakelser som det er verdt å se nærmere på.

8.2.2.2.1 Hypotetisk klareringstid for siste utløsemelding

Et av verktøyene oppgaven presenterer er å lage en hypotetisk klareringstid for vernet med den seneste utløsemeldingen. Dette baserer seg på teorien om at brytetiden til effektbryteren er like lang uansett hvilket vern den får utløsemelding av først. Antakelsen styrkes av at [1] skal ha doble vern på 420-kV-kraftledninger, hvor hvert vern skal fungere uavhengig av det andre. Som kommentert i "Tabell 44 oppsummerer beregningen av feilfrekvens for effektbrytere. Det er kun ukorrekte effektbryterresponses fra feilskriveropptakene.

Tabell 44 - Feilfrekvens basert på terskelverdi-metoden og manuell vurdering av ukorrekte effektbryterresponses registrert i FASIT-rapporter

Datagrunnlag	Korrekt	Ukorrekt	Feilfrekvens
Terskelverdi-metoden med feilskriveropptak	238	27	-
FASIT uten feilskriveropptak	615	0	-

Totalt	853	27	0,0307
--------	-----	----	---------------

" og vist i Tabell 49 fører dette til flere uteblitte forsinkede vernresponser. Uten denne måten å kalkulere hypotetisk klareringstid er det vanskeligere for en analytiker å oppdage disse responsene.

Tabell 49 - Gjentatt vernrespons sammenlignet for det første og siste vernet som sender utløsemelding

	Tregeste vern korrekt	Tregeste vern uteblitt	Tregeste vern uønsket
Raskeste vern korrekt	140	12	0
Raskeste vern uteblitt	0	5	0
Raskeste vern uønsket	0	0	5

8.2.2.2 Hypotetisk klareringstid for ukorrekt effektbryterrespons

Terskelverdi-metoden foreslår en hypotetisk klareringstid for klareringstider som går ut over kravet (over 100 ms), som også har ukorrekt effektbryterrespons (lysbuetid over 27 ms). Denne hypotetiske klareringstiden kalkuleres ved at aktuell vernresponsstid summeres med åpningstid og en hypotetisk lysbuetid på 27 ms (siden 27 ms fremdeles er korrekt effektbryterrespons).

8.2.2.3 Andre terskelverdier

[26] påpeker at klareringstiden starter ved feilstart, og at vernstart ikke er en fullgod erstatning for feilstart for å kalkulere klareringstid. Feildeteksjonstidene kartlagt i denne oppgaven gjennom feilskriveropptak har et gjennomsnitt på 24 ms, med standardavvik på 60 ms. Dette innebærer stor spredning, noe som er forståelig med tanke på ulike typer feil distansevernene skal klare. Et distansevern må ha en viss måling av impedans for å starte og å sende utløsemelding til en effektbryter. Et åpenbart eksempel er lav-ohmige utviklende jordfeil, som illustrert i Figur 8. Disse vil få lang feildeteksjonstid (107 ms i Figur 8), ettersom det tar tid før feilen utvikler seg tilstrekkelig. Dette er korrekt respons av vernet, men vil som regel gi for lang klareringstid ifølge kravene i FIKS. Dermed kan det settes spørsmålsteget ved ukritisk inkludering av feildeteksjonstiden i klareringstiden.

Terskelverdi-metoden har ingen egen vurdering av feildeteksjonstiden basert på målinger av effekt og kortslutningsstrømmer. Ved en slik ekstra vurdering kunne det vært mulig å besluttet om hele, deler eller ingen del av feildeteksjonstiden skulle inkluderes i klareringstiden. En slik vurdering må i så fall se på hva kraftsystemet er dimensjonert for å tåle av kortslutningsstrømmer i feildeteksjonstiden. Dette er en vurdering som også inngår i dimensjoneringen av vernet, som igjen kan bety korrekt vernrespons selv om klareringstiden går utover kravet. En slik dimensjonering av feildeteksjonstiden er per dags dato noe som bør gjennomføres manuelt, ettersom det ikke er oppdaget gode automatiske metoder for den analysen.

8.2.2.4 Registrerings- og målefeil

De automatiske metodene presentert i denne oppgaven baserer seg på feilskriveropptak av strømsignal og vernmeldinger. Metodene tar ikke hensyn til feil i disse opptakene. Flere ting har blitt oppdaget i arbeidet med denne oppgaven, som indikerer at det finnes feil i opptakene:

8.2.2.4.1 Feilskriveropptak uten vernmeldinger

Siden det foreligger feilskriveropptak uten utløsemeldinger fra noe vern, og feilen er klarert korrekt, så må det i noen tilfeller ha skjedd at digitale markører ikke har blitt registrert. Dette er tydelig på hendelser som den nevnt, men kan også være tilfellet ved andre uteblitte vernrespons, hvor et av vernene ikke har registrert utløsemelding. Uregistrerte vernrespons kan tyde på feil med feilskriveren og ikke vernresponsene, og dette er noe som må klareres før vernresponsene inngår i statistikken.

8.2.2.4.2 Negative lysbuetider

Som nevnt i kapittel "7.2.1 Tidsintervaller i feilforløpet", er det funnet negative lysbuetider i feilskriveropptakene. Dette er en umulighet som kan komme av flere ting:

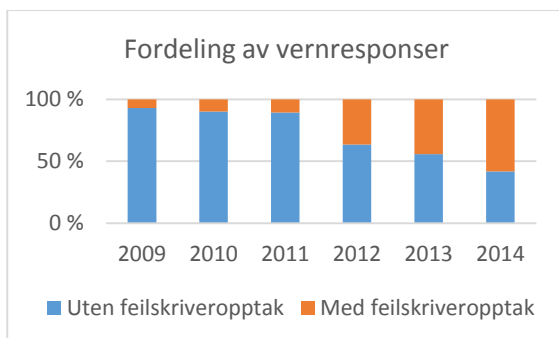
- Åpningstiden kan være for stor.
- Vernmeldingene kan ha feil tidsstempling.

De samme aspektene som gir negativ lysbuetid kan selvsagt også gi for liten lysbuetid, og dette kan innebære at flere effektbryterresponser er ukorrekte (med en lysbuetid på over 27 ms) enn det som er karakterisert i denne oppgaven.

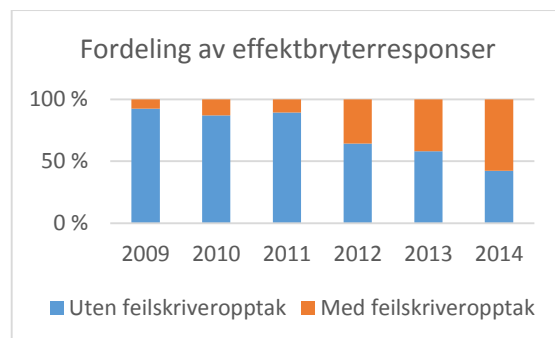
8.3 Usikkerhet forbundet med datagrunnlaget fra estimering-metoden

Det "komplette" datagrunnlaget funnet med estimering-metoden har en stor grad av usikkerhet. Antakelsen metoden baserer seg på er at kortslutningene uten feilskriveropptak har samme forhold mellom korrekte og ukorrekte responser som det er observert i kortslutningene med feilskriveropptak.

Figur 61 og Figur 62 viser fordelingen mellom vern- og effektbryterresponser som beskrives i feilskriveropptak, og de som ikke blir det. Begge figurene viser at omtrent 60 % av responsene ikke er dekket av feilskriveropptak. For estimeringsmetoden vil dette si at ca 60 % av de ukorrekte responsene i denne metoden ikke er observert, men antas å finnes i de kortslutningene uten feilskriveropptak. Dette innebærer stor usikkerhet, uten mulighet for å sikre resultatet ytterligere (siden det ikke finnes feilskriveropptak av disse vern- og effektbryterresponsene). Sett at de ukorrekte responsene observert i feilskriveropptakene er tolket korrekt, er det likevel sannsynlig at det er uoppdagete responser også i kortslutningene uten feilskriveropptak.



Figur 61 - Fordeling av vernresponser per år i prosent



Figur 62 - Fordeling av effektbryterresponser per år i prosent

8.3.1 Alternative metoder for estimering

For å øke sikkerheten forbundet med estimeringer er det sett på andre tilnærminger. Av de 33 kraftledningene som har hatt driftsforstyrrelser fra 2009-2014, er det funnet feilskriveropptak som beskriver hele eller deler av 20 av kraftledningene. Kraftledningene har ulik risiko for kortslutninger basert på deres omgivelser, for eksempel tyder interne undersøkelser i Statnett foreløpig på at det er 4 ganger så stor sannsynlighet for driftsforstyrrelser i høyland enn lavland [15]. Å anta at feilklareringssystemet på en kraftledning har likt forhold mellom sine korrekte og ukorrekte responser fra år til år er forståelig med tanke på at det er det samme feilklareringssystemet fra driftsforstyrrelse til driftsforstyrrelse.

Utfordringen med denne påstanden er at ukorrekte responser ofte fører til en av to ting:

1. Det gjennomføres utbedringer på nevnte feilklareringssystem, som gjør det mindre sannsynlig at feilklareringssystemet har ukorrekte responser igjen.
2. Responser vurderes til å være korrekte innenfor forutsetningene til feilklareringssystemet.

Basert på disse utfordringene ble det besluttet å se vekk i fra denne metoden for å estimere responser.

8.4 Påliteligheten til pålitelighetsindekser og feilfrekvens

For å beregne pålitelighetsindeksene i denne oppgaven er det tatt en del beslutninger:

- Hvert vern og hver effektbryter bryter tilegnes en respons, uavhengig av om det er ulike responser per fase.
- I tilfellet ulike responser per fase prioriteres responsene ukorrekte responser over korrekt. For vern prioriteres uønskede responser over uteblitte.
- I tilfellet doble brytere (to samleskinner tilkoblet) tilegnes begge bryterne samme respons.
- Uønskede uselektive vernresponser for 3-polt klarering av 1-fasefeil telles som korrekte ved beregning av tilgjengelighet, og som uønskede ved beregning av sikkerhet og pålitelighet.

Disse beslutningene har litt konsekvenser for hvordan pålitelighetsindeksene og feilfrekvensene tolkes, og det vil gjennomgås her.

8.4.1 Kun en respons per vern og effektbryter

De fleste vern og alle effektbrytere klarer feil fasevis. Noen feil som oppstår på feilklareringssystemet skjer kun i en av fasene. Beregningen av tilgjengelighet, sikkerhet og pålitelighet blir dermed gjort på et grunnlag som om feil som oppstår på kun en fase, skjer på alle. En spissing av denne tellemåten, slik at det ble telt fasevis-responser hadde ført til et større omfang i datagrunnlaget, gitt høyere indekser, og muligheter for å skille mellom "total-feil", hvor hele vernet responderer ukorrekt, og "del-feil" hvor responsene fordeler seg mellom korrekt og ukorrekt.

8.4.2 Doble brytere

Hvis en kraftledning er koblet til doble samleskinner, så er det ikke mulig å få egne strømpoptak av hver effektbryters klarering. Det innebærer at feilskriveropptaket viser klareringstiden til den siste bryteren som bryter kortslutningsstrømmen. En forsinket bryting av kortslutningsstrømmen (mer enn 27 ms lysbuetid) gir derfor to ukorrekte effektbrytterresponser. Dette øker usikkerheten til feilfrekvensen, ettersom det er usikkert om det var en eller to effektbrytere som var forsinket. I noen tilfeller vil denne usikkerheten kunne elimineres ved manuelle undersøkelser av bryterne.

8.4.3 Uønskede uselektive vernresponser for 3-polt klarering av 1-fasefeil

Ved den originale måten å beregne indekser på, som brukt i [25], vil uønskede uselektive 3-polte klareringer av 1-fasefeil ikke bli telt på tilgjengelighet i det hele tatt, selv om det er et vern som har respondert på en kortslutning. Dette ble det tatt høyde for i denne oppgaven ved beregning av indeksene ved å telle dem som korrekte eller uteblitte ved beregning av tilgjengelighet, og uønskede ved beregning av sikkerhet og pålitelighet.

8.5 Størrelsen på datautvalget

Datautvalget er kun kortslutninger fra 2009-2014 på 420 kV-kraftledninger med distansevern. Dette er en liten del av kraftsystemet. Beregning av pålitelighetsindekser og feilfrekvens blir som regel gjort for et større datagrunnlag, som illustrert i [25] for pålitelighetsindekser og [17] for feilfrekvens. Valget av datagrunnlag for denne oppgaven baserer seg på kvaliteten i FASIT-registreringene, som

antas å være høyest for 420-kV. Om resultatene her er overførbart til lavere spenningsnivå er usikkert.

9 Konklusjon

Målet med denne oppgaven har vært å skaffe et komplett datagrunnlag for å beregne pålitelighetsindekser for vern og feilfrekvens for effektbrytere. Ved analyse av feilskriveropptak, registreringer i FASIT og estimering av responser på kortslutninger uten feilskriveropptak, er det kommet fram til et datagrunnlag som gir lavere pålitelighetsindekser enn det FASIT alene gir grunnlag til. Pålitelighetsindekser i Tabell 50 ble beregnet ved tre metoder:

- Manuell vurdering av grunnlaget i FASIT-rapportene
- Resultatene fra terskelverdi-metoden sammen med grunnlag fra FASIT
- Resultatene fra estimering-metoden Resultatet er oppsummert i Tabell 50. Økt grad av automatisering gir økt andel ukorrekte responser.

Tabell 50 - Gjentatt resultater fra beregning av Pålitelighetsindekser

Metode	Tilgjengelighet, D	Sikkerhet, S	Pålitelighet, R
FASIT	99,50%	99,50%	99,01%
Terskelverdi-metoden og FASIT	97,41%	98,57%	96,02%
Estimering-metoden	92,53%	97,54%	91,49%

Disse analysene, og spesielt estimeringen, gir stor usikkerhet til resultatene, og det er tydelig at det ikke er entydig hvordan et komplett datagrunnlag ser ut.

Opgaven inneholder en del anbefalinger til videre analyse av vern- og effektbrytterresponser.

- Antall kortslutninger må registreres, inkludert antall mislykkede GIK-er og prøvekoblinger
- Vern- og effektbrytterresponser må enten registreres individuelt (ikke knyttet til hverandre), eller så må det komme tydelig frem hvor mange vern og brytere som skulle respondert, ved hjelp av bryterstillinger og antall distansevern i stasjonene.
- FASIT-rapporter bør inneholde informasjon som gjør det mulig å gå analysen i sømmene, helst i form av feilskriveropptak og bryterstillinger. Sett at det besluttes å ilegge en respons "korrekt" på tross av at klareringstid går utover kravene i FIKS, bør dette komme fram i rapporten.

Per dags dato er det ikke mulig å karakterisere alle vern- og effektbrytterresponser korrekt, kun basert på automatiske metoder. Foreløpig er automatikk i feilanalyse kun et hjelpemiddel for analytiker, i form av hypotetiske klareringstider som tydeliggjør det seneste vernets klareringstid og betydningen av effektbrytterresponsen for vernet. "Terskelverdi"-metoden fungerer godt, men forutsetter korrekt klareringstid. "Bølgekomponent"-metoden overser feil og risikerer å markere noen ukorrekte responser med korrekt respons. Dette må utbedres om det skal være mulig med automatiske metoder som kan stoles på nok til å gjøre noen analyser uten innblanding av analytiker.

Kalkuleringen av pålitelighetsindeksene for vern baserer seg på CIGRE-indeksene. I arbeidet med oppgaven ble det oppdaget en vernrespons som kalkuleringen i utgangspunktet ikke tar hensyn til, nemlig uønskede uselektive 3-polte vernresponser på 1-fasefeil. Disse ble det besluttet å inkludere i beregningen av tilgjengelighet ved å telle dem som enten korrekte eller uteblitte. De øvrige to indeksene, sikkerhet og pålitelighet, ble beregnet som vanlig.

Datagrunnlaget i oppgaven er kortslutninger fra 2009-2014 på 420-kV-kraftledninger med distansevern. Det er funnet feilskriveropptak som beskriver hele eller deler av omtrent 30 % av disse. Det er registrert at feilskriveropptakene inneholder feil som uteblitte registreringer av vernmeldinger

og tidsstempling av vernmeldinger som er for sene. Basert på dette er det tydelig at videre forskning trengs før det kan konkluderes endelig.

10 Veien videre

Opggaven har funnet flere aspekter som er interessante for videre analyse av vern- og effektbryterresponser.

10.1 Potensielle terskelverdier

"Terskelverdi"-metoden analyserer klareringstid ved hjelp av terskelverdier for klareringstid og lysbuetid. Terskelverdier for andre tidsintervaller, som feildeteksjonstid, vernresponstid og åpningstid, kan være av interesse. Det er ingen FIKS-krav til disse tidene, utover at de ikke må forårsake at klareringstiden går ut over 100 ms. På sikt kan det være interessant å sette terskelverdier tilknyttet den enkelte enhet.

Erfaringstall på feildeteksjonstid og vernresponstid kan gi et utgangspunkt for å sette en terskelverdi også her, men man må være obs på omstendigheter som kan gi tillatt lenger vernresponstid, som:

- EKKO-funksjon
- Lave kortslutningsstrømmer

Om gode måter å overvåke reell åpningstid er tilgjengelig, vil forventet åpningstid fra fabrikant være en god terskelverdi.

10.2 Utbedringer bølgekomponentmetoden

"Bølgekomponent"-metoden må utbedres om det skal være mulig å stole på klareringstiden som fastsettes. Aspekter som kan forskes på:

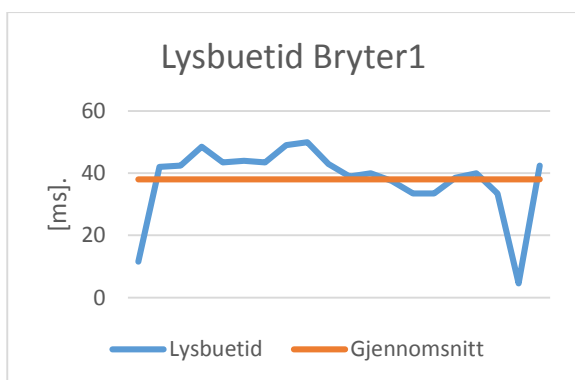
- Endringer av terskelverdiene som brukes
- Se på muligheten for å benytte målinger av jordstrøm i analysen

Som nevnt før er det viktig at metoden heller setter for stor klareringstid enn for liten.

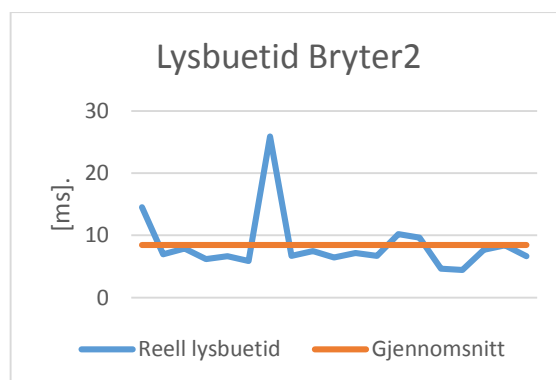
10.3 Tilstandsovervåkning

Statnett utvikler i dag i gang med en algoritme for å følge med på effektbryterens restlevetid, hvor lysbuetid er en viktig variabel. Slike måter å beregne behov for vedlikehold kan bli aktuelt for flere enheter i fremtiden [15].

Fastsetting av klareringstid gir flere muligheter enn karakterisering av vern- og effektbryterresponser. Ved å trende lysbuetid for den enkelte effektbryter er det mulig å følge med på om det er utvikling over tid. I Figur 63 og Figur 64 er det valgt ut to effektbrytere for å illustrere. Det er tydelig at Bryter1 har mye høyere gjennomsnittlig lysbuetid enn Bryter2. I tillegg er det lett å se at en lysbuetid for bryter2 er spesielt stor, og dette kan være nyttig informasjon for en analytiker.



Figur 63 - Lysbuetid bryter1



Figur 64 - Lysbuetid bryter2

Referanser

1. Statnett, (2012). *Funksjonskrav i kraftsystemet (FIKS) 2012*. Oslo: Statnett. p. 1-115.
2. CIGRE, W., (1999). *Reliable fault clearance and back-up protection: The International Council on Large Electric Systems (CIGRE)*.
3. FOR-2002-05-07-448. (2002 05 17). *Forskrift om systemansvaret i kraftsystemet*. Retrieved from: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2002-05-07-448?q=448> systemansvar.
4. Eggen, A. O., (2014). *FASIT kravspesifikasjon*. Trondheim: SINTEF Energi AS.
5. Kjølle, G. H., Vefsnmo, H., and Heggset, J., (2015). *Reliability data management by means of the standardised FASIT system for data collection and reporting*. CIREC conference proceedings, **2032**(9644): p. 1-5.
6. Schaug-Pettersen, J., et al., (2014). *AutoDIG -- Nytt verktøy for analyse av feilutvikling og driftsforstyrrelser i kraftsystemet*, in *NEF Teknisk møte*. p. 405-413.
7. Gjevne, S., (2013). *Kurs relevern, IFS-nr. 2222541*: Statnett. p. 1-75.
8. Nilsson, J. W. and Riedel, S. A., (2008). *Electric circuits*. 8th ed. ed. Upper Saddle River, N.J: Pearson/Prentice Hall.
9. Gjerde, O., et al., (2007). *Metodikk for beregning av pålitelighet av vern og kontrollutstyr*. Trondheim: SINTEF Energy Research. p. 1-97.
10. Kurpis, G. P., et al., (1993). *The New IEEE standard dictionary of electrical and electronics terms : (including abstracts of all current IEEE standards)*. 5th ed. ed. Institute of Electrical and Electronics Engineers. Vol. 100-1992. New York: Institute of Electrical and Electronics Engineers.
11. IEC. (1981-2015). *Electropeia: The World's Online Electrotechnical Vocabulary*. [cited 192-04-01, 192-06-18, 192-07-11, 448-11-02, 441-17-36, 441-17-38, 441-17-39, 448-11-31, 448-13-15, 603-05-06, 903-02-07; Retrieved from: <http://www.electropedia.org/>.
12. Bewley, L. V., (1951). *Traveling waves on transmission systems*. 2nd ed. ed. General electric series. New York: Wiley.
13. Høidalen, H. K., (2014). *TET4115 Power system analysis, Power system protection, upubliseret fagmateriale*. Trondheim: NTNU. p. 1-37.
14. Statnett, (2009). *Feil og avbrudd i totalsystemet (FASIT)*.
15. Bostad, A., (2016). *Statnetts feilskriveropptak og forhold til registrering av vernresponser, personlig kommunikasjon på tlf-nr: 23 90 40 30*, Gjelsten, T., Editor.
16. Baudart, C., et al., (2000). *User Guide for the Application of Monitoring and Diagnostic Techniques for Switching Equipment for Rated Voltages of 72.5 kV and above*. CIGRÉ Technical Brochure no. 167.
17. Statnett (2015). *Årsstatistikk 2014, Driftsforstyrrelser og feil i 33-420 kV-nettet*. 25-27.
18. Jingnan, Z., et al. (2015). *Comparison of wavelet and fourier analysis in harmonics in electric propulsive shipping system*. in *Mechatronics and Automation (ICMA), 2015 IEEE International Conference on*.
19. Chaari, O., Meunier, M., and Brouaye, F., (1996). *Wavelets: a new tool for the resonant grounded power distribution systems relaying*. Power Delivery, IEEE Transactions on, **11**(3): p. 1301-1308.
20. Megahed, A. I., Monem Moussa, A., and Bayoumy, A. E., (2006). *Usage of wavelet transform in the protection of series-compensated transmission lines*. Power Delivery, IEEE Transactions on, **21**(3): p. 1213-1221.
21. Fugal, D. L. (2009 16.01.2016). *Wavelets - "Beyond Comparison"*. Retrieved from: <http://www.atcourses.com/blog/index.php/tag/continuous-wavelet-transform/>.
22. Mallat, S. G., (1989). *A theory for multiresolution signal decomposition: the wavelet representation*. Pattern Analysis and Machine Intelligence, IEEE Transactions on, **11**(7): p. 674-693.

23. Abu-Elanien, A. E. B. and Salama, M. M. A., (2009). *A Wavelet-ANN Technique for Locating Switched Capacitors in Distribution Systems*. Power Delivery, IEEE Transactions on, **24**(1): p. 400-409.
24. Jayasinghe, J. A. S. B., et al., (1998). *A novel non-unit protection for series compensated EHV transmission lines based on fault generated high frequency voltage signals*. Power Delivery, IEEE Transactions on, **13**(2): p. 405-413.
25. Vefsnmo, H. and Kjølle, G., (2014). *Describing basic data for reliability analysis of the protection system*. Trondheim: SINTEF Energy Research. p. 1-55.
26. Ommedal, H. K. H., (2014). *Pålitelighetsindikatorer for vern i kraftsystemet*, in *Institutt for elkraftteknikk*. Trondheim: NTNU. p. 1-35.
27. Santoso, S., et al., (1996). *Power quality assessment via wavelet transform analysis*. Power Delivery, IEEE Transactions on, **11**(2): p. 924-930.

Vedlegg A - Vurderinger av vernresponser for "Tolkning"-metoden

Tabell 51 beskriver vurderinger av uklare kategoriseringer på vernresponser i FASIT-rapporter.

Tabell 51 - Vurderinger av vernresponser for "Tolkning"-metoden

ID	Klareringstid	Konklusjon
2009000003	69	2 korrekte
2009000363	?	2 Uønsket: Uselektiv 3-polt vernrespons
2012000024	?	1 korrekt

Vedlegg B - Vurderinger av effektbryterresponser for "Tolkning"-metoden

Tabell 52 beskriver vurderinger av uklare kategoriseringer på effektbryterresponser i FASIT-rapporter.

Tabell 52 - Vurderinger av effektbryterresponser for "Tolkning"-metoden

ID	Klareringstid	Konklusjon
2009000003	69	4 korrekte
2011000300	?	1 korrekt
2011000303	?	1 korrekt
2011000869	?	1 korrekt
2012000106	?	2 korrekte

Vedlegg C - Manuell vurdering av FASIT-rapporter

I Tabell 53 er vurderingene som er bakgrunnen for resultatene i Tabell 13 - Resultat manuell vurdering av FASIT.

Tabell 53 - Manuelle vurderinger av FASIT-rapporter

År	ID	Kommentar
2009	2009000003	Mislykket prøvekopling ikke inkludert i FASITs "mislykket GIK", men inkludert i manuell vurdering.
2010	2010000013	Feil registrering på "antall gjentakende feil". Burde vært "3".
2010	2010000480	Mislykket prøvekopling ikke inkludert i FASITs "mislykket GIK", men inkludert i manuell vurdering.
2011	2011000100	Mislykket GIK ikke registrert.
2011	20011000303	Mislykket GIK ikke registrert.
2011	2011000742	Feil registrering på "antall gjentakende feil". Burde vært "0".
2011	2011000744	Feil registrering på "antall gjentakende feil". Burde vært "2".
2011	2011000773	Feil registrering på "antall gjentakende feil". Burde vært "2".
2011	2011000869	Feil registrering på "antall gjentakende feil". Burde vært "0".
2011	2011021542	Feil registrering på "antall gjentakende feil". Burde vært "3".
2012	2012000106	2 gjentakende feil hvor begge har mislykket GIK: Dette tar metoden for å beregne kortslutninger ikke høyde for.
2013	2013000291	Siden feilen er på svensk side blir ikke det registrert anleggsdel med feil "kraftledning". Oppdaget via vernresponser.
2013	2013000066	Mislykket GIK ikke registrert.
2013	2013000068	Mislykket GIK ikke registrert. Feil registrering på "antall gjentakende feil". Burde vært "2".
2013	2013000967	Registrert som mislykket GIK, men det var pga feil på bryter, ikke stående feil: Dette tar metoden for å beregne kortslutninger ikke høyde for.
2013	2013002828	Mangler en registrering av kortslutningene på den andre kraftledningen.
2014	2014000038	Siden feilen er på svensk side blir ikke det registrert anleggsdel med feil "kraftledning". Oppdaget via vernresponser.
2014	2014000148	Feil registrering på "antall gjentakende feil". Burde vært "2".
2014	2014000187	Ikke registrert verntype, men kommentarfelt avslører differensialvern. Ikke telt ved manuell optelling.
2014	2014000192	Mislykket GIK ikke registrert.
2014	2014000197	Mislykket GIK ikke registrert.
2014	2014000205	Feil registrering på "antall gjentakende feil". Burde vært "2".
2014	2014000214	Feil registrering på "antall gjentakende feil". Burde vært "3".
2014	2014000217	Feil registrering på "antall gjentakende feil". Burde vært "2".
2014	2014000253	Feil registrering mislykket GIK. GIK var vellykket.
2014	2014000257	To rapporter, 2014000257 og 2014000188, beskriver samme kortslutninger. Kun en telt ved manuell optelling (2014000188).
2014	2014000461	Mislykket GIK ikke registrert.
2014	2014000852	Siden feilen er på svensk side blir ikke det registrert anleggsdel med feil "kraftledning". Oppdaget via vernresponser.
2014	2014001314	Mislykket GIK ikke registrert.
2014	2014001434	Feil registrering mislykket GIK. GIK var vellykket.

2014	2014001490	Feilen oppstår grunnet en feil på en tilkoblet kabel. Blir overhode ikke registrert anleggsdel med feil "kraftledning". Oppdaget via vernresponser.
-------------	------------	---

Vedlegg D - Manuell vurdering av vern- og effektbryterresponser registrert i FASIT

I Tabell 54 vurderingene som er bakgrunnen for resultatene i Tabell 14 og Tabell 15.

Tabell 54 - Manuelle vurderinger av vern- og effektbryterresponser registrert i FASIT

År	ID	Antall responser fjernet	Kommentar
2009	2009000207	4 vern og 4 brytere. Alle korrekte.	To rapporter, 2009000207 og 2009000641, beskriver samme kortslutninger. Kun en telt ved manuell opptelling (2009000641).
2009	2009000411	2 vern og 2 brytere. Alle korrekte.	Dobbelt registrert, fordi hver bryterkobling har registrert to vernresponser.
2009	2009000413	2 vern og 2 brytere. Alle korrekte.	Dobbelt registrert, fordi hver bryterkobling har registrert to vernresponser.
2011	2011000100	1 vern og 1 bryter. Begge korrekte.	Registrert feil på 420 kV. Var 132 kV.
2011	2011000860	2 vern og 2 brytere. Alle korrekte.	Dobbelt registrert, fordi hver bryterkobling har registrert to vernresponser.
2011	2011000861	4 vern og 4 brytere. Alle korrekte.	Dobbelt registrert, fordi hver bryterkobling har registrert to vernresponser.
2011	2011000862	4 vern og 4 brytere. Alle korrekte.	Dobbelt registrert, fordi hver bryterkobling har registrert to vernresponser.
2011	2011000865	2 vern og 2 brytere. Alle korrekte.	Dobbelt registrert, fordi hver bryterkobling har registrert to vernresponser.
2011	2011000866	6 vern og 6 brytere. Alle korrekte.	To rapporter, 2011000866 og 2011029283, beskriver samme kortslutninger. Kun en telt ved manuell opptelling (2011029283).
2011	2011029283	2 vern og 2 brytere. Alle korrekte.	Dobbelt registrert, fordi hver bryterkobling har registrert to vernresponser.
2013	2013000452	4 vern og 4 brytere. Alle korrekte	To rapporter, 2013000452 og 2013000475, beskriver samme kortslutninger. Kun en telt ved manuell opptelling (2013000475).
2013	2013000475	2 vern og 2 brytere. Alle korrekte.	Dobbelt registrert, fordi hver bryterkobling har registrert to vernresponser.
2013	2013000960	2 vern og 2 brytere. Alle korrekte.	Dobbelt registrert, fordi hver bryterkobling har registrert to vernresponser.
2013	2013000966	1 vern og 1 bryter. Vern "tidlig" og bryter korrekt.	Vern mot transformator, ikke kraftledning.
2014	2014000611	4 vern og 4 brytere. Alle korrekte.	Dobbelt registrert, fordi hver bryterkobling har registrert to vernresponser.
2014	2014001336	4 vern og 4 brytere. Alle korrekte.	Dobbelt registrert, fordi hver bryterkobling har registrert to vernresponser.

Vedlegg E - Tvilstilfeller manuell vurdering av feilskriveropptak

Tabell 55 og Tabell 56 er oversiktene over manuelle vurderinger gjort på alle vern- og effektbryterresponser fra feilskriveropptak.

Tabell 55 – Manuelle vurderinger av vernresponser for vern1

ID	Hypotetisk klareringstid	Konklusjon
287508	94,7	Uønsket: Løste 3polt på 1polt feil
281369	131	Uønsket: Løste 3polt på 1polt feil
281503	449	Uteblitt: Forsinket: Lavohmig feil, som ikke løste innen 300 ms.
160420	129,5	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160420	120	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160428	130,5	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160428	122	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160444	129,5	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160452	130	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160460	131	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160468	130	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160476	130,5	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160484	130,5	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160492	120	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160500	121	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160508	120	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160516	121	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160524	120,5	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160532	120	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160540	121	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160548	120,5	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160556	160,5	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160564	110,5	Korrekt: Effektbryterresponsen er årsaken til den lange klareringstiden
285795	78,05	Uønsket: Løste 3polt på 1polt feil

281566	104,5	Uteblitt: Forsinket
281610	107	Uønsket: Løste 3polt på 1polt feil
281632	105,5	Uteblitt: Forsinket
281676	106	Uteblitt: Forsinket
281720	109	Uteblitt: Forsinket
281741	100,5	Uteblitt: Forsinket
281763	109	Uteblitt: Forsinket
281817	113	Uteblitt: Forsinket
282077	102,5	Uønsket: Løste 3polt på 1polt feil

Tabell 56 - Manuelle vurderinger av vernresponser for vern2

ID	Hypotetisk klareringstid	Konklusjon
287504	91,2	Uteblitt: Ingen signal
287508	178,45	Uønsket: 3 polt på 1polt feil
281369	149,75	Uønsket: 3 polt på 1polt feil
287522	102,8	Uteblitt: Forsinket
287524	103,55	Uteblitt: Forsinket
281444	100,5	Uteblitt: Forsinket
281503	447	Uteblitt: Ingen signal
160420	137,5	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160420	120	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160428	134,5	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160428	122	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160444	164	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160452	166	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160460	155	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160468	166	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160476	172	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160484	167,5	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160492	165	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160500	150	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160508	152	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160516	154,5	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.

160524	155,5	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160532	161,5	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160540	159	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160548	157,5	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
160556	160,5	Uteblitt: Ingen signal
160564	140	Korrekt: Forsinket, pga. feil oppfattet i 2.sone, og samband bruker lang tid. Ingen feil på vernet.
285795	92,05	Uønsket: 3 polt på 1polt feil
281610	76,5	Uønsket: 3 polt på 1polt feil
281632	178	Uteblitt: Forsinket
281741	100,5	Uteblitt: Forsinket
281763	113	Uteblitt: Forsinket
287540	107,25	Uteblitt: Forsinket
287542	101,5	Uteblitt: Forsinket
281817	175,5	Uteblitt: Forsinket
281868	104,5	Uteblitt: Forsinket
281887	109	Uteblitt: Forsinket
282077	102,5	Uønsket: 3polt på 1polt feil

Vedlegg F - Utgreiing uttrykk for estimering av responser

Med utgangspunkt i *Formel 15* og *Formel 16* er framgangsmåten følgende for å få *Formel 17*

(1) Formel 15 gir:

$$N_{u,uten} = \frac{N_{u,med}}{N_{c,med}} \cdot N_{c,uten}$$

(2) Formel 16 gir:

$$N_{u,uten} = N_{respons,uten} - N_{c,uten}$$

(3) (1) og (2) gir:

$$\frac{N_{u,med}}{N_{c,med}} \cdot N_{c,uten} = N_{respons,uten} - N_{c,uten}$$

(4) (3) gir:

$$N_{u,med} \cdot N_{c,uten} = N_{respons,uten} \cdot N_{c,med} - N_{c,uten} \cdot N_{c,med}$$

(5) (4) gir:

$$N_{c,uten} \cdot (N_{u,med} + N_{c,med}) = N_{respons,uten} \cdot N_{c,med}$$

(6) (5) gir:

$$N_{c,uten} = \frac{N_{respons,uten} \cdot N_{c,med}}{N_{u,med} + N_{c,med}}$$

(7) (6) og Formel 16:

$$N_{c,uten} = \frac{N_{respons,uten}}{N_{respons,med}} \cdot N_{c,med}$$

... som er en av uttrykkene i Formel 17. Det andre uttrykket finnes på samme måte.

Vedlegg G - MATLAB-kode for bølgekomponent-metoden

Her er MATLAB-koden for bølgekomponent-metoden.

```
clear all
% Henter fef og filnavn (tex)
FefID = xlsread('liste_feilskriveropptak.xlsx','A2:A111');
[num, tex, raw] = xlsread('liste_feilskriveropptak.xlsx','G2:G111');

%starter å telle rader
rad = 1;

w = length(FefID); %Antall feilskriveropptak
for i = 1:w

    %Laster ned relevante struct
    filplass = '\\sambaad.stud.ntnu.no\theresgj\Documents\MATLAB\fef\';
    fefid = num2str(FefID(i));
    mellom = '_';
    filnavn = tex(i);
    sammen = strcat(filplass,filnavn);
    string = sammen[2];
    load (string);

    %Henter ut strømsignal for hver fase
    default_fields = {'I_L1', 'I_L2', 'I_L3'};

    %Finner tidslinje
    ind = ismember(cellfun(@lower, {tss.friendlyname}, 'UniformOutput', false), ...
        cellfun(@lower, default_fields, 'UniformOutput', false));
    tss = tss(ind);
    pre_fault = round((tss(1).ts.trigger-tss(1).ts.t0)*24*60*60*1000);
    dt = tss(1).ts.dt;
    dt_ms = dt*1000;
    orgt = (0:length(tss(1).ts.data)-1)*dt_ms';
    orgt = orgt - pre_fault;

    %Henter ut data for strømsignalene
    ts = [tss.ts];
    orgdata = [ts.data];
    [h, g]= size(orgdata);
    posKorts = [1 length(orgdata)];

    %Finner kortslutningsstrøm i signalet
    orgStordata = 2*orgdata(:,1)+2*orgdata(:,2)-2*orgdata(:,3); %Kombinerer fasene til et modersignal
    orgabsdata = abs(orgStordata);
    orgmaxd2 = max(orgabsdata)/4;
    [orgpkd, orglocsd] = findpeaks(orgabsdata,orgt,'MinPeakHeight',orgmaxd2,'MinPeakDistance',9);

    %Finner antall kortslutninger
    if (max(orglocsd)-min(orglocsd))>1000
        halv = round(((max(orglocsd)-min(orglocsd))/2)/(orgt(2)-orgt(1))+1);
        posKorts = [1 halv;(halv-(27/(orgt(2)-orgt(1)))) length(orgdata)];
    end

    antKorts = size(posKorts);
    antKorts = antKorts(1);
    faseKlarert = 0;

    for feilnr = 1 :antKorts
```

```

posKort = posKorts(feilnr,:);
data = orgdata(posKort(1):posKort(2),:);
stordata = orgStordata(posKort(1):posKort(2));
t = orgt(posKort(1):posKort(2));

%FEILSTART
%Starter et bevegelig vindu for å finne start på feilen.

start = 10/dt_ms;
vindu = 10/dt_ms;      %Størrelsen på vinduet (tilsvare 10 ms)
slutt = start + vindu*2;
testt = t(start:slutt);
testdata = stordata(start:slutt);

% Analyserer det første vinduet med bølgekomponent-analyse for å
% finne en terskelverdi for "før feil"-karakteristikk
[Ch,Lh] = wavedec(testdata,1,'haar');
D1h = wrcoef('d',Ch,Lh,'haar',1);

[C4,L4] = wavedec(testdata,1,'db4');
D14 = wrcoef('d',C4,L4,'db4',1);

[C8,L8] = wavedec(testdata,1,'db8');
D18 = wrcoef('d',C8,L8,'db8',1);

[C10,L10] = wavedec(testdata,1,'db10');
D110 = wrcoef('d',C10,L10,'db10',1);

pks1 = [max(abs(D1h)) max(abs(D14)) max(abs(D18)) max(abs(D110))];
startpk = max(pks1)*2;   %Terskelverdi for før feil

sample = 3;           %En teller for hvor langt vindet har beveget seg
pk = 0.01;           %Utgangspunkt for sammenligning terskelverdi

while pk < startpk
    start = sample * vindu + vindu;
    slutt = start + vindu;
    if slutt > length(t)
        pk = startpk + 1;
    else
        testt = t(start:slutt);
        testdata = orgStordata(start:slutt);

        [Ch,Lh] = wavedec(testdata,1,'haar');
        D1h = wrcoef('d',Ch,Lh,'haar',1);
        [pksh, loc] = findpeaks(abs(D1h),testt,'SortStr','descend','NPeaks',1);

        [C4,L4] = wavedec(testdata,1,'db4');
        D14 = wrcoef('d',C4,L4,'db4',1);
        [pks4, loc4] = findpeaks(abs(D14),testt,'SortStr','descend','NPeaks',1);

        [C8,L8] = wavedec(testdata,1,'db8');
        D18 = wrcoef('d',C8,L8,'db8',1);
        [pks8, loc8] = findpeaks(abs(D18),testt,'SortStr','descend','NPeaks',1);

        [C10,L10] = wavedec(testdata,1,'db10');
        D110 = wrcoef('d',C10,L10,'db10',1);
        [pks10, loc10] = findpeaks(abs(D110),testt,'SortStr','descend','NPeaks',1);

    pks = [pksh pks4 pks8 pks10];

```

```

    if isempty(pks)
        sample = sample + 1;
    else
        [pk, lo] = max(pks(:));
        sample = sample + 1;
    end
end
%Datsett for videre analyse
T = t(start:length(t));
Data = data(start:length(data),:);

if length(T)<20/dt_ms
    sample = 3;           %En teller for hvor langt vindet har beveget seg
    pk = 0.01;           %Utgangspunkt for sammenligning terskelverdi
    startpk = startpk*0.9; %Terskelverdi for før feil
end
end

%Finner faktisk feilstart
if lo == 1
    feilstart = [loch(1) loch(1)];
elseif lo == 2
    feilstart = [loc4(1) loc4(1)];
elseif lo == 3
    feilstart = [loc8(1) loc8(1)];
else
    feilstart = [loc10(1) loc10(1)];
end

%Starter å se på hver fase for å gjenkjenne feil klartert og
%feiltype
faseTider = [feilstart 0; feilstart 0; feilstart 0];
faseGjennomsnitt = [0 0 0];

for fase = 1:g
    faseData = Data(:,fase);
    ingenfeil = 0;

    [Chelefaseh,Lhelefaseh] = wavedec(faseData,1,'haar');
    D1helefaseh = wrcoef('d',Chelefaseh,Lhelefaseh,'haar',1);
    [pkshelefaseh, lochelefaseh] = findpeaks(abs(D1helefaseh),T,'SortStr','descend','NPeaks',1);

    if ingenfeil > 0
    else
        testfaset = T(startfase:sluttfase);
        testfasedata = faseData(startfase:sluttfase);
        [Cfaseh,Lfaseh] = wavedec(testfasedata,1,'haar');
        D1faseh = wrcoef('d',Cfaseh,Lfaseh,'haar',1);

        pksfase1 = [max(abs(D1faseh))];
        startfasepk = max(pksfase1);

        if startfasepk > 0.02
            ingenfeil = 5;
        elseif startfasepk == 0
            pk = 0.01;
            sample = sample + 3;
        else
            pk = startfasepk*5;           %Terskelverdi
            sample = sample + 3;
        end
    end
end

```

```

    end
    end
elseif startfasepk == 0
    pk = 0.01;
    sample = 3;
else
    pk = startfasepk*5;          %Terskelverdi
    sample = 3;                 %En teller for hvor langt vindet har beveget seg
end

if ingenfeil > 0

else
    while pk > startfasepk
        slutfase = length(faseData)-sample * vindu;
        startfase = slutfase - vindu;
        if startfase<=0
            startfase = 1;
            startfasepk = pk+1;
        end
        testfaset = T(startfase:slutfase);
        testfasedata = faseData(startfase:slutfase);

        if length(testfaset)<vindu
            startfasepk = pk+1;
            ingenfeil = 6;
        else
            [Cfaseh,Lfaseh] = wavedec(testfasedata,1,'haar');
            D1faseetterh = wrcoef('d',Cfaseh,Lfaseh,'haar',1);
            [pksfaseh, locfaseh] = findpeaks(abs(D1faseetterh),testfaset,'SortStr','descend','NPeaks',1);

            if isempty(pksfaseh)
                sample = sample + 1;
            else
                pksfase = [pksfaseh(1)];
                startfasepk= max(pksfase);
                sample = sample + 1;
            end
        end
    end
end

    %Sjekker at det ikke er en impuls.
    sample = sample + 2;
    %Datsett for videre analyse
    faseData = faseData(1:slutfase);

    while pk > startfasepk
        slutfase = length(faseData)-sample * vindu;
        startfase = slutfase - vindu;
        if startfase<=0
            startfase = 1;
            startfasepk = pk+1;
        end
        testfaset = T(startfase:slutfase);
        testfasedata = faseData(startfase:slutfase);

        if length(testfaset)<vindu
            startfasepk = pk+1;
            ingenfeil = 6;
        else

```

```

[Cfaseh,Lfaseh] = wavedec(testfasedata,1,'haar');
D1faseetterh = wrcoef('d',Cfaseh,Lfaseh,'haar',1);
[pksfaseh, locfaseh] = findpeaks(abs(D1faseetterh),testfaset,'SortStr','descend','NPeaks',1);

if isempty(pksfaseh)
    sample = sample + 1;
else
    pksfase = [pksfaseh(1)];
    startfasepk= max(pksfase);
    sample = sample + 1;
end
end
end

if ingenfeil ==0
    faseKlarert = faseKlarert + 1;
end
%Finner feilklarert
if isempty(locfaseh)

else
    feilklarert = [locfaseh(1)+6*dt_ms locfaseh(1)+6*dt_ms]; %6 ms legges til for å v're sikrere på å
ikke ha mindre klareringstid enn reelt

    %Datasett for videre analyse
    faseData = faseData(1:sluttfase);
    faseTider(fase,2) = feilklarert(1);

    %Type feil
    [Cfase,Lfase] = wavedec(faseData,1,'haar');
    D1typefase = wrcoef('d',Cfase,Lfase,'haar',1);
    D1abstypfase = abs(D1typefase);
    D1meantypfase = mean(D1abstypfase);

    faseGjennomsnitt(fase) = D1meantypfase;
end
end
end
%Type feil fortsetter
[str, feilbefengtfase] = max(faseGjennomsnitt(:));
Antallfeilbefengtfase = 1;
restFaser = faseGjennomsnitt;
restFaser(feilbefengtfase) = [];

for flerefeil = 1:2
    if str/2<=restFaser(flerefeil) && str >0
        Antallfeilbefengtfase = Antallfeilbefengtfase+1;
    end
end

fase1Tider = faseTider(1,2) - faseTider(1,1);
fase2Tider = faseTider(2,2) - faseTider(2,1);
fase3Tider = faseTider(3,2) - faseTider(3,1);

if fase1Tider<10 || fase2Tider<10 || fase3Tider<10
    faseKlarert = 1;
end

if faseKlarert>1 || feilnr==2

```

```

    %Skriver i excel
    skrift=[filnavn fefid feilnr default_fields(1) faseTider(1,1) faseTider(1,2) dt_ms faseKlarert
Antallfeilbefengtfase;
        filnavn fefid feilnr default_fields(2) faseTider(2,1) faseTider(2,2) dt_ms faseKlarert
Antallfeilbefengtfase;
        filnavn fefid feilnr default_fields(3) faseTider(3,1) faseTider(3,2) dt_ms faseKlarert
Antallfeilbefengtfase];
    plass=strcat('A',num2str(rad));
    xlswrite ('Responstider.xlsx',skrift,'Ark1',plass);
    rad = rad+3;
else
    %Skriver i excel
    skrift=[filnavn fefid feilnr default_fields(feilbefengtfase) faseTider(feilbefengtfase,1)
faseTider(feilbefengtfase,2) dt_ms faseKlarert Antallfeilbefengtfase];
    plass=strcat('A',num2str(rad));
    xlswrite ('Responstider.xlsx',skrift,'Ark1',plass);
    rad = rad+1;
end
end
end

```

end

Vedlegg H - Klareringstid satt av manuell vurdering av feilskriveropptak

Tabell 57 oppsummerer resultatet fra manuell vurdering av klareringstiden på feilskriveropptakene.

Tabell 57 - Manuell vurdering av klareringstid på feilskriveropptak

ID	År	Feilnr	Fase	Klareringstid	Feilbefengte faser	Klarerte faser
287496	2009	1	L1	57	1	1
287696	2009	1	L2	54	1	1
287498	2009	1	L3	77,2	1	1
281906	2010	1	L1	49	1	1
281906	2010	2	L2	50	2	3
281906	2010	2	L3	39	2	3
281916	2010	1	L2	49,5	1	1
281769	2011	1	L3	68,5	1	1
281772	2011	1	L1	49,5	1	3
281772	2011	1	L2	47	1	3
281772	2011	1	L3	48,5	1	3
281775	2011	1	L2	69	1	1
281221	2011	1	L1	99,6	2	3
281221	2011	1	L2	94,2	2	3
281221	2011	1	L3	99,4	2	3
287482	2011	1	L2	79,8	1	1
287536	2011	1	L2	60	1	1
287536	2011	2	L1	60	1	3
287536	2011	2	L2	61	1	3
287536	2011	2	L3	60	1	3
287485	2011	1	L2	80,3	1	1
287538	2011	1	L2	60,05	1	1
287540	2011	1	L1	79,3	2	3
287540	2011	1	L2	79,3	2	3
287540	2011	1	L3	83,5	2	3
287542	2011	1	L1	78,75	2	3
287542	2011	1	L2	78,75	2	3
287542	2011	1	L3	73,75	2	3
281312	2012	1	L1	61	1	1
287488	2012	1	L2	68	1	1
287544	2012	1	L2	67,55	1	1
287491	2012	1	L1	68,8	1	1
287546	2012	1	L1	58,8	1	1
287504	2012	1	L1	87,7	2	3
287504	2012	1	L2	86	2	3
287504	2012	1	L3	91,2	2	3
281566	2012	1	L1	71,5	1	3
281566	2012	1	L2	72,5	1	3

281566	2012	1	L3	72	1	3
281841	2012	1	L1	50,7	2	3
281841	2012	1	L2	71,7	2	3
281841	2012	1	L3	69	2	3
281868	2012	1	L1	75,8	1	3
281868	2012	1	L2	72,3	1	3
281868	2012	1	L3	88,5	1	3
281446	2012	1	L3	40,67	1	1
239997	2013	1	L1	59,2	1	1
240151	2013	1	L1	50,2	1	1
281327	2013	1	L1	53,5	3	3
281327	2013	1	L2	48	3	3
281327	2013	1	L3	56,2	3	3
281587	2013	1	L1	81,5	3	3
281587	2013	1	L2	80	3	3
281587	2013	1	L3	76,5	3	3
287508	2013	1	L1	90,5	2	3
287508	2013	1	L2	85,2	2	3
287508	2013	1	L3	94,7	2	3
281610	2013	1	L1	75	1	3
281610	2013	1	L2	76,5	1	3
281610	2013	1	L3	74,5	1	3
281333	2013	1	L3	60,7	1	1
287527	2013	1	L1	43	2	3
287527	2013	1	L2	50,5	2	3
287527	2013	1	L3	52,5	2	3
287520	2013	1	L1	78,55	1	1
281974	2013	1	L1	49	1	1
287522	2013	1	L1	79,8	1	1
281985	2013	1	L1	51	1	1
287524	2013	1	L1	79,8	1	1
281996	2013	1	L1	51	1	1
282006	2013	1	L2	40,5	1	1
287528	2013	1	L1	51,5	2	3
287528	2013	1	L2	51	2	3
287528	2013	1	L3	51,5	2	3
287526	2013	1	L2	80,3	1	1
282040	2013	1	L2	40,5	1	1
281503	2013	1	L1	447	1	3
281503	2013	1	L2	449	1	3
281503	2013	1	L3	447	1	3
281632	2013	1	L1	102,5	2	3
281632	2013	1	L2	97	2	3
281632	2013	1	L3	105,5	2	3

285795	2013	1	L1	70,25	1	3
285795	2013	1	L2	78,05	1	3
285795	2013	1	L3	69,55	1	3
281653	2014	1	L1	88	1	3
281653	2014	1	L2	80,5	1	3
281653	2014	1	L3	80,5	1	3
287529	2014	1	L1	37,5	2	3
287529	2014	1	L2	40,5	2	3
287529	2014	1	L3	40,5	2	3
281777	2014	1	L3	43,5	1	1
281784	2014	1	L3	68,5	1	1
287674	2014	1	L3	60,2	1	1
281787	2014	1	L1	65	1	3
281787	2014	1	L2	68,5	1	3
281787	2014	1	L3	67,5	1	3
287676	2014	1	L1	61,2	1	3
287676	2014	1	L2	57,2	1	3
287676	2014	1	L3	59,5	1	3
180153	2014	1	L3	49,8	1	1
180174	2014	1	L1	50,5	2	3
180174	2014	1	L2	48	2	3
180174	2014	1	L3	50,5	2	3
180188	2014	1	L1	49,8	2	3
180188	2014	1	L2	47,5	2	3
180188	2014	1	L3	49,8	2	3
281789	2014	1	L1	71	2	3
281789	2014	1	L2	71	2	3
281789	2014	1	L3	68	2	3
180223	2014	1	L1	50,3	2	3
180223	2014	1	L2	50,3	2	3
180223	2014	1	L3	55,8	2	3
281792	2014	1	L3	72	1	1
281792	2014	2	L1	52	1	3
281792	2014	2	L2	47	1	3
281792	2014	2	L3	53	1	3
181133	2014	1	L1	50	2	3
181133	2014	1	L2	50	2	3
181133	2014	1	L3	58	2	3
181168	2014	1	L1	49,5	2	3
181168	2014	1	L2	49,5	2	3
181168	2014	1	L3	48,3	2	3
181210	2014	1	L1	51	2	3
181210	2014	1	L2	51	2	3
181210	2014	1	L3	48	2	3

181280	2014	1	L1	50	2	3
181280	2014	1	L2	50	2	3
181280	2014	1	L3	56	2	3
287530	2014	1	L1	64	2	3
287530	2014	1	L2	68	2	3
287530	2014	1	L3	68	2	3
287531	2014	1	L1	69	2	3
287531	2014	1	L2	69	2	3
287531	2014	1	L3	63,5	2	3
281353	2014	1	L1	57,7	2	3
281353	2014	1	L2	60,2	2	3
281353	2014	1	L3	60,2	2	3
287532	2014	1	L1	68	2	3
287532	2014	1	L2	68	2	3
287532	2014	1	L3	64,5	2	3
287533	2014	1	L1	48	1	1
287534	2014	1	L1	40,5	1	3
287534	2014	1	L2	40,5	1	3
287534	2014	1	L3	41	1	3
281796	2014	1	L1	70	1	1
287678	2014	1	L1	60,8	1	1
281799	2014	1	L1	48,5	1	1
287680	2014	1	L1	59,5	1	1
281802	2014	1	L1	59,5	1	1
287682	2014	1	L1	69,7	1	1
281805	2014	1	L3	49,5	1	1
287684	2014	1	L3	69,7	1	1
281808	2014	1	L3	50	1	1
287686	2014	1	L3	60,5	1	1
282050	2014	1	L1	50	1	1
282050	2014	2	L2	59,5	2	3
282050	2014	2	L3	52	2	3
282061	2014	1	L2	49	1	1
282061	2014	2	L1	49	1	3
282061	2014	2	L2	49	1	3
282061	2014	2	L3	47	1	3
281811	2014	1	L1	59	1	1
287688	2014	1	L1	68,7	1	1
281814	2014	1	L1	50	1	3
281814	2014	1	L2	50	1	3
281814	2014	1	L3	47	1	3
281817	2014	1	L3	69,5	1	1
281817	2014	2	L1	40	1	3
281817	2014	2	L2	38	1	3

281817	2014	2	L3	59	1	3
287690	2014	1	L3	60,8	1	1
287690	2014	2	L1	66	1	3
287690	2014	2	L2	63	1	3
287690	2014	2	L3	70	1	3
281820	2014	1	L1	48	1	1
287692	2014	1	L1	69	1	1
287512	2014	1	L1	73,2	2	3
287512	2014	1	L2	65,7	2	3
287512	2014	1	L3	73,7	2	3
281676	2014	1	L1	90,5	2	3
281676	2014	1	L2	97	2	3
281676	2014	1	L3	93,5	2	3
189380	2014	1	L3	59,5	1	1
281887	2014	1	L1	88,5	1	3
281887	2014	1	L2	82	1	3
281887	2014	1	L3	85	1	3
281362	2014	1	L3	73	1	1
281697	2014	1	L3	62,5	1	1
281444	2014	1	L2	80	1	1
287515	2014	1	L3	68	1	1
281301	2014	1	L1	78,2	3	3
281301	2014	1	L2	76	3	3
281301	2014	1	L3	71	3	3
281720	2014	1	L1	67	3	3
281720	2014	1	L2	75	3	3
281720	2014	1	L3	71,5	3	3
281460	2014	1	L1	70,03	1	1
281474	2014	1	L1	60,03	1	3
281474	2014	1	L2	57,63	1	3
281474	2014	1	L3	53,63	1	3
281369	2014	1	L1	131	1	3
281369	2014	1	L2	128	1	3
281369	2014	1	L3	48,8	1	3
281741	2014	1	L3	100,5	1	1
281227	2014	1	L3	60	1	1
284210	2014	1	L3	79,5	1	1
281376	2014	1	L2	48,7	1	1
281763	2014	1	L2	109	1	1
281481	2014	1	L1	69,63	1	1
281495	2014	1	L1	60,97	2	3
281495	2014	1	L2	57,37	2	3
281495	2014	1	L3	54,67	2	3
282077	2014	1	L1	95,5	1	3

282077	2014	1	L2	102,5	1	3
282077	2014	1	L3	69,5	1	3
281381	2014	1	L1	69,8	2	3
281381	2014	1	L2	69,8	2	3
281381	2014	1	L3	47	2	3

Vedlegg I - Klareringstid satt av bølgekomponent-metoden

Tabell 58 oppsummerer resultatet fra fastsetting av klareringstiden med bølgekomponent-metoden på feilskriveropptakene.

Tabell 58 - Klareringstid satt av bølgekomponent-metoden

FEFID	År	Feilnr	Fase	Klareringstid	Feilbefengte faser	Klarerte faser
287496	2009	1	L1	53	1	1
287498	2009	1	L3	74	1	3
287696	2009	1	L2	54,5	1	1
281906	2010	1	L1	50,5	1	3
281906	2010	1	L2	307,5	1	3
281906	2010	1	L3	296,5	1	3
281916	2010	1	L2	42	1	1
281221	2011	1	L1	100	2	3
281221	2011	1	L2	93,2	2	3
281221	2011	1	L3	100	2	3
287482	2011	1	L2	80,5	1	1
287485	2011	1	L2	80	1	1
281769	2011	1	L3	63,5	1	1
281772	2011	1	L1	44	1	3
281772	2011	1	L2	34	1	3
281772	2011	1	L3	34	1	3
281775	2011	1	L2	61	1	1
287536	2011	1	L2	60,25	1	3
287536	2011	2	L1	1009	2	6
287536	2011	2	L2	1008	2	6
287536	2011	2	L3	1009	2	6
287538	2011	1	L2	60	1	1
287540	2011	1	L1	78	2	3
287540	2011	1	L2	77,5	2	3
287540	2011	1	L3	82,5	2	3
287542	2011	1	L1	70,5	2	3
287542	2011	1	L2	70,5	2	3
287542	2011	1	L3	57	2	3
287488	2012	1	L2	68,5	1	1
287491	2012	1	L1	69,25	1	1
287504	2012	1	L1	87,5	1	3
287504	2012	1	L2	83	1	3
287504	2012	1	L3	91	1	3
281312	2012	1	L1	61	1	1
281446	2012	1	L3	40	1	1
281566	2012	1	L1	73	1	3
281566	2012	1	L2	66	1	3
281566	2012	1	L3	73	1	3
287544	2012	1	L2	67,5	1	1
287546	2012	1	L1	59	1	1

281841	2012	1	L2	72		
281868	2012	1	L3	89,25	1	1
287508	2013	1	L1	88,75	1	3
287508	2013	1	L2	81,25	1	3
287508	2013	1	L3	92,75	1	3
281327	2013	1	L1	50,25	3	3
281327	2013	1	L2	44,75	3	3
281327	2013	1	L3	52,75	3	3
281333	2013	1	L3	60	1	1
287520	2013	1	L3	49,75	1	1
287522	2013	1	L1	80,25	1	1
287524	2013	1	L1	80,25	1	1
287526	2013	1	L2	1032,25	2	3
239997	2013	1	L3	59,25	2	1
240151	2013	1	L1	1036	2	3
281503	2013	1	L1	444,75	1	3
281503	2013	1	L2	445,25	1	3
281503	2013	1	L3	406,75	1	3
287527	2013	1	L1	36	2	3
287527	2013	1	L2	43	2	3
287527	2013	1	L3	44	2	3
287528	2013	1	L1	53	2	3
287528	2013	1	L2	52	2	3
287528	2013	1	L3	53	2	3
281587	2013	1	L1	1994	1	3
281587	2013	1	L2	649	1	3
281587	2013	1	L3	2045	1	3
281610	2013	1	L1	67	1	3
281610	2013	1	L2	78	1	3
281610	2013	1	L3	75	1	3
281632	2013	1	L1	101,5	2	3
281632	2013	1	L2	96,5	2	3
281632	2013	1	L3	104,5	2	3
285795	2013	1	L1	70,75	1	3
285795	2013	1	L2	76,75	1	3
285795	2013	1	L3	69,25	1	3
281974	2013	1	L1	50	1	3
281985	2013	1	L1	51,5	1	3
281996	2013	1	L1	51,5	1	3
282006	2013	1	L2	41,5	1	3
282040	2013	1	L2	42	1	3
281227	2014	1	L3	60,5	1	1
287512	2014	1	L1	65,75	2	3
287512	2014	1	L2	64,75	2	3
287512	2014	1	L3	85,75	2	3
287515	2014	1	L3	1032	2	3

281301	2014	1	L1	77,75	3	3
281301	2014	1	L2	73,25	3	3
281301	2014	1	L3	70,75	3	3
281353	2014	1	L1	57,5	2	3
281353	2014	1	L2	59,5	2	3
281353	2014	1	L3	59,5	2	3
281362	2014	1	L3	74	1	3
281369	2014	1	L1	131,75	1	3
281369	2014	1	L2	120,25	1	3
281369	2014	1	L3	49,25	1	3
281376	2014	1	L2	1049	3	3
281381	2014	1	L1	69,25	2	3
281381	2014	1	L2	69,25	2	3
281381	2014	1	L3	63,25	2	3
281444	2014	1	L3	41	3	1
180153	2014	1	L2	2	1	1
180174	2014	1	L1	49,5	2	3
180174	2014	1	L2	39	2	3
180174	2014	1	L3	49	2	3
180188	2014	1	L1	50	2	3
180188	2014	1	L2	48,5	2	3
180188	2014	1	L3	50	2	3
180223	2014	1	L1	47	2	3
180223	2014	1	L2	47	2	3
180223	2014	1	L3	53	2	3
181133	2014	1	L1	49	2	3
181133	2014	1	L2	49	2	3
181133	2014	1	L3	57,5	2	3
181168	2014	1	L1	46,5	2	3
181168	2014	1	L2	46,5	2	3
181168	2014	1	L3	45,5	2	3
181210	2014	1	L1	49,5	2	3
181210	2014	1	L2	49,5	2	3
181210	2014	1	L3	47	2	3
181280	2014	1	L1	47	2	3
181280	2014	1	L2	47	2	3
181280	2014	1	L3	53	2	3
189380	2014	1	L3	58,75	1	1
281460	2014	1	L1	70,33	1	1
281474	2014	1	L1	60,33	1	3
281474	2014	1	L2	58,33	1	3
281474	2014	1	L3	47,67	1	3
281481	2014	1	L1	70,33	1	1
281495	2014	1	L1	61,33	1	3
281495	2014	1	L2	58,67	1	3
281495	2014	1	L3	49,33	1	3

287529	2014	1	L1	34	2	3
287529	2014	1	L2	42	2	3
287529	2014	1	L3	42	2	3
287530	2014	1	L1	63,5	2	3
287530	2014	1	L2	61,5	2	3
287530	2014	1	L3	69,5	2	3
287531	2014	1	L1	100	2	3
287531	2014	1	L2	101	2	3
287531	2014	1	L3	90	2	3
287532	2014	1	L1	69,5	2	3
287532	2014	1	L2	69,5	2	3
287532	2014	1	L3	59,5	2	3
287533	2014	1	L1	49	1	1
287534	2014	1	L1	42	1	3
287534	2014	1	L2	42	1	3
287534	2014	1	L3	41	1	3
281653	2014	1	L1	88,5	1	3
281653	2014	1	L2	23,5	1	3
281653	2014	1	L3	13,5	1	3
281676	2014	1	L1	87,5	2	3
281676	2014	1	L2	94,5	2	3
281676	2014	1	L3	90,5	2	3
281697	2014	1	L3	63,5	1	1
281720	2014	1	L1	68	3	3
281720	2014	1	L2	80	3	3
281720	2014	1	L3	72	3	3
281741	2014	1	L3	101	1	1
281763	2014	1	L2	110	1	3
281777	2014	1	L3	81	1	1
281784	2014	1	L3	69	1	1
281787	2014	1	L1	65,5	1	3
281787	2014	1	L2	69,5	1	3
281787	2014	1	L3	68,5	1	3
281789	2014	1	L1	62	2	3
281789	2014	1	L2	70	2	3
281789	2014	1	L3	32	2	3
281792	2014	1	L3	73	1	1
281792	2014	2	L1	528	2	4
281792	2014	2	L2	522	2	4
281792	2014	2	L3	528	2	4
281796	2014	1	L1	70,5	1	1
281799	2014	1	L1	49,5	1	1
281802	2014	1	L1	59,5	1	1
281805	2014	1	L3	51	1	1
281808	2014	1	L3	51	1	1
281811	2014	1	L1	60	1	1

281814	2014	1	L1	51,5	1	3
281814	2014	1	L2	50,5	1	3
281814	2014	1	L3	47,5	1	3
281817	2014	1	L3	70,5	1	1
281817	2014	2	L1	512	2	4
281817	2014	2	L2	510	2	4
281817	2014	2	L3	531	2	4
281820	2014	1	L1	49	1	1
284210	2014	1	L3	79,75	1	1
287674	2014	1	L3	59,5	1	1
287676	2014	1	L1	60,5	1	3
287676	2014	1	L2	56,5	1	3
287676	2014	1	L3	58	1	3
287678	2014	1	L1	61	1	1
287680	2014	1	L1	59,25	1	1
287682	2014	1	L1	69,5	1	1
287684	2014	1	L3	72,75	1	1
287686	2014	1	L3	60,75	1	1
287688	2014	1	L1	69,25	1	1
287690	2014	1	L3	61,25	1	1
287690	2014	2	L1	722	2	4
287690	2014	2	L2	724	2	4
287690	2014	2	L3	731	2	4
287692	2014	1	L1	69,5	1	1
281887	2014	1	L1	89	1	1
281887	2014	1	L2	65,5	1	1
281887	2014	1	L3	58,5	1	1
282050	2014	1	L1	50	1	3
282050	2014	1	L2	137	2	3
282050	2014	1	L3	130	2	3
282061	2014	1	L2	50	2	3
282061	2014	2	L1	1064	1	1
282061	2014	2	L2	1065	3	4
282061	2014	2	L3	1055	3	4
282077	2014	1	L1	82,5	3	1
282077	2014	1	L2	96,5	3	1
282077	2014	1	L3	60,5	3	1