

Effekt av jordslutningsspole i distribusjonsnett

Med fokus på avbrudd i luftnett

Magnus Nagypal Bjøringsøy

Master i energi og miljø

Innlevert: juni 2013

Hovedveileder: Gerd Kjølle, ELKRAFT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elkraftteknikk

Oppgavetekst

Hafslund Nett (HN) har i dag en rekke transformatorstasjoner hvor det er installert jordslutningsspole (JS). HN er av den oppfatning at JS har hatt en svært god effekt med tanke på kortvarige forbigående avbrudd, men det er aldri blitt gjort noe forsøk på å tallfeste denne reduksjonen. I 2011 opplevde HN at én spole ble defekt, noe som førte til en drastisk reduksjon av leveringskvaliteten i det berørte området. I den forbindelse er det nå ønskelig å få konkretisert hvilken nytte man oppnår ved å installere JS, særlig med tanke på endringer i antall avbrudd og hvilken effekt dette har på KILE-kostnadene.

I tillegg er det også ønskelig å oppnå en større forståelse omkring virkningen av spolen med tanke på hvilken effekt den har på forskjellige typer feilårsaker først og fremst med fokus på:

- Hvilke typer feilårsaker reduseres ved bruk av JS
- Er det noen feilårsaker hvor bruk av JS har en negativ virkning
- Hvilke tidsperioder og årstider har JS den største effekten og kan dette settes i sammenheng med feilårsaker

Oppgaven går ut på følgende:

- Sette seg inn i prinsippene og teorien omkring jordslutningsspoler
- Undersøke om det tidligere har vært utført forskning omkring den praktiske effekten av å installere JS
- Få oversikt over stort omfanget av forbigående feil og kortvarige avbrudd i distribusjonsnettet
- Hvilken nytte har andre nettselskaper som har installert JS opplevd
- Etablere metodikk for å finne ut hva HN har oppnådd ved å innføre JS med tanke på leveringskvalitet
- Undersøke om det er mulig å konkretisere hvilken effekt JS har på forskjellige typer feilårsaker
- Utarbeide metodikk for å kunne gjøre kost-nytte analyser for å estimere hva HN har oppnådd ved å installere JS

Forord

Denne rapporten er sluttresultatet for hovedoppgaven gjennomført i 5. klasse ved Institutt for elkraftteknikk ved Norges Teknisk-Naturvitenskapelige Universitet.

Veileder for prosjektoppgaven har vært Gerd Hovin Kjølle, seniorforsker ved SINTEF Energi AS og jeg vil takke henne for all hjelp og veiledning jeg har mottatt i denne perioden.

Oppgaven er skrevet i samarbeid med Hafslund Nett. Herunder vil jeg takke mine kontaktpersoner Kjell Anders Tutvedt og Ragnar Ulsund som har vært med på utformingen av oppgaven og som har vært særdeles behjelpelige med veiledning underveis. Jeg vil også takke Erik Sparr og Sverre Solberg fra avdelingen Vern og Målere for den hjelpen jeg har fått når det kommer til samspillet mellom vern og jordslutningsspole.

Jeg vil også takke Bjørn Birkeland, sjefingeniør i Fredrikstad Energi og Svein Morten Strømsnes, Spesialrådgiver i BKK for å ha fått tilgang til data fra deres respektive nett og utveksling av erfaringer.

Jeg vil også takke Tony Nagypal for hjelp med korrekturlesingen.

Trondheim 23 juni 2013



Mangus N. Bjøringsøy

Sammendrag

Det er i denne oppgaven blitt undersøkt den praktiske effekten av å installere jordslutningsspole hovedsakelig i luftnett. Dette er gjort ved å analysere antallet automatiske gjeninnkoplinger (GIK) som har forekommet på utvalgte stasjoner hvor spolejording har blitt tatt i bruk. Det er fokusert på å finne forskjeller i både det totale antallet GIK per år og hvordan GIK per kilometer per år endres. Ved å se på endringene fra årene før det ble installert jordslutningsspole til årene etter, ser man klare forskjeller.

Det har vært knyttet betydelig usikkerhet til noen av dataene som har blitt analysert for Hafslunds transformatorstasjoner. Det er grunn til å tro at det endelige resultatet blir påvirket av kvaliteten på datamaterialet, men i hvilken grad er uvisst.

Det er utviklet en metode for å estimere den årlige KILE-kostnaden i årene før og etter at jordslutningsspolen ble installert. Med bakgrunn i dette har det blitt utført kost-nytte analyser for å undersøke om investering i jordslutningsspole har vært lønnsomt for de undersøkte stasjonene, i tillegg til at det har blitt laget et estimat på hvor lang tilbakebetalingstiden er, samt undersøkt hvor sensitiv lønnsomheten er ovenfor endringer i KILE-satsene.

FASIT data for hele landet er blitt undersøkt. En metode har blitt utviklet i et forsøk på å estimere linje- og kabellengdene i de forskjellige nettnivåene. Denne metoden har vist seg å ikke være tilstrekkelig med de tilgjengelige dataene. Dette har ført til at det isteden ble gjort analyser med den hensikt å finne trender for hvilke feilårsaker som skiller isolerte og jordede nett fra hverandre. Dette har blitt gjort på års- og dagsbasis. Det er laget analyser over hvilke feilårsaker som er vanlige i forskjellige perioder og satt dette i sammenheng med hva som observeres av avbrudd for isolerte og jordede nett.

For å oppnå en dypere forståelse omkring hva som skjer når jordslutningsspole blir installert er det gjort undersøkelser for å finne hvilke type feilårsaker jordslutningsspolen har størst og minst effekt på. Det er også utført en analyse som ser på hvordan antallet transienter i nettet forandres.

Abstract

In this thesis the practical effect of introducing a resonance coil to the medium voltage distribution system has been investigated. This has been done by analyzing the number of automatic recloses at selected transformer stations where a resonance coil has been installed. It has been focused on finding both the difference in the total amount of recloses and the frequency per kilometer of transmission line before and after the installment of the resonance coil. Doing this has revealed several clear differences.

These analyzes have been subject to a large degree of uncertainty due to not perfect data, which probably has influenced the results, but to what extent is hard to say.

A method has been developed to estimate the annually cost of energy not supplied (CENS) in the years prior to and after the installment of the resonance coil. With this in mind a cost-benefit analysis has been done to determine if the resonance coil has been a good investment. Estimates to determine the payback time have been done considering the reduction in CENS and the maintenance cost. A sensitivity analysis of the profitability considering changes in the energy not supplied cost rates has also been done.

The national FASIT data has been analyzed. A method was developed in an attempt to estimate the length for both the lines and the cables in the different levels of the distribution network. This attempt proved unsuccessful either due to the method used being wrong or because of lack of a sufficient amount of data. This lead to the decision to instead focus on finding fault trends that differed between isolated and resonance earthed lines. These analyzes have been done within a yearly, weekly and daily timeframe. Different reasons for fault have been categorized and with what frequency they occur in isolated and resonance earthed systems.

Innholdsfortegnelse

Oppgavetekst	i
Forord	iii
Sammendrag	v
Abstract	vi
Innholdsfortegnelse	vii
Figurliste	x
Likninger og formler	xii
Tabeller	xiii
1 Innledning	1
1.1 Bakgrunn og siktemål	1
1.2 Erfaringer underveis	1
2 Grunnleggende teori og	2
2.1 Jordslutningsspole (JS) og jordfeil	2
2.1.1 Isolasjonstilstand	2
2.1.2 Bruk av lengder	3
2.2 FASIT	3
2.3 KILE-ordningen	3
2.3.1 Korreksjonsfaktor	4
2.3.2 Bruk av KILE i oppgaven	7
2.4 Økonomisk teori og kostnader forbundet med spole	8
2.4.1 Kalkulasjonsrente	8
2.4.2 Økonomisk og teknisk levetid	8
2.4.3 Annuitet og årlige kostnader	8
2.4.4 Kapitalisering og tilbakebetaling	9
2.4.5 Følsomhet for endringer i KILE	9
3 Hafslund Nett	11
3.1 Stasjon1	11
3.1.1 GIK før og etter JS	11
3.1.2 GIK per kilometer	12
3.1.3 Endring av KILE-kostnader	13
3.1.4 Økonomisk analyse	16
3.2 Stasjon2	16
3.2.1 GIK før og etter JS	17

3.2.2	GIK per kilometer	17
3.2.3	Endring av KILE-kostnader	19
3.2.4	Økonomisk analyse.....	21
3.3	Stasjon3	22
3.3.1	GIK før og etter JS.....	22
3.3.2	GIK per kilometer	23
3.3.3	Endring av KILE-kostnader	24
3.3.4	Økonomisk analyse.....	27
3.4	Stasjon4	28
3.4.1	GIK før og etter JS.....	29
3.4.2	GIK per kilometer	29
3.4.3	Endring av KILE	31
3.4.4	Økonomisk analyse.....	35
3.5	NTE1 – NTE2	35
3.5.1	NTE2	35
3.5.2	NTE1	37
3.5.3	Endring av GIK for begge stasjonene.....	38
3.6	Referansenett.....	40
3.7	Norske nettselskapers erfaring ved bruk av JS.....	42
3.7.1	BKK.....	42
3.7.2	Nordlandsnett	43
3.7.3	Fredrikstad Energi.....	43
4	Oppsummering av alle de undersøkte avgangene.....	44
5	Nasjonale FASIT-data.....	47
5.1	Erfaringer underveis og Tordenværteorien.....	47
5.2	FASIT luft- og kabelnett	49
5.2.1	Feilårsaker – kortvarige forbigående feil.....	49
5.2.2	Feilårsaker – varige.....	51
5.2.3	Tidspunkt for når feil oppstår.....	54
5.2.4	Utvalgte omgivelsefeil	56
5.2.5	Feil over året.....	58
6	Transienter	60
6.1	Transienter før og etter JS.....	61
7	Konklusjon og videre arbeid.....	63

8	Referanser	67
9	Vedlegg	68
9.1	Vedlegg A: Stasjon1	68
9.2	Vedlegg B: Stasjon2	70
9.3	Vedlegg C: Stasjon3	72
9.4	Vedlegg D: Stasjon4	73
9.5	Vedlegg E: NTE2-NTE1	74
9.6	Vedlegg F: Tordenteorien	75

Figurliste

Figur 1. Skjematisk oppsett av JS i et distribusjonsnett [5].....	2
Figur 2. Kostnadsfunksjoner for forskjellige kundegrupper.....	4
Figur 3. Gjennomsnittlig korreksjonsfaktor over døgnet.....	6
Figur 4. Gjennomsnittlig korreksjonsfaktor over uken.....	6
Figur 5. Gjennomsnittlig korreksjonsfaktor over året.....	7
Figur 6. Stasjon1 GIK per år for S1A1 og S1A2	12
Figur 7. Stasjon1 snitt GIK per km per år.....	12
Figur 8. Årlig KILE Stasjon1 avgang S1A1, før og etter JS.....	14
Figur 9. Årlig KILE Stasjon1 avgang S1A2, før og etter JS.....	14
Figur 10. Sum årlig KILE Stasjon1.....	15
Figur 11. Hvor mange år før investering er tilbakebetalt.....	16
Figur 12. Stasjon2 summen av GIK per år.....	17
Figur 13. Stasjon2 snitt GIK per km per år.....	18
Figur 14. Stasjon2 KILE for S2A1 før og etter JS.....	19
Figur 15. Stasjon2 KILE for S2A2 før og etter JS.....	20
Figur 16. Stasjon2 sum KILE begge avgangene.....	20
Figur 17. Stasjon2 år før investering er tilbakebetalt.....	21
Figur 18. Stasjon3 GIK per år for alle avgangene.....	22
Figur 19. Stasjon3 snitt GIK per km linje per år.....	23
Figur 20. Stasjon3 KILE S3A1 før og etter JS.....	25
Figur 21. Stasjon3 KILE S3A2 før og etter JS.....	25
Figur 22. Stasjon3 KILE-kostnadene for S3A3 før og etter JS.....	26
Figur 23. Stasjon3 totale KILE-kostnader før og etter JS.....	26
Figur 24. Stasjon3 år før JS er tilbakebetalt.....	28
Figur 25. Stasjon4 sum GIK per år.....	29
Figur 26. Stasjon4 snitt GIK per km per år.....	30
Figur 27. Stasjon4 KILE S4A1 før og etter JS.....	32
Figur 28. Stasjon4 KILE S4A2 før og etter JS.....	32
Figur 29. Stasjon4 KILE S4A3 før og etter JS.....	33
Figur 30. Stasjon4 KILE før og etter JS.....	33
Figur 31. Stasjon4 år før JS er tilbakebetalt.....	35
Figur 32. NTE2 GIK per km per år før og etter JS.....	36
Figur 33. NTE1 snitt GIK per km år før og etter JS.....	37
Figur 34. NTE2 og NTE1 GIK alle år.....	39
Figur 35. NTE1 og NTE2 GIK før og etter JS.....	39
Figur 36. GIK isolerte referansenett.....	41
Figur 37. GIK i alle Hafslund sine Nett.....	41
Figur 38. Snitt GIK for alle undersøkte avganger før og etter JS.....	44
Figur 39. Fordeling av kortvarige forbigående feil i det norske distribusjonsnett.....	49
Figur 40. Fordeling av kortvarige forbigående feil grunnet omgivelser i luftnett.....	50
Figur 41. Fordeling av varige feil i luftnett.....	51
Figur 42. Fordeling av varig feil i luftnett som skyldes omgivelser.....	51
Figur 43. Varige feil i kabelnett.....	52
Figur 44. Varige feil i kabelnett, kun omgivelser.....	53

Figur 45. Fordeling av forbigående feil over døgnet for luftnett.	54
Figur 46. Fordeling av forbigående feil i luftnettet som skyldes omgivelser over døgnet.....	54
Figur 47. Fordeling av varige feil i luftnettet over døgnet.	55
Figur 48. Fordeling av forbigående feil i kabelnettet over døgnet.....	56
Figur 49. Feil grunnet fugl/dyr i alle nettnivå.	57
Figur 50. Feil grunnet vegetasjon i alle nettnivå.	57
Figur 51. Feil grunnet tordenvær for alle nettnivå.....	58
Figur 52. Fordeling av forbigående feil over året i luftnett.....	58
Figur 53. Fordeling av varige feil over året i luftnettet.	59
Figur 54. Transienter ved NTE2 og NTE1.....	60
Figur 55. Transienter NTE2 før og etter JS.....	61
Figur 56. Transienter NTE1 før og etter JS.....	61
Figur 57. Snitt GIK per kilometer linje per år for alle undersøkte avganger.	64

Likninger og formler

Formel 1. Kostnad på vilkårlig tidspunkt [10].....	4
Formel 2. Kostnadsfunksjon korrigert for referanse [10]	5
Formel 3. Korreksjonsfaktor for tidspunkt j [10].....	5
Formel 4. Korreksjonsfaktor for avbruddskostnaden i tidspunkt j [10]	5
Formel 5. Kostnadsfunksjon [10].....	5
Formel 6. Kostnad for avbrudd på tidspunkt j [10]	5
Formel 7. Endring i KILE-kostnader.	7
Formel 8. Annuitet. [8]	8
Formel 9. Årlig utgift.....	8
Formel 10. Kapitalisering. [8]	9
Formel 11. Investering og tilbakebetaling.....	9
Formel 12. Hvor mange år før investering er tilbakebetalt.	9
Formel 13. Inntekt lik utgifter.	9
Formel 14. Sensitivitet ved endring av KILE sats.	10
Formel 15. Feilfrekvens for linje som skyldes tordenvær for luftnett.	75
Formel 16. Feilfrekvens for linje som skyldes tordenvær for blandet nett.....	75
Formel 17. Feilfrekvens for linje som skyldes tordenvær for kabelnett.	75
Formel 18. Feilfrekvens for kabel som skyldes tordenvær for luftnett.....	75
Formel 19. Feilfrekvens for kabel som skyldes tordenvær for blandet nett.....	75
Formel 20. Feilfrekvens for kabel som skyldes tordenvær for kabelnett.	75
Formel 21. Feilfrekvensene for linje settes lik hverandre.....	76
Formel 22. Feilfrekvensene for kabel settes lik hverandre.....	76
Formel 23. Lengder linje knyttes sammen.	76
Formel 24. Lengder kabel knyttes sammen.	76
Formel 25. Luftnett inneholder mer eller lik 90 % linje.	76
Formel 26. Kabelnett inneholder mindre eller lik 10 % linje.....	76

Tabeller

Tabell 1. Stasjon1 snitt GIK per km per år.....	13
Tabell 2. Stasjon1 sum KILE før og etter JS.....	15
Tabell 3. Stasjon2 GIK per km linje per år før og etter JS.....	18
Tabell 4. KILE Stasjon2 sum før og etter JS begge avgangene.....	21
Tabell 5. Stasjon3 snitt GIK per km per år før og etter JS.....	24
Tabell 6. Stasjon3 KILE sum alle avganger før og etter JS.....	27
Tabell 7. Stasjon4 snitt GIK per km per år før og etter JS.....	31
Tabell 8. Stasjon4 sum KILE-kostnader før og etter JS.....	34
Tabell 9. NTE2 snitt GIK per km per år før og etter JS.....	37
Tabell 10. NTE1 snitt GIK per km per år før og etter JS.....	38
Tabell 11. NTE2 og NTE1 sum GIK per år før og etter JS.....	40
Tabell 12. BKK oversikt over kortvarige og langvarige avbrudd.....	42
Tabell 13. Snitt GIK per km linje per år for alle avganger før og etter JS.....	45
Tabell 14. Oversikt over endinger ved alle stasjoner.....	45
Tabell 15. Transienter ved NTE2 og NTE1.....	62
Tabell 17. Oppsummering av endringene ved de undersøkte stasjonene.....	65
Tabell 18. Stasjon1 sum GIK per år.....	68
Tabell 19. Stasjon1 KILE før JS for hver av avgangene.....	68
Tabell 20. Stasjon1 S1A2 før og etter JS.....	69
Tabell 21. Stasjon2 sum GIK før og etter JS.....	70
Tabell 22. Stasjon2 KILE før JS hver av avgangene.....	70
Tabell 23. Stasjon2 KILE etter JS hver av avgangene.....	70
Tabell 24. Stasjon3 sum GIK før og etter JS.....	72
Tabell 25. Stasjon3 KILE før og etter JS hver av avgangene.....	72
Tabell 26. Stasjon4 snitt GIK per år.....	73
Tabell 27. Stasjon4 KILE-kostnader før og etter JS for hver avgang.....	73
Tabell 28. NTE2 før og etter JS.....	74
Tabell 29. NTE1 GIK før og etter JS.....	74

1 Innledning

1.1 Bakgrunn og siktemål

Hafslund Nett (HN) er Norges største nettselskap og det femte største i Norden. Hafslund Nett har i dag omkring 555 000 kunder i Oslo, Akershus og Østfold[1]. Fra 2005 startet HN å installere spoler i deler av linjenettet, med den hensikt å redusere antall avbrudd. I dag er de fleste linjene til HN tilknyttet en jordslutningsspole (JS). HN har til nå vært fornøyd med installasjonen av spolene, da de har inntrykket av at mengden kortvarige avbrudd har sunket der hvor spole har blitt benyttet.

Sommeren 2011 oppstod det en situasjon på Stasjon1 (alle stasjoner og avganger er i denne oppgaven anonymisert) hvor spolen ble defekt, muligens grunnet tordenvær. De påfølgende månedene var det et svært høyt antall feil. De totale kostnadene for KILE og reparasjoner kom på nærmere én million kroner. Dette er noe av grunnen til at Hafslund har blitt mer oppmerksom på forhold rundt JS og de ønsker i ettertid å få undersøkt effekten av spolejording samt å se nærmere på det økonomiske aspektet.

1.2 Erfaringer underveis

Spolejording er et gammelt konsept og det er forsket betydelig på emnet. Dessverre for denne oppgaven virker det som om all forskning har handlet om teoretiske aspekter ved spolejording og det viser seg svært vanskelig å finne litteratur der de praktiske virkningene ved å installere spole er undersøkt. På den andre siden er det ingen problemer å finne ansatte i nettselskaper som gjerne vil fortelle om den store reduksjonen i antall kortvarige avbrudd de har opplevd, men da JS i de fleste tilfellene ble installert før kortvarige avbrudd ble dokumentert, fører dette til at den nøyaktige reduksjonen ikke er mulig å tallfeste.

Bakgrunns materialet som har blitt benyttet i denne oppgaven består av FASIT data for hele landet for årene 2008 til 2010, i tillegg til en detaljert oversikt som HN på eget initiativ har laget over alle GIK i sitt distribusjonsnett siden 2002.

Det har i løpet av denne oppgaven blitt klart at det som blir rapportert til FASIT i mange tilfeller er basert på kvalifisert gjetning. Dette fører til usikkerhet i den delen av oppgaven som omhandler hvilke feilårsaker som påvirkes av JS.

Forfatteren har opplevd at det er vanskelig å få tak i tilstrekkelige mengder med godt datagrunnlag, da det er en rekke data hvor det ikke er registreringsplikt. Dette fører til at det blir svært tidkrevende for personer i nettselskaper i ettertid å hente ut de data fra nettene som er av relevans for oppgaven. For data det ikke er registreringsplikt på, finnes det heller ingen nasjonale data.

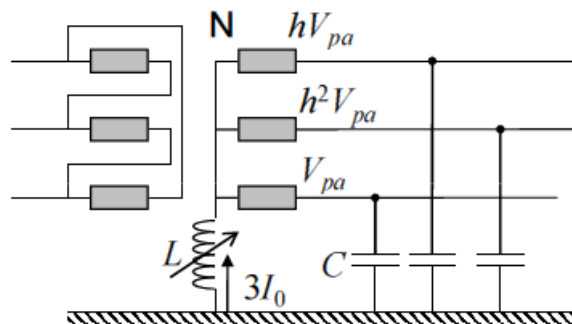
Mye av tiden har derfor blitt brukt på å forsøke å utarbeide metoder for hvordan nasjonale data kan estimeres, samt å analysere trender for feil i det norske kraftnettet som helhet, dette for å kunne knytte resultatene fra de konkrete nettene opp mot de nasjonale trendene.

2 Grunnleggende teori og

2.1 Jordslutningsspole (JS) og jordfeil

Videre følger en svært grunnleggende forklaring om virkemåten til JS med den hensikt å gi leseren den innføringen som er nødvendig for å kunne lese oppgaven. For en mer dyptgående forklaring av spolens virkemåte foruten hvordan spolen påvirker vern og hvordan den reguleres, henvises det til [2][3][4]

JS ble oppfunnet i 1916 av W. Petersen og kalles også for Petersen spole. JS består i prinsippet kun av en spole som kan reguleres. JS har den funksjonen at den motvirker jordfeil [2], Figur 1 viser en forenklet skjematisk oversikt over et spolejordet distribusjonsnett.



Figur 1. Skjematisk oppsett av JS i et distribusjonsnett [5].

Ved å regulere spolen er det ønskelig å oppnå å sende strøm av nesten lik størrelse som den kapasive jordfeilstørrørelsen, men 180 grader faseforskjøvet. Dette vil resultere i at den totale jordfeilstørrørelsen blir kraftig redusert. Årsaken til at man ikke ønsker å redusere jordfeilstørrørelsen til null er flere og det henvises til [3].

En lav jordfeilstørrørelse er ønskelig av flere grunner, blant annet at sikkerheten for personell i nærheten av jordfeil blir større, men den effekten som er av størst betydning i denne oppgaven er det faktum at antall lysbuer blir kraftig redusert.

Jordfeil oppstår når noe som har elektrisk kontakt med jord kommer i kontakt med én eller flere av de elektriske fasene. De viktigste årsakene til jordfeil som vil bli diskutert i denne oppgaven er:

- Vegetasjon. Typisk eksempel er en gren som kommer i kontakt med minst én av fasene
- Fugl. Et eksempel kan være en større fugl som kommer i kontakt med begge delene av et gnistgap
- Tordenvær

For at en jordfeil skal bli et problem må det opprettes en varig elektrisk forbindelse mellom strømnettet og jord. Den forbindelsen som er av størst relevans for oppgaven er elektriske lysbuer som kan oppstå når objekter kommer i kontakt med nettet.

2.1.1 Isolasjonstilstand

Etter at et nett har vært spolejordet over lengre tid kan nettets isolasjonstilstand være svekket. Dette skyldes at den reduserte jordslutningsstrømmen kan "skjule" isolasjonssvakheter som har oppstått i tiden etter at JS ble installert. Når et nett går fra å være spolejordet til isolert, vil eventuelle

isolasjonssvakheter bli eksponert, noe som kan resultere i et sterk økning i antall feil, samt svikt i isolasjonsmateriell. Dette anses som hovedårsaken til at det ofte oppstår store problemer med leveringskvaliteten når nettet går fra å være jordet til isolert.[6]

2.1.2 Bruk av lengder

Alle avganger i denne oppgaven består av både linje og kabel. Noen avganger består av lite kabel, mens andre består av mye kabel. Da feilraten per lengdeenhet for forbigående feil er svært liten for kabel sammenlignet med linje [7], vil avganger med stor andel kabel naturlig ha en lavere feilfrekvens per lengdeenhet i forhold til avganger med tilsvarende lengde linje, men med mindre andel kabel. Det er derfor besluttet at når det regnes feilfrekvens per lengdeenhet vil lengden av kablen ikke tas med i beregningene.

2.2 FASIT

Fasit kravspesifikasjon kan sies å være en norsk bransjestandard for registrering og rapportering av feil og avbrudd i kraftnettet.

I FASIT skilles det mellom en rekke feilårsaker som igjen er delt inn i underkategorier. De årsakene som er mest relevante for denne oppgaven er:

- Årsak ikke klarlagt
- Omgivelser

Hvor Omgivelser er av størst interesse. Omgivelser består av totalt 19 underkategorier hvor årsakene fugl/dyr, vegetasjon og tordenvær er de største og mest interessante for denne oppgaven.

Det har i løpet av denne oppgaven vist seg at det kan stilles spørsmål med hvor korrekte de innrapporterte dataene er med tanke på underkategorier for omgivelsene. Følgende er et sitat fra HN sin årsrapport for 2011 som illustrerer problemstillingen:

«Feilårsaken er ofte ukjent på kortvarige driftsforstyrrelser, og i mange tilfeller er det derfor blitt gjort en kvalifisert gjetning. For 2011 ble det bestemt at det ikke skal gjettes uten overveiende sannsynlighet, som dermed førte til at over halvparten av de kortvarige feilene er ukjente...» [9]

Dette kan potensielt påvirke resultatene som omhandler hvilken effekt JS har på forskjellige typer feilårsaker. Dette blir igjen understreket der det finnes hensiktsmessig.

2.3 KILE-ordningen

KILE står for kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi. Det finnes ikke noen eksakt måte å kalkulere kundenes reelle tap ved strømbrydd, og det har derfor ved flere anledninger vært utført landsomfattende spørreundersøkelser i et forsøk på å estimere hva forskjellige kundegrupper vil være villige til å betale for å unngå avbrudd [10]. Da forskjellige kundegrupper rammes forskjellig av avbrudd, er sluttbrukerne delt inn i følgende grupper:

-jordbruk

- husholdning
- industri
- handel og tjenester
- offentlig virksomhet
- prosessindustri (inkl. treforedling og kraftintensiv industri)

Fram til 2008 ble ILE benyttet for å beregne avbruddskostnader, men NVE har bestemt at det skal benyttes kostnadsfunksjoner for å beregne avbruddskostnader [10]. Kostnadsfunksjonene kan sees i Figur 2.

Figur 2. Kostnadsfunksjoner for forskjellige kundegrupper.

Kundegruppe	Kostnadsfunksjon for referansetidspunktet r = avbruddsvarighet [h]		Enhet
	Antall varigheter		
Jordbruk	10,6*r+4		kr/kW
Husholdning	8,8*r+1		kr/kW
	0-4 timer	> 4 timer	kr/kW
Industri	55,6*r+17	18,4*r+166	kr/kW
Handel og tjenester	97,5*r+20	33,1*r+280	kr/kW
Offentlig virksomhet	14,6*r+1	4,1*r+44	kr/kW
Treforedling og kraftkrevende industri	7,7*r+6	3,1*r+23	kr/kW

Introduksjon av JS har størst effekt på kortvarige avbrudd, slik at startkostnadene for de forskjellige kundegruppene er mye viktigere enn hvordan kostnadene øker ved lengre avbrudd.

2.3.1 Korreksjonsfaktor

For sluttbruker er tidspunktet for når et strømbrydd inntreffer avgjørende for hvilke konsekvenser strømbryddet medfører. For å ta høyde for dette benyttes flere korreksjonsfaktorer. Det korrigeres for henholdsvis måned, ukedag og klokkeslett for samtlige kundegrupper, foruten at nettselskapene har mulighet til å varsle berørte kunder om planlagte avbrudd. Blir dette gjort, skal det også korrigeres for dette.

For oversikt over korreksjonsfaktorene og referansetidspunktene for alle kundegruppene refereres det til [10]

Kostnaden av et avbrudd kan regnes ut ved bruk av Formel 1.

$$K_j = k_{P,j}(r) * P_j$$

Formel 1. Kostnad på vilkårlig tidspunkt [10]

Der

$$k_{P,j}(r) = k_{P,ref}(r) * f_{k,j}$$

Formel 2. Kostnadsfunksjon korrigert for referanse [10]

Korreksjonsfaktoren for tidspunkt j finnes:

$$f_{k,j} = f_{K,j} * \frac{P_{ref}}{P_j}$$

Formel 3. Korreksjonsfaktor for tidspunkt j [10]

Der

$$f_{K,j} = f_{K,h} * f_{K,d} * f_{K,m}$$

Formel 4. Korreksjonsfaktor for avbruddskostnaden i tidspunkt j [10]

Innsatt får man da

$$k_{P,j}(r) = k_{P,ref}(r) * f_{K,j} * \frac{P_{ref}}{P_j}$$

Formel 5. Kostnadsfunksjon [10]

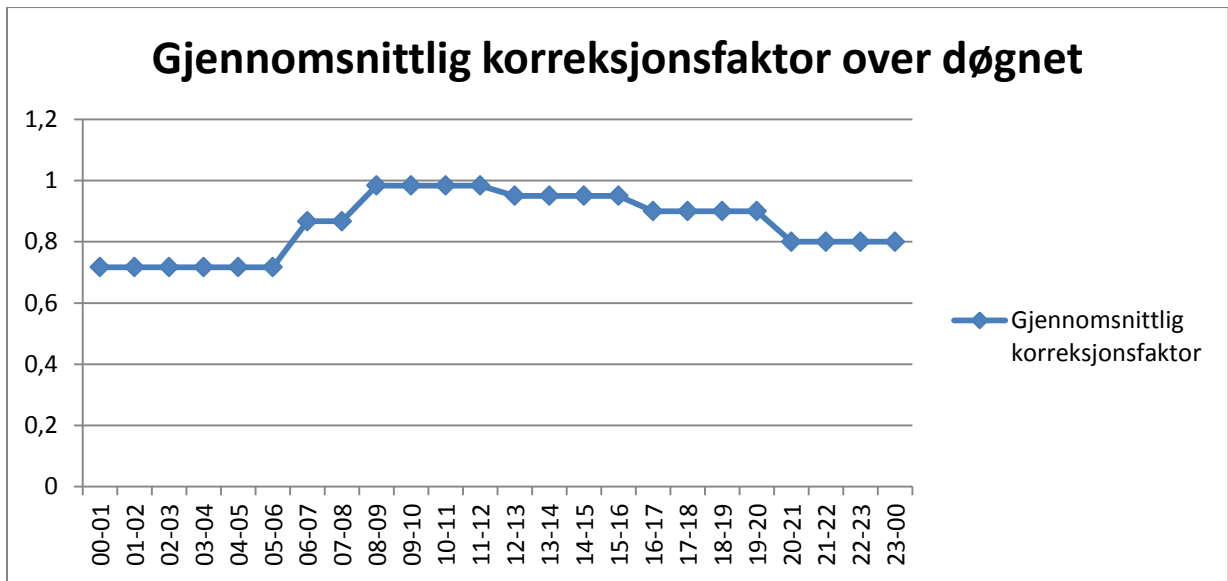
$$K_j = k_{P,j}(r) * P_j = k_{P,ref}(r) * f_{K,j} * \frac{P_{ref}}{P_j} = k_{P,ref}(r) * f_{K,j} * P_{ref}$$

Formel 6. Kostnad for avbrudd på tidspunkt j [10]

Hvor:

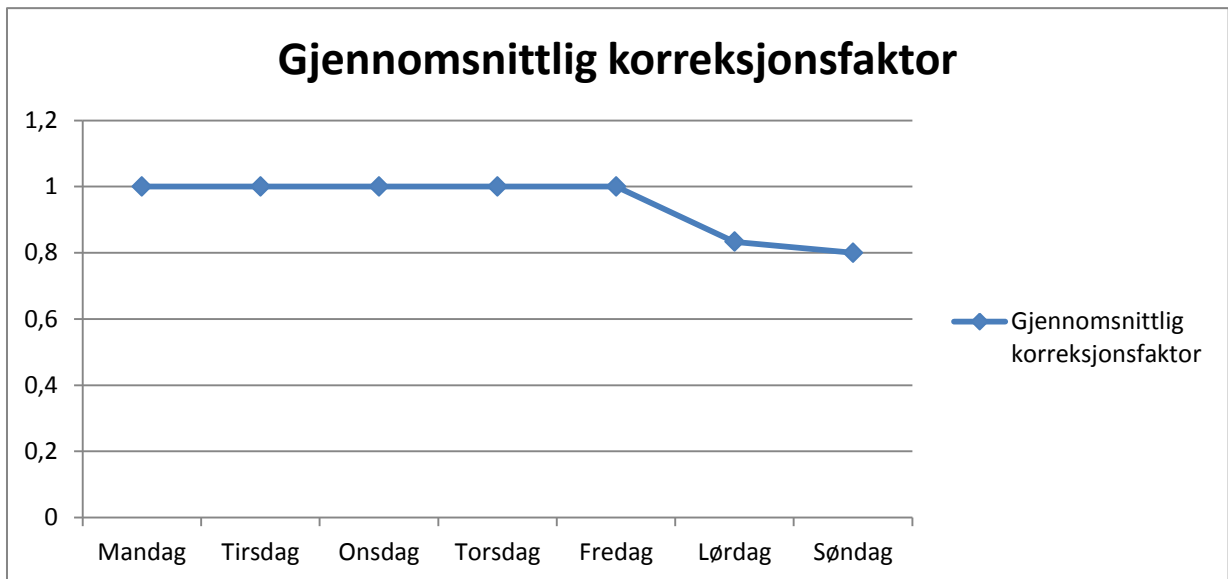
- K_j kostnad for avbrudd på tidspunkt j [kr]
- K_{ref} kostnad for avbrudd på referansetidspunktet [kr]
- P_j avbrutt effekt i rapporteringstidspunkt på tidspunkt j [kWh/h]
- P_{ref} avbrutt effekt i rapporteringstidspunktet på referansetidspunktet [kWh/h]
- r avbruddsvarighet [h]
- $f_{k,j}$ korreksjonsfaktor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

Grafisk fremstilling av korreksjonsfaktoren som et snitt av alle kunde grupper over døgnet er vist i Figur 3.



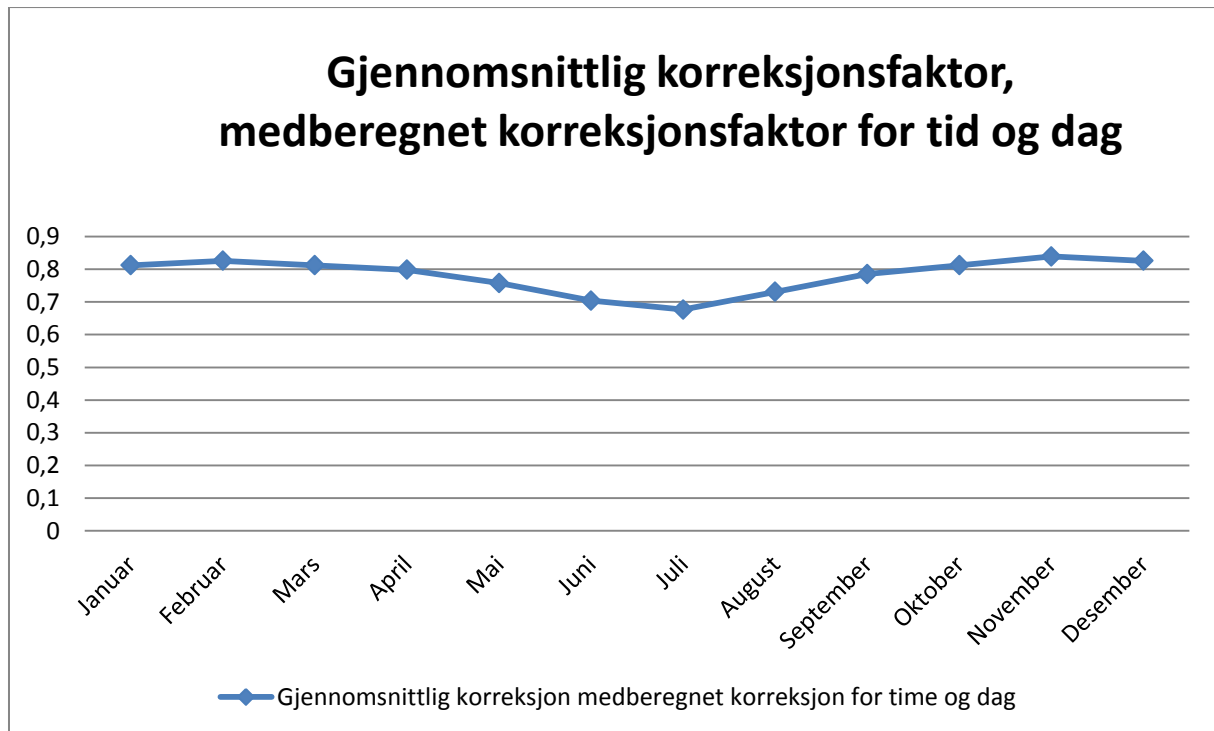
Figur 3. Gjennomsnittlig korreksjonsfaktor over døgnet.

Grafisk fremstilling av korreksjonsfaktoren som et snitt av alle kunde grupper over uken er vist i Figur 4.



Figur 4. Gjennomsnittlig korreksjonsfaktor over uken.

Grafisk fremstilling av korreksjonsfaktoren som et snitt av alle kundegrupper over året hvor det er korrigeret for tid på døgnet og ukedag er vist i Figur 5.



Figur 5. Gjennomsnittlig korreksjonsfaktor over året.

2.3.2 Bruk av KILE i oppgaven

For å finne KILE-satsene for de individuelle avgangene som er undersøkt i denne oppgaven har FASIT-datagrunnlaget blitt benyttet. Avbrudd for hver enkelt avgang med varighet på null minutter har blitt sporet ut. Den oppgitte KILE-kostnaden som er innrapportert i FASIT er det korrigeret i henhold til hva som er beskrevet i dette kapittelet, slik at ved å regne seg bakover for når de innrapporterte avbruddene hendte finner man det ukorrigerede KILE beløpet for avbrudd med varighet på null minutter. Et gjennomsnitt ble så beregnet basert på de tre siste avbruddene som inntraff i 2012. KILE-satsene for avgange blir da satt som dette gjennomsnittet.

Årsaken til at det kun er avbrudd med null varighet som det blir sortert etter, er fordi GIK i all hovedsak varer null minutter. Videre i denne oppgaven vil KILE-sats betegne KILE-satsen for GIK.

Når KILE-kostnaden for en avgang skal beregnes, blir den gjennomsnittlige korreksjonsfaktoren, vist i Figur 5, benyttet sammen med den kalkuleerte KILE-satsen og gjennomsnittlig antall GIK.

Avgang S1A1 på Stasjon1 for mai brukes her som eksempel for å demonstrere endringen av KILE-kostnadene etter at JS har blitt installert. S1A1 har en kalkulert KILE sats på 1 534,28 Kr, gjennomsnittlig antallet GIK i mai er beregnet til 0,051348 og 0,015528 for henholdsvis før og etter JS og korreksjonsfaktoren for mai er beregnet til 0,75792. Den kalkuleerte endringen i KILE-kostnadene blir da:

$$\Delta KILE = f_{Snitt,Mai} * \Delta GIK * KILE_Sats = 0,75792 * (0,051348 - 0,015528) * 1534,28 = 830,62kr$$

Formel 7. Endring i KILE-kostnader.

2.4 Økonomisk teori og kostnader forbundet med spole

For å kunne si noe om de økonomiske virkningene ved å installere JS er man avhengig av å vite kostnadene som er forbundet med innkjøp og vedlikehold av spolen, samt hvordan KILE-kostnadene har endret seg etter at JS ble installert.

Innkjøp og installasjonskostnadene tilknyttet en spole er anslått til 500 000 kr [11], med tilknyttede vedlikeholdskostnader på 10 000 kr i året. Nøyaktige kostnader vil variere fra spole til spole, men for å kunne generalisere vil dette være tallene som brukes i resten av oppgaven.

2.4.1 Kalkulasjonsrente

Kalkulasjonsrenten sier noe om hva verdien av et gitt pengebeløp i dag (nåverdi) vil være i fremtiden. På samme måten kan nåverdien brukes til å beregne hva et gitt beløp i fremtiden vil være vært i dag. Kalkulasjonsrenten består av risikofri realrente og et risikotillegg, der den risikofrie renten er basert på en rente til risikofrie investeringer, som å investere i statspapirer [8].

Finansdepartementets gjeldende kalkulasjonsrente for samfunnsøkonomiske analyser er 4 % [12].

Hvor:

- Risikofri realrente er 2 %
- Risikotillegg er 2 %

2.4.2 Økonomisk og teknisk levetid

Med teknisk levetid menes det antall år anlegget forventes å fungere teknisk tilfredsstillende før det må skrotes pga. fysisk tilstand. Teknisk levetid påvirkes av materialenes fysiske egenskaper, driftspåkjenninger samt ytre påvirkninger. [8]

Økonomisk levetid forklares som tiden det tar før investeringen ikke lenger fungerer etter ønsket hensikt. Hafslund går ut ifra at deres spoler har både teknisk og økonomisk levetid på mellom 40 og 50 år. 40 år er derfor valgt som levetid for JS i for denne oppgaven.

2.4.3 Annuitet og årlige kostnader

For å kunne beregne årskostnaden for innkjøp og installasjonen av JS benyttes annuitet. Annuitet forteller hvor stor den årlige kostnaden blir hvis man deler opp investeringskostnaden i like store deler for alle årene JS er i drift. Annuitet beregnes ved hjelp av Formel 8:

$$\mathcal{E}_{r,N} = \left[\frac{r}{1 - (1+r)^{-N}} \right]$$

Formel 8. Annuitet. [8]

Med den oppgitte investeringskostnaden og kalkulasjonsrenten samt vedlikeholdskostnadene blir den årlige utgiften K tilknyttet spolen:

$$K = 500000 * \left[\frac{0,04}{1 - (1 + 0,04)^{-40}} \right] + 10000 = 35262 \text{ Kr} / \text{ år}$$

Formel 9. Årlig utgift.

Dette betyr at JS må redusere KILE-kostnadene med minst 35 262 kr i året for å være lønnsom.

2.4.4 Kapitalisering og tilbakebetaling

Nåverdien av en endelig betalingsrekke betegnes som kapitalisering og er gitt som:

$$\lambda_{r,N} = \left[\frac{1 - (1+r)^{-N}}{r} \right]$$

Formel 10. Kapitalisering. [8]

For å finne ut hvor mange år N det tar før investeringskostnaden I er tilbakebetalt gitt reduksjonen i KILE-kostnader $\Delta KILE$, årlige driftskostnader D og kalkulasjonsrente r benyttes formelen:

$$I = (\Delta KILE - D) * \lambda_{r,N} = (\Delta KILE - D) * \left(\frac{1}{r} - \frac{1}{r(1+r)^N} \right)$$

Formel 11. Investering og tilbakebetaling.

Som fører til:

$$N = \frac{\log \left(\frac{1}{\left(\frac{1 - I * r}{\Delta KILE - D} \right)} \right)}{\log(1 + r)}$$

Formel 12. Hvor mange år før investering er tilbakebetalt.

Hvor:

I	Investeringskostnaden [kr]
D	Årlige driftskostnader [kr]
$\Delta KILE$	Endring i KILE-kostnader [kr]
N	År
r	Kalkulasjonsrente

2.4.5 Følsomhet for endringer i KILE

For å finne hvor mye KILE-satsene kan endres før investering i JS ikke lenger er lønnsom benyttes Formel 14.

I Formel 13 settes inntektene lik utgiftene.

$$\Delta KILE * \frac{\Delta Sats}{100\%} - D = I * \varepsilon_{r,N}$$

Formel 13. Inntekt lik utgifter.

Som fører til:

$$\Delta Sats = \frac{I * \varepsilon_{r,N} + D}{\Delta KILE} * 100\%$$

Formel 14. Sensitivitet ved endring av KILE sats.

Hvor:

$\Delta Sats$ Endring i KILE-sats [%]

3 Hafslund Nett

Hafslund Nett begynte å installere JS i 2005. Noen god oversikt over alle feil som inneholder data fra årene før Hafslund Nett installerte JS finnes ikke, da dette ikke var påbudt å registrere. Hafslund Nett har derimot en komplett oversikt over GIK helt tilbake til 2002/2003. Dette har ført til at det er mulig å kunne se hvordan antallet GIK har forandret seg etter at JS ble installert.

I forbindelse med denne oppgaven har det blitt hentet ut data på konkrete jordede og isolerte luftnett. Problemer har oppstått da det i ettertid viser seg at enkelte avganger som man antok å være jordet har vist seg å i perioder ha ligget isolert. Isolerte perioder etter at JS ble installert er ikke tatt med i statistikken. Eventuelle endringer som har blitt gjort med rådataene vil bli beskrevet for hver enkelt avgang.

En svakhet med dataene er at det kun er mulig å hente ut lengdene til dagens nett. Da det er naturlig å tenke seg at nettet har blitt bygget ut og forholdet mellom kabel og linje har forandret seg i løpet av analyseperioden, vil dette føre til svakheter rundt temaene som omhandler feilfrekvens per lengdeenhet.

Det største problemet er muligens at eventuelle endringer av delingspunkt i løpet av analyseperioden ikke er kjent. Dette betyr at endringen som observeres i endringen av GIK, kan skyldes at det er gjort endringer i nettet slik at avganger blir betydelig lengre eller kortere. Det finnes ingen god oversikt over endringer av delingspunkt.

For å gjøre det mulig å analysere virkningen av JS går man ut ifra at det ikke har vært noen endringer av avgangene fra 2002/2003 til 2012. At det ikke er gjort noen endringer er urealistisk, men det er en nødvendig forutsetning for å kunne gjøre analyser av dataene.

Videre følger en gjennomgang av fire av HN sine transformatorstasjoner der JS har blitt instalert. Alle stasjonsnavn og navn på avganger er anonymisert.

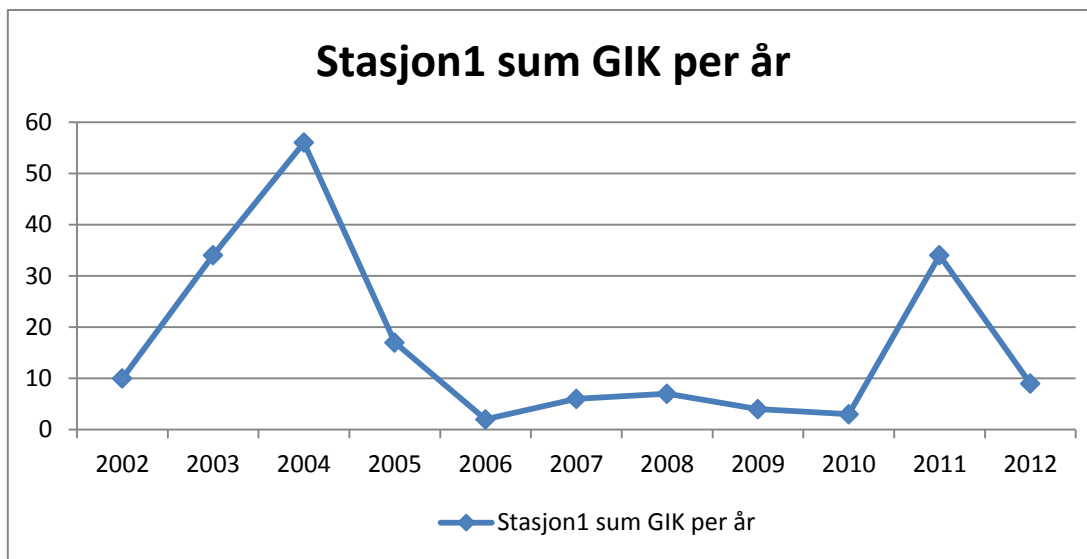
3.1 Stasjon1

Stasjon1 ligger i Akershus fylke og består av kabel og luftnett, stasjonen har totalt 7 avganger. Stasjon1 fikk installert spole i starten av juli 2005. I årene før spolen ble installert var det høy forekomst av GIK, men ble kraftig redusert etter at stasjonen ble spolejordet.

Som beskrevet i innledningen oppstod det problemer med spolen sommeren 2011, hvor antallet GIK økte markant.

3.1.1 GIK før og etter JS

De to avgangene som vil bli undersøkt er S1A1 og S1A2. Dette fordi de er de to eneste avgangene med stor andel av luftnett. I årene før spolen ble installert hadde de to avgangene et snitt på 46,5 GIK per år, de påfølgende årene etter 2005 hadde snittet falt til 5,6. Periodene hvor spolen lå ute sommeren 2011 er ikke tatt med i beregningen. Dette tilsvarer en total reduksjon på 88,0 %. Figur 6 viser oversikten over summen av alle GIK per år for begge avgangene. Perioden hvor spolen lå ute er her tatt med for å synliggjøre hvilken effekt noen måneder uten spole kan ha.

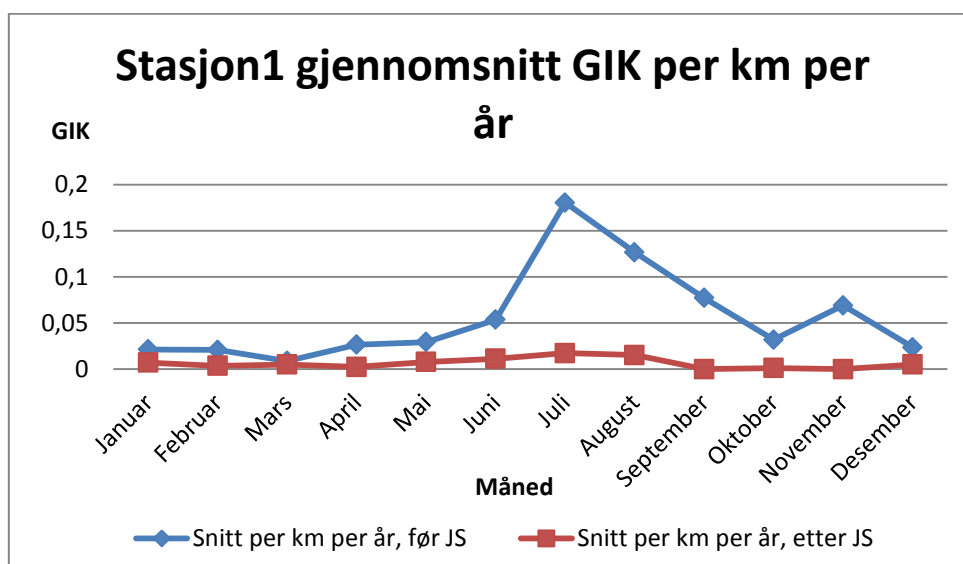


Figur 6. Stasjon1 GIK per år for S1A1 og S1A2

3.1.2 GIK per kilometer

Avgang S1A1 består av totalt 932 meter med kabel og 18 425 meter med linje, totalt 19 357 meter. Avgang S1A2 består av 8 937 meter med kabel og 60 157 meter med linje, totalt 69 094 meter nett. Totalt utgjør dette en kabelandel på 11,2 %. Ved beregning av GIK per kilometer benyttes kun linjelengden som forklart i Kapittel 2.1.2.

Figur 7 viser hvordan gjennomsnittlig GIK per kilometer linje per år fordeler seg over året. Det kommer her fram at den største reduksjonen av GIK skjer i sommermånedene juni til september.



Figur 7. Stasjon1 snitt GIK per km per år.

Den gjennomsnittlige reduksjonen av GIK per kilometer per år går fra 0,67 til 0,08, en reduksjon på 88,1%.

Av grafen ser man at antallet GIK i november var høyere enn i oktober for årene før JS ble installert. Ved å gå inn i dataene viser det seg at fem GIK i november 2004 er hovedansvarlig for denne

økningen. Det er derfor liten grunn til å tro at denne økningen ville vært like markant hvis datagrunnlaget hadde vært basert på flere år.

Tabell 1 og Tabell 17 i Vedlegg A: Stasjon1 viser en oversikt over henholdsvis gjennomsnittlig GIK per km per år og gjennomsnittlig GIK per år for begge avgangene.

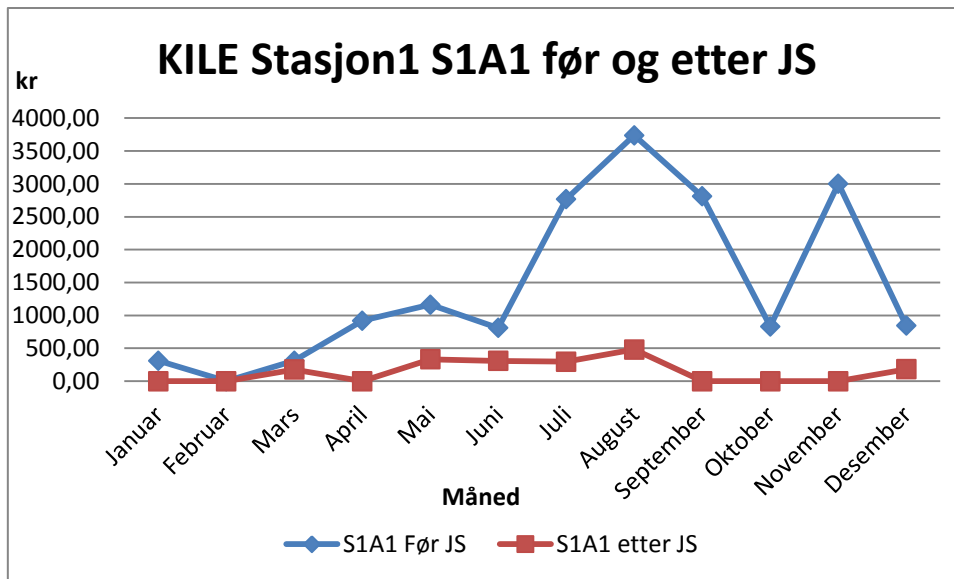
Tabell 1. Stasjon1 snitt GIK per km per år.

	Før JS [GIK]	Etter JS [GIK]
Januar	0,0213	0,0058
Februar	0,0208	0,0029
Mars	0,0089	0,0041
April	0,0266	0,0019
Mai	0,0293	0,0059
Juni	0,0536	0,008
Juli	0,1804	0,0117
August	0,1266	0,0111
September	0,0772	0
Oktober	0,032	0,001
November	0,0689	0
Desember	0,0237	0,0042
Sum per år	0,6692	0,0565
Endring [%]	88,66	

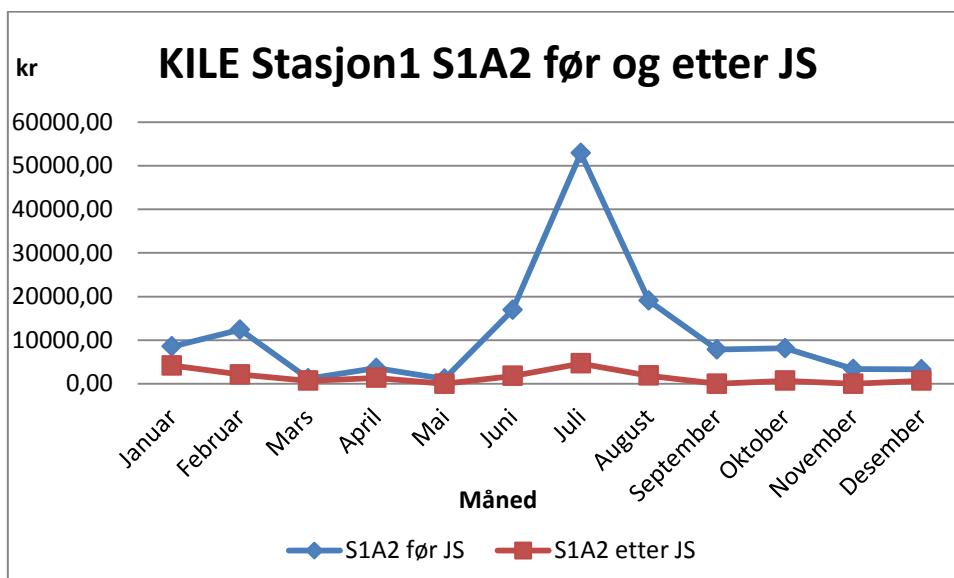
3.1.3 Endring av KILE-kostnader

De to aktuelle avgangene på Stasjon1 har forholdsvis lave KILE-satser i forhold til flere av de andre avgangene som er undersøkt i denne oppgaven, men den høye GIK frekvensen fører likevel til at KILE-kostnadene blir betydelige.

De beregnede KILE-satsene ut ifra det tilgjengelige datamaterialet er 1 534 kr for S1A1 og 6 009 kr for S1A2. Figur 8 og Figur 9 viser de årlige beregnede KILE-kostnadene før og etter JS for de aktuelle avgangene.

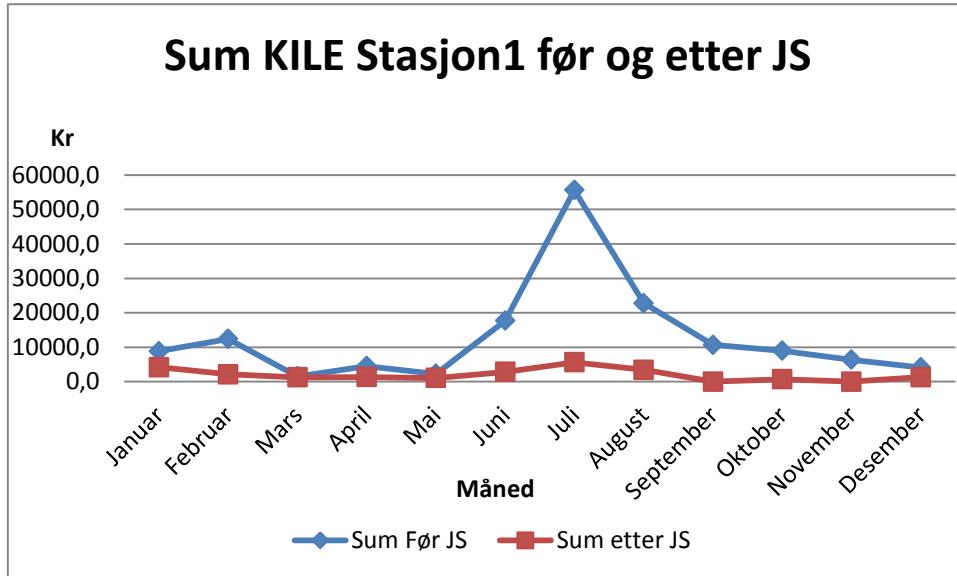


Figur 8. Årlig KILE Stasjon1 avgang S1A1, før og etter JS.



Figur 9. Årlig KILE Stasjon1 avgang S1A2, før og etter JS.

Figur 10 viser summen av de beregnede årlige KILE-kostnadene for begge avgangene på Stasjon1.



Figur 10. Sum årlig KILE Stasjon1.

Det kan her observeres at endringen i KILE-kostnaden ligner på endringen av GIK per kilometer per år, men da forholdet mellom KILE-satsene for de to avgangene er forskjellig fra forholdet mellom lengdene på de aktuelle avgangene blir kurvene over året noe annerledes.

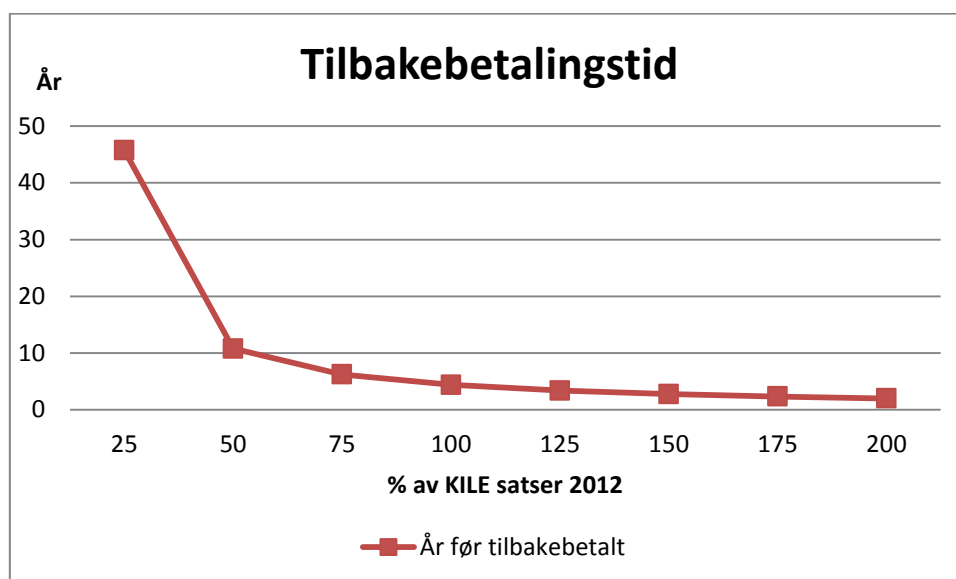
De gjennomsnittlige KILE-kostnadene i årene før JS er beregnet til 17 510 kr og 138 369 kr for henholdsvis S1A1 og S1A2. I årene etter at JS ble installert faller de årlige kostnadene til 5814 kr og 18 124 Kr. Dette tilsvarer en reduksjon på 84,6 % eller totalt 135 978 kr per år. Dette vises i Tabell 2. Tabell 18 og Tabell 19 i Vedlegg AA viser detaljerte data for hver av avgangene før og etter installasjon av JS.

Tabell 2. Stasjon1 sum KILE før og etter JS.

	Sum Før JS [kr]	Sum etter JS [kr]
Januar	8850,69	4182,47
Februar	12402,18	2126,09
Mars	1531,37	875,07
April	4517,53	1370,92
Mai	2301,42	332,25
Juni	17725,61	2120,92
Juli	55630,47	4943,84
August	22768,00	2362,68
September	10671,74	0,00
Oktober	8963,19	697,08
November	6365,52	0,00
Desember	4151,71	889,65
Sum per år	155879,43	19900,95
Differanse		135978,48

3.1.4 Økonomisk analyse

Figur 11 viser ved hjelp av Formel 12 hvor mange år det tar før investeringen er tilbakebetalt tatt i betraktning de årlige vedlikeholdskostnadene og kalkulasjonsrenten.



Figur 11. Hvor mange år før investering er tilbakebetalt.

Ved å gå ut ifra at man reduserer KILE beløpet med 135 978 kr i året og med en årlig vedlikeholdskostnad på 10 000 Kr, beregnes det ved hjelp av Formel 12 at vil det ta 4,4 år før investeringen innenfor analyseperioden er inntjent. Ved å redusere KILE-satsene med 50 % fra 2012 nivå vil det ta 10,8 år før investeringskostnadene er inntjent.

Med KILE-kostnadene for 2012 er netto besparelse på 100 716,3 kr. For at netto besparelse fortsatt skal være positiv finner man ved bruk av Formel 14 at KILE-satsene kan falle til 25,9 % av 2012 nivå.

Da reduksjonen av KILE-kostnadene er svært høye må det være store reduksjoner i KILE-satsene før tilbakebetalingstiden overstiger den forventede levetiden. De gjeldende KILE-satsene der kortvarige avbrudd også er inkludert, ble innført i 2008, slik at JS på Stasjon1 sannsynligvis var nedbetalt i løpet av 2012.

Reparasjons- og KILE-kostnadene forbundet med spolehavariet i 2011 er ikke tatt med i beregningen, da dette må anses som et unikt tilfelle.

3.2 Stasjon2

Stasjon2 er en transformatorstasjon som ligger i Akershus. Stasjon2 består i dag av totalt 8 avganger. Av de samme årsakene som nevnt for Stasjon1 vil kun to avganger ved Stasjon2 bli undersøkt, dette er avgangene S2A1 og S2A2. Ved å gå gjennom Hafslund sine interne FASIT rapporter kommer det fram at enkelte feil har blitt rapportert som isolerte i perioder hvor alle andre feil er registrert som jordede. I samtaler med Kjell Anders Tutvedt ved Avdeling for feilanalyse har man derimot kommet fram til at dette mest sannsynlig skyldes feilregistreringer. Det tas derfor utgangspunkt i at de to nevnte avgangene har vært spolejordet i tidsrommet fra spolen ble installert, sett bort fra en liten periode i 2012.

Nøyaktig tidspunkt for når spolen ble satt i drift er usikkert da det er helt tydelig at dette har blitt feilregistrert i Hafslunds systemer. Fra FASIT rapportene ser det derimot ut som om spolen ble satt i varig drift fra slutten av juni 2005. Et usikkerhetsmoment er at ved to driftsforstyrrelser i februar er rapportert med spolejordet drift, disse to driftforstyrrelsene var ved to av avgangene som ikke blir undersøkt. Grunnet den totale uvissheten rundt spolen velges det derfor at perioden januar til og med juni 2005 ikke brukes i beregningene. FASIT rapportene tyder på at S2A1 var koblet ut fra august 2012, men det er ingen tegn i rapportene som tyder på at dette også var tilfellet for S2A2. Alle feil som oppstod i denne perioden på S2A1 er derfor utelatt fra beregningene.

3.2.1 GIK før og etter JS

Registreringer av GIK for avgang S2A1 ble først startet i 2003, dette faktum blir det tatt høyde for i beregningene.

I årene før JS ble installert var det i snitt 7,3 GIK per år for S2A1 og S2A2 til sammen. I årene etter falt dette til 2,6 GIK. Dette tilsvarer en reduksjon på 68,2 %. En oversikt over gjennomsnittlig antall GIK per år over året er vist i Figur 12.



Figur 12. Stasjon2 summen av GIK per år.

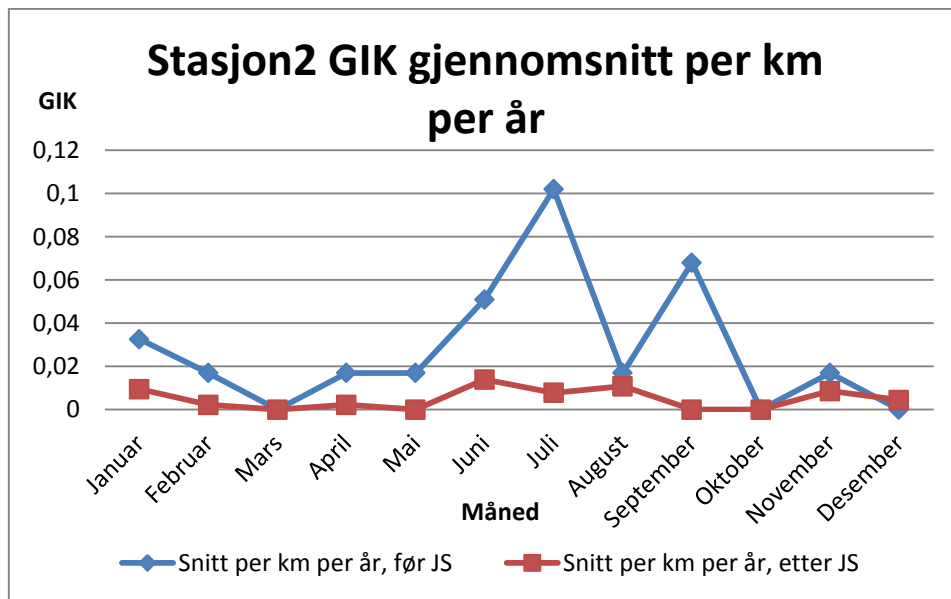
Av Figur 12 ser man at 2007 skiller seg ut ved en stor økning i GIK fra de foregående årene. Ved å lese gjennom alle FASIT rapportene for hele stasjonen for 2007 kommer det fram at forekomsten av GIK var høy for alle avgangene dette året. Mannskaper ble sendt på linjebefaring, men det ble aldri funnet noen årsak. Forekomsten av GIK er høy også for 2011, igjen ble det aldri funnet noen årsak.

3.2.2 GIK per kilometer

S2A1 består av 14 790 meter med kabel og 32 092 meter med linje, totalt 46 882 meter med nett. S2A2 består i dag av 9 835 meter med linje og 8 602 med kabel, totalt 18 437 meter med nett. Dette betyr at nettet til Stasjon2 består av 35,8 % kabel.

Den store kabelandelen fører til at jordstrømmene i årene før JS ble installert var betraktelig større enn for luftnett av tilsvarende lengde, S2A1 og S2A2 kan derfor ha redusert verdi som sammenlikningsgrunnlag med luftnett.

Figur 13 viser den gjennomsnittlige GIK frekvensen per kilometer linje per år.



Figur 13. Stasjon2 snitt GIK per km per år.

Frekvensen av GIK gjennom året før og etter at JS ble installert er annerledes for de undersøkte avgangene på Stasjon1 enn for de andre stasjonene. Det faktum at det bare er fem datapunkter for hver måned i årene før JS ble installert er en svakhet som trolig er årsaken til at antallet GIK i august skiller seg ut i forhold til juli og september. Lavt antall GIK fører til at selv små variasjoner i GIK får store utslag i statistikken.

Tabell 3 viser en oversikt over gjennomsnittlig GIK per avgang per km per år. Tabell 20 i Vedlegg B: Stasjon2 viser sum GIK per år for begge avgangene.

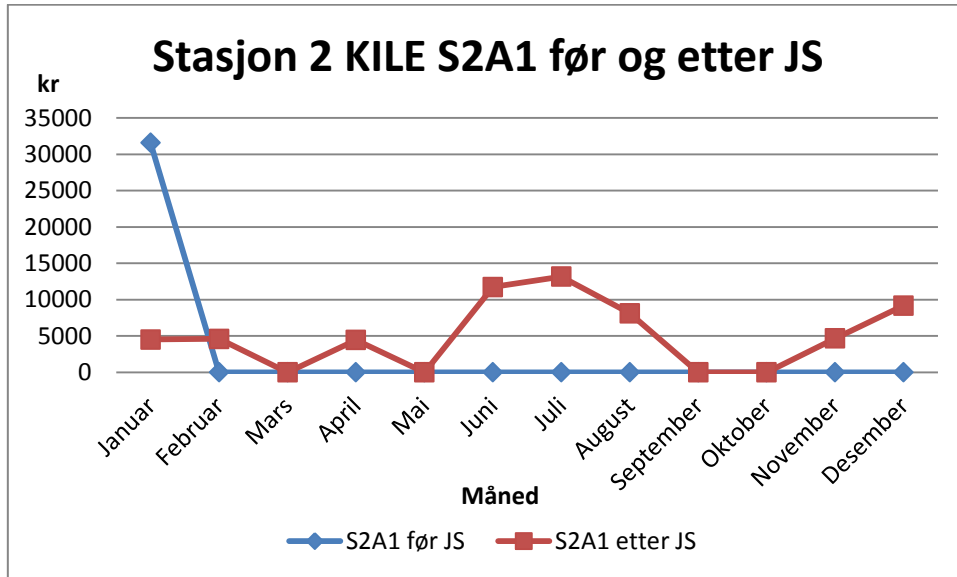
Tabell 3. Stasjon2 GIK per km linje per år før og etter JS.

	Før JS [GIK]	Etter JS [GIK]
Januar	0,0326	0,0095
Februar	0,0170	0,0022
Mars	0	0
April	0,0170	0,0022
Mai	0,0170	0
Juni	0,0510	0,0134
Juli	0,1020	0,0078
August	0,0170	0,0108
September	0,0680	0
Oktober	0	0
November	0,0170	0,0086
Desember	0	0,0045
Sum per år	0,3387	0,0596
Endring[%]	82,40	

3.2.3 Endring av KILE-kostnader

KILE-satsene er beregnet til å være 38 904 kr for S2A1 og 15 109 kr for S2A2, hvilket kan betraktes som normalt sammenlignet med de andre undersøkte avgangene.

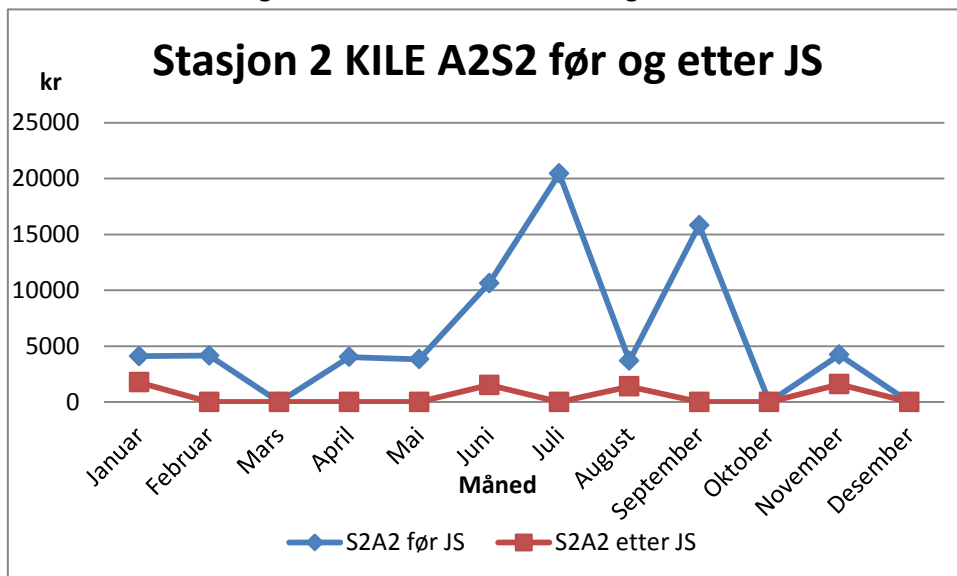
Endringen av KILE etter installasjon av JS for S2A1 og S2A2 kan sees i henholdsvis Figur 14 og Figur 15.



Figur 14. Stasjon2 KILE for S2A1 før og etter JS.

Det kommer her fram at de gjennomsnittlige KILE-kostnadene tilknyttet S2A1 har økt i perioden etter at JS ble installert. Ved å gå gjennom dataene ser man det var et høyt antall GIK i januar 2004, slik at den gjennomsnittlige frekvensen i perioden før JS blir høy. Januar 2004 er igjen den eneste måneden med GIK før JS. Dette kan skyldes tilfeldigheter, men det er også en mulighet at S2A1 ikke har vært i bruk eller at det er gjort store endringer i nettet. Uavhengig av årsak er resultatet at KILE-kostnadene går fra 31 592 kr til 60 401 Kr, en økning på 91,2 %.

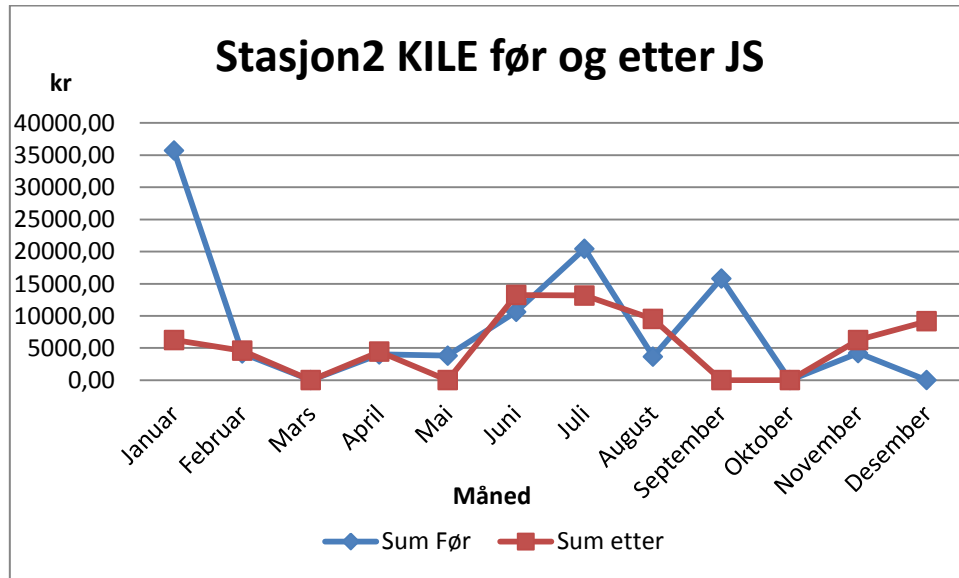
Figur 15 viser KILE for S2A2 før og etter JS.



Figur 15. Stasjon2 KILE for S2A2 før og etter JS.

Endringen av KILE har vært meget positiv for S2A2, med en total reduksjon på 64 653 kr per år eller 91,2 %. August skiller seg her ut i forhold til juli og september. Det er grunn til å tro at dette skyldes naturlige variasjoner og et begrenset datagrunnlag.

Figur 16 viser summen av KILE for S2A1 og S2A2.



Figur 16. Stasjon2 sum KILE begge avgangene.

Sett under ett har de totale KILE-kostnadene falt fra 102 482 kr til 66 638 Kr, en reduksjon på 35 844 kr per år eller 35,0 %. Det er derimot uvisshet omkring S2A1 slik at det er mulig at effekten av JS ville vært høyere om alle nettendringene som er utført gjennom årene hadde vært tilgjengelige.

Tabell 4 viser summen av de årlige KILE-kostnadene for begge avgangene før og etter installasjon av JS. Tabell 21 og Tabell 22 i Vedlegg B: Stasjon2 viser KILE-kostnadene for hver av avgangene før og etter installasjon av JS.

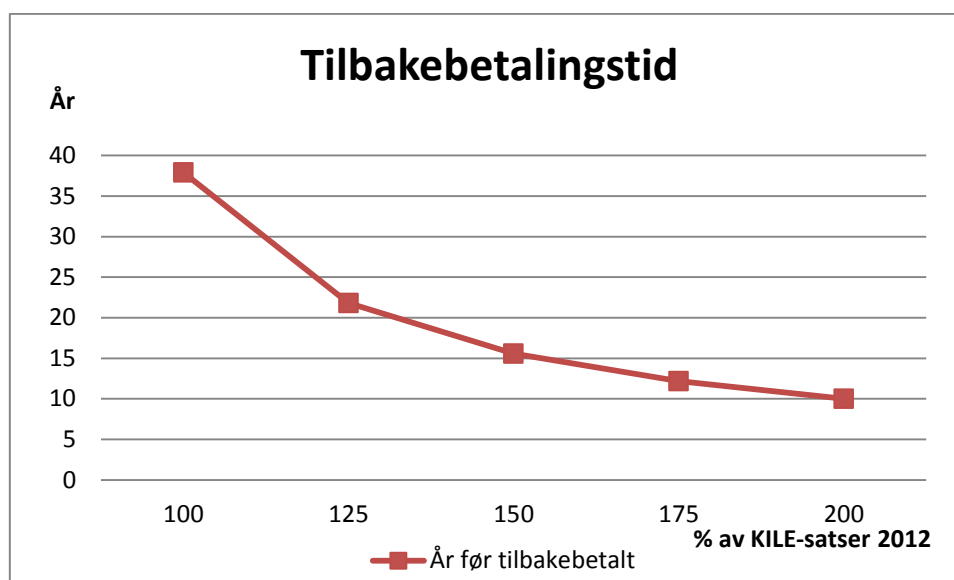
Tabell 4. KILE Stasjon2 sum før og etter JS begge avgangene.

	Sum Før JS [kr]	Sum etter JS [kr]
Januar	35681,98	6265,94
Februar	4157,97	4588,39
Mars	0,00	0,00
April	4021,64	4437,95
Mai	3817,15	0,00
Juni	10633,49	13253,31
Juli	20449,02	13163,41
August	3680,82	9504,01
September	15813,91	0,00
Oktober	0,00	0,00
November	4226,13	6248,41
Desember	0,00	9176,78
Sum per år	102482,10	66638,18
Differanse		35843,92

3.2.4 Økonomisk analyse

Ved å redusere KILE-kostnadene med 35 844 kr per år vil det ta 37,9 år før investeringen er tilbakebetalt. Reduseres KILE-satsene til 75 % av 2012 nivå vil spolen aldri bli tilbakebetalt. For at spolen skal bli tilbakebetalt innenfor en tidsperiode på 10 år må KILE-satsene øke til 200 % av 2012 nivå.

Figur 17 viser hvor mange år det tar før investeringen er tilbakebetalt.



Figur 17. Stasjon2 år før investering er tilbakebetalt.

Med dagens KILE-kostnader er netto besparelse på 581 kr per år. For at investeringen skal forbli lønnsom, kan ikke KILE-satsene reduseres til lavere enn 98,4 % av 2012 nivå.

Den lave reduksjonen i KILE-kostnadene fører til stor usikkerhet om investeringen av JS på Stasjon2 også vil være lønnsom i fremtiden, da KILE ordningen endres med jevne mellomrom.

Det er igjen viktig å understreke at det er knyttet vesentlig usikkerhet til hvorvidt den beregnede reduksjonen i KILE stemmer med den virkelige reduksjonen.

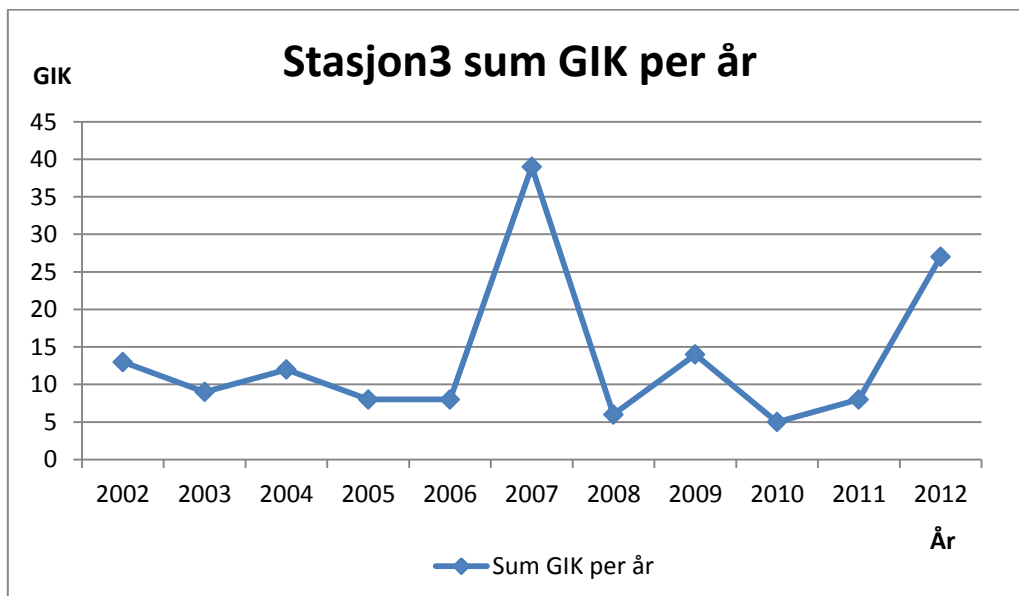
3.3 Stasjon3

Stasjon3 ligger i Akershus og består i dag av totalt seks avganger. JS ble installert en gang i 2005 og har hatt en tilsynelatende liten effekt på antallet GIK. Det er 3 avganger med mye linje hvor man har gode data fra årene før JS ble installert, dette er avgangene S3A1, S3A2 og S3A3. Nøyaktig dato for når JS ble satt i drift er uvisst, men første registrerte feil med spolejording er fra slutten av juni 2005. Hvor lenge spolen da hadde vært i drift er usikkert. Usikkerhetene rundt jording i juni 2005 fører til at denne måneden ikke brukes videre i denne oppgaven.

Ved å gå inn i FASIT rapportene er det to perioder hvor både S3A1 og S3A2 har blitt registrert som isolerte. S3A3 har kun blitt registrert som isolert i én av disse periodene. S3A1 ble også registrert som isolert i perioden 7. til 18. november 2006, S3A1 er den eneste av avgangene på stasjonen som ser ut til å ha vært isolert i dette tidsrommet. Den første perioden hvor S3A1 og S3A2 var registrert som isolerte var fra 29. mars 2007 til 9. juni 2007. Den andre perioden hvor alle avgangene var registrert som isolerte var fra 26. til 11. juli 2012, en relativ kort periode, men med et samlet sett høyt antall GIK.

3.3.1 GIK før og etter JS

I årene før JS ble installert var det et snitt på 11,2 GIK per år fordelt på de tre avgangene. Etter at JS ble installert falt antallet til 9,8 GIK per år. Dette tilsvarer en reduksjon på 12,5 %. Figur 18 viser Antall GIK for hver avgang. Figur 18 viser antallet GIK per år for de undersøkte avgangene, perioder med isolert drift er her tatt med.



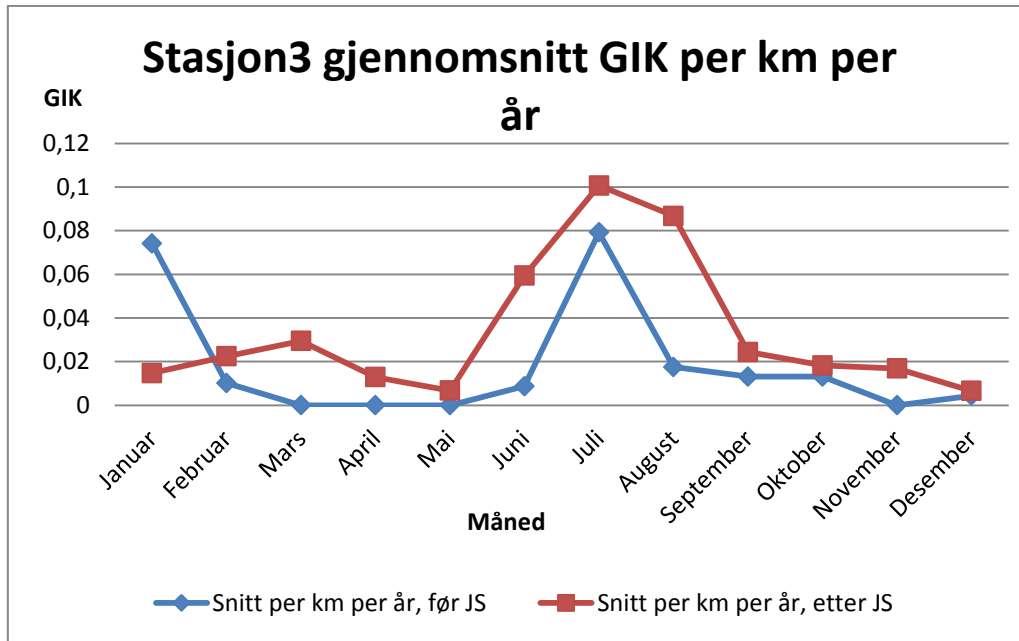
Figur 18. Stasjon3 GIK per år for alle avgangene.

Det kan observeres at i årene hvor det i perioder var isolert drift skiller antallet GIK seg klart ut sammenlignet med de årene hvor avgangene var konstant jordede.

3.3.2 GIK per kilometer

S3A1 består av 9 699 meter med kabel og 25 383 meter med linje. Avgangen S3A2 består av 350 meter med kabel og 8 202 meter med linje. S3A3 består av 9 478 meter med kabel og 3 700 meter med linje. For de tre avgangene utgjør samlet kabelandel hele 41,8 % av den totale lengden. Dette er en svært høyt andel og må tas med i betraktningen når man sammenligner mot luftnett.

Figur 19 viser snittet av GIK per kilometer linje per år før og etter at JS ble installert.



Figur 19. Stasjon3 snitt GIK per km linje per år.

Det kommer her fram at antallet GIK per kilometer linje per år har økt i perioden etter at JS ble installert, sammenlignet med perioden før. Dette til tross for at det totale antallet GIK per år har sunket. I dette tilfellet skyldes det at fordelingen av GIK over de tre avgangene ikke samsvarer med lengdene. Summen av GIK på S3A3 og S3A2 er høyere enn for S3A1 for de siste 5 årene av analyseperioden, til tross for at S3A1 har over dobbelt så mye linje som S3A3 og S3A2 til sammen. FASIT rapportene viser ikke noen klar forskjell i ulike typer feilårsaker for de tre avgangene, igjen utgjør «årsak ikke klarlagt» en betydelig andel av feilårsakene. Det man derimot kan tenke seg er at S3A3 og S3A2 kanskje går gjennom en annen type terreng som er mer belastet for fugl/vegetasjon enn S3A1, men da rapporterte feilårsaker i noe grad baseres på gjetning kan det være at årsakene som blir rapportert inn ikke gjenspeiler eventuelle faktiske forskjeller mellom avgangene. En annen mulighet er at det kan ha vært gjort omkoblinger i nettet, slik at antallet kilometer med linje har økt i løpet av analyseperioden. Hvis dette er tilfellet er det vanskelig å fastslå hvilken virkning JS har hatt.

Graden av kabel er sammenlagt for de tre avgangene betydelig høyere enn for de andre undersøkte avgangene. Dette kan påvirke GIK frekvensen på flere måter:

- Jordfeilstømmen i periodene uten spolekompensering vil være betydelig høyere enn for tilsvarende luftnett. Det er naturlig at en høy jordfeilstrom medfører en høy GIK frekvens da høy jordstrøm øker sannsynligheten for at transienter utvikler seg til en stående lysbue.

- Lengden kabel blir ikke tatt med når gjennomsnittlig GIK per kilometer blir beregnet. Da kabel utgjør en svært høy andel av nettet på Stasjon3, kan det hende at denne beregningsmetoden ikke egner seg i samme grad.

Tabell 5 viser en oversikt over gjennomsnittlig GIK per avgang per km linje per år. Tabell 23 i Vedlegg C: Stasjon3 viser gjennomsnittlig GIK per år for de tre avgangene.

Tabell 5. Stasjon3 snitt GIK per km per år før og etter JS.

	Før JS [GIK]	Etter JS [GIK]
Januar	0,0741	0,0147
Februar	0,0102	0,0224
Mars	0	0,0295
April	0	0,0129
Mai	0	0,0068
Juni	0,0087	0,0594
Juli	0,0792	0,1007
August	0,0175	0,0868
September	0,0131	0,0244
Oktober	0,0131	0,0182
November	0	0,0169
Desember	0,0044	0,0066
Sum per år	0,2203	0,3992
Endring[%]	-81,21	

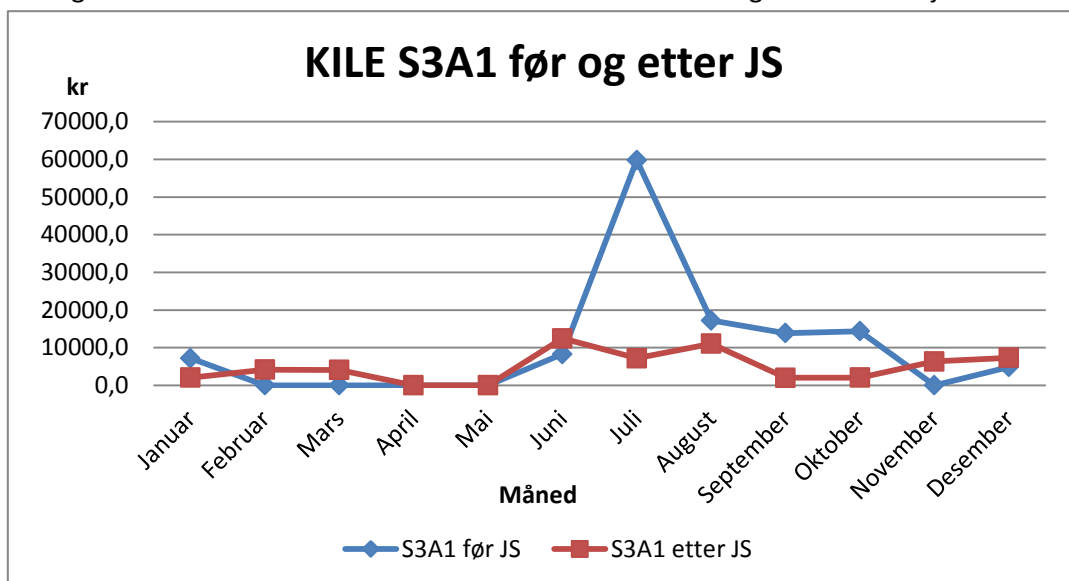
Det kommer her fram at det er flere hele måneder i årene før JS ble installert hvor det aldri var noen GIK. Dette skyldes høyst sannsynlig at antall år uten spole ikke er mange nok til gi en representativ fremstilling av de faktiske forhold. Til sammenlikning er det ikke færre år uten JS på Stasjon3 enn for de andre undersøkte stasjonene. I tillegg er det flere undersøkte avganger på Stasjon3 enn for både Stasjon1 og Stasjon2, slik at det ville vært naturlig om GIK frekvensen over året før JS ikke inneholdt så mange måneder med null GIK som det som er tilfellet.

3.3.3 Endring av KILE-kostnader

De kalkulerte KILE-satsene for de undersøkte avgangene er 17 677 Kr, 856 kr og 33 065 kr for henholdsvis S3A1, S3A2 og S3A3.

Det særegne for Stasjon3 er det store forholdet mellom KILE-satsene og lengdene på avgangene. Forholdet mellom lengden på S3A1 og S3A2 er 3,1, mens for KILE-satsene er forholdet 20,6. Forholdet mellom lengden på S3A2 og S3A3 er 2,2, mens forholdet mellom KILE-satsene er 0,03.

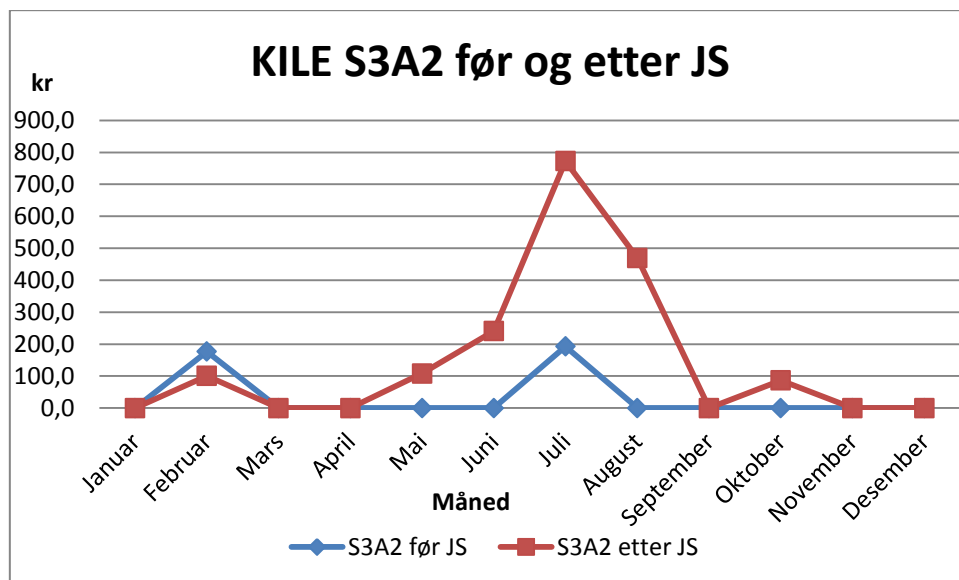
Figur 20 viser de kalkulerede KILE-kostnadene for S3A1 før og etter installasjon av JS.



Figur 20. Stasjon3 KILE S3A1 før og etter JS.

KILE-kostnadene for S3A1 faller dramatisk i juli måned med 52 634 kr per år. Årsaken til denne store reduksjonen kommer av at antallet GIK synker kraftig, sammen med den høye KILE satsen for avgangen. For Stasjon3 sett under ett er det S3A1 som utgjør den største årlige kostnaden før JS ble installert.

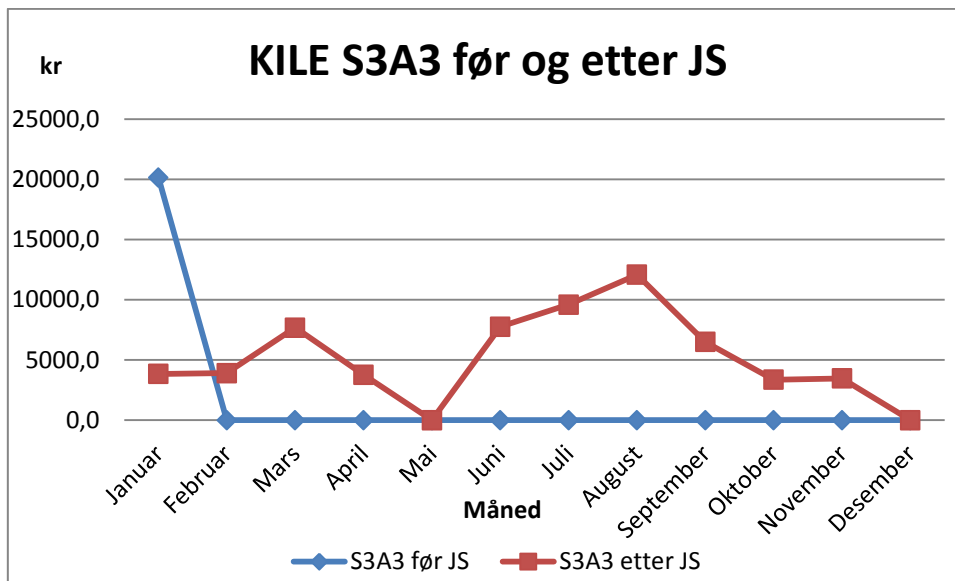
Figur 21 viser de årlige kalkulerede KILE-kostnadene for S3A2 før og etter installasjon av JS.



Figur 21. Stasjon3 KILE S3A2 før og etter JS.

S3A2 hadde en dramatisk økning av GIK i tiden etter at JS ble installert, noe som var utslagsgivende for at gjennomsnittlig GIK for stasjonen sett under ett gikk opp. Dette har igjen ført til at KILE-kostnaden har økt tilsvarende. Men den lave KILE satsen for S3A2 på kun 856 kr fører dette til en samlet økning på 1409 kr per år i økte KILE-kostnader, et beløp så lite at det kan neglisjeres sammenlignet med endringen av KILE-kostnaden for S3A1.

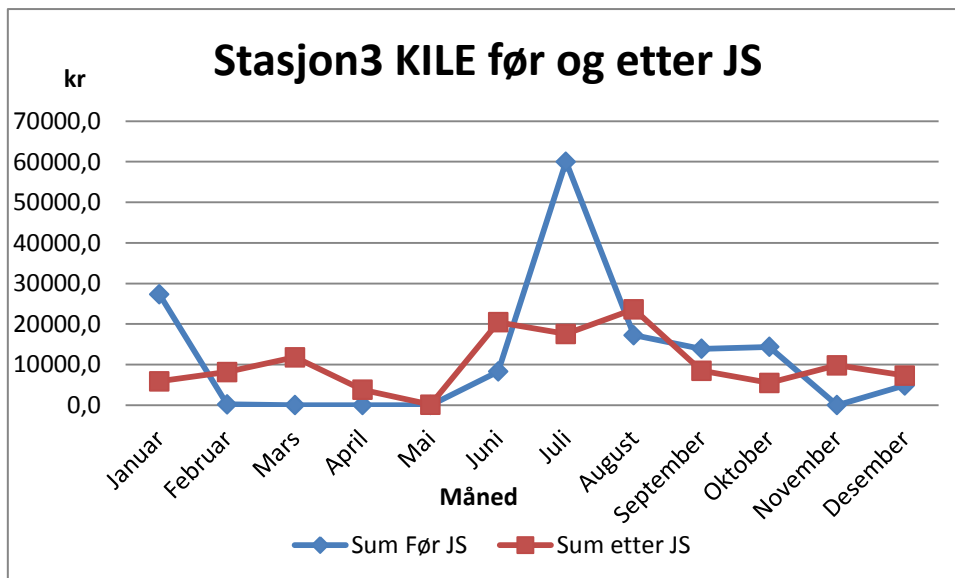
Figur 22 viser de årlige kalkulerede KILE-kostnadene for S3A3 før og etter installasjon av JS.



Figur 22. Stasjon3 KILE-kostnadene for S3A3 før og etter JS.

På lik linje med S3A2 øker også det gjennomsnittlige antallet GIK for S3A3 i perioden etter at JS ble installert. KILE satsen for S3A3 er beregnet til 33065 Kr, hvilket er nesten dobbelt av KILE satsen for S3A1. Dersom økningen av GIK hadde vært større enn hva som er tilfellet, ville S3A3 spilt en større betydning for de totale KILE-kostnadene for Stasjon3.

Figur 23 viser de totale årlige KILE-kostnadene for de undersøkte avgangene på Stasjon3 før og etter installasjon av JS.



Figur 23. Stasjon3 totale KILE-kostnader før og etter JS.

Stasjon3 sett under ett opplever reduserte KILE-kostnader i perioden etter at JS ble installert. Dette skyldes utelukkende forholdet mellom KILE-satsene og endringen av GIK for de tre avgangene, da det totale antallet GIK øker med 81,2 %.

Reduksjonen av de totale KILE-kostnadene skyldes kombinasjonen av at S3A1 får en sterk reduksjon, mens økningen i KILE-kostnadene til S3A2 og S3A3 ikke er nok til å motvirke at den totale endringen er negativ.

Stasjon3 viser at den beregnede nytteverdien man oppnår ved bruk av JS er svært avhengig av KILE satsen på enkelte avganger. Hvis KILE-satsene på Stasjon3 hadde vært annerledes distribuert enn det som er tilfellet, hadde det vært nok med en liten endring i GIK før lønnsomheten ville blitt negativ.

Et problem som kan være svært relevant for Stasjon3 er hvilke endringer som er gjort med avgangene i løpet av analyseperioden. For eksempel er det svært mistenkelig at det for S3A3 kun er rapportert inn GIK i én måned i løpet av de totalt 42 månedene før JS ble installert. Dette kan igjen skyldes lite datagrunnlag, men muligheten for at det er foretatt omkoblinger i nettet anses også som betydelig.

Tabell 6 viser de årlige KILE-kostnadene før og etter JS. Tabell 24 i Vedlegg C: Stasjon3 viser KILE-kostnader før og etter JS for hver av avgangene.

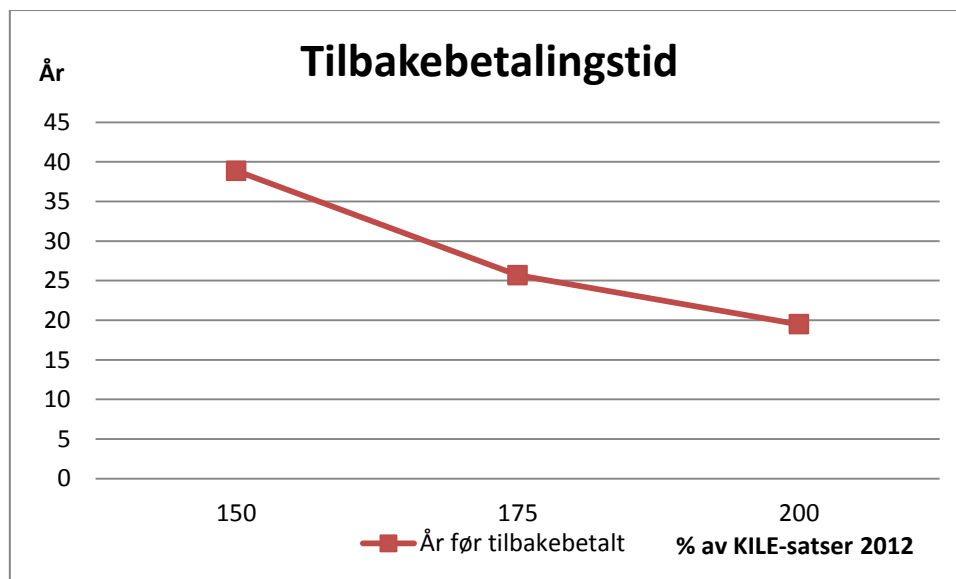
Tabell 6. Stasjon3 KILE sum alle avganger før og etter JS.

	Sum Før JS [kr]	Sum etter JS [kr]
Januar	27315,31	5886,47
Februar	176,72	8170,42
Mars	0,00	11772,95
April	0,00	3771,87
Mai	0,00	108,16
Juni	8293,84	20438,64
Juli	60004,52	17539,41
August	17225,68	23625,74
September	13876,24	8471,21
Oktober	14354,73	5493,91
November	0,00	9825,30
Desember	4864,66	7296,99
Total	146111,70	122401,06
Differanse		23710,63

3.3.4 Økonomisk analyse

Ved å redusere de årlige KILE-kostnadene med 23 711 kr vil investeringen aldri bli tilbakebetalt da de den årlige investeringskostnaden og driftskostnadene er større enn reduksjonen i KILE-kostnadene.

Figur 24 viser hvor lang tid det tar å tilbakebetale investeringen av JS når vedlikeholdskostnader og kalkulasjonsrente er medberegnet.



Figur 24. Stasjon3 år før JS er tilbakebetalt.

For at JS skal bli lønnsom er man avhengig av en betydelig økning i KILE-satsene. Med en økning av satsene på 50 % fra 2012-nivå vil spolen akkurat bli tilbakebetalt innenfor den forventede levetiden. En økning på 200 % fører til en mer akseptabel, men fortsatt lang tilbakebetalingsperiode på 20 år.

Den årlige netto besparelsen blir -11552 kr med KILE-satsene for 2012. Dette kan tyde på at installasjon av JS på Stasjon3 har ført til betydelige økonomiske tap. For at den årlige besparelsen skal være nøytral må KILE-satsene øke med 48,7 % fra 2012 nivå.

Sett ut ifra hvordan utviklingen av GIK har vært i årene etter at JS ble installert ser det ut til at JS har vært ulønnsom. Tatt i betraktning hvordan antallet GIK har utviklet seg i årene etter at JS ble installert, anses det som sannsynlig at det er andre faktorer enn JS som er årsaken til endringene som observeres. Der er derfor mulig at JS har hatt en betraktelig bedre effekt enn det statistikken viser.

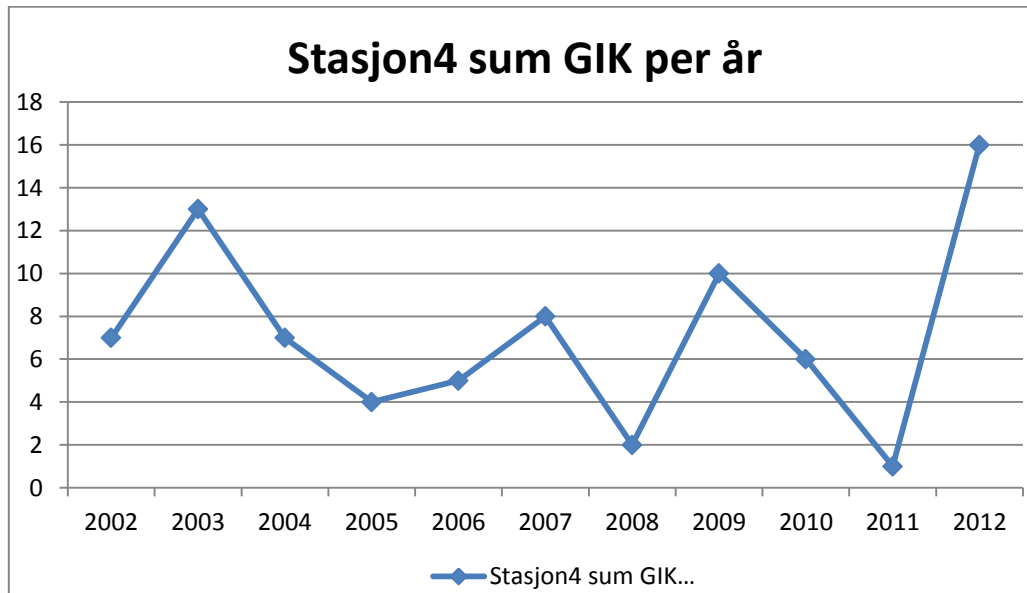
3.4 Stasjon4

Stasjon4 er en transformatorstasjon som ligger i Oslo. Stasjon4 består i dag av fire avganger. Spolen ble installert i januar 2005. Fra FASIT rapportene er det knyttet usikkerhet til når avgangen S4A4 ble tilknyttet spolen og i hvilke tidsrom spolen har ligget inne. S4A4 vil derfor ikke bli tatt med i de videre beregningene. De tre avgangene som vil bli undersøkt er S4A1, S4A2 og S4A3. For S4A1 og S4A3 finnes det GIK data fra 2003, mens S4A2 har GIK data fra 2004. Alle de aktuelle avgangene er rapportert som spolejordede fra januar 2005. August 2009 var S4A1 ikke tilknyttet spolen og august 2012 var hverken S4A1 eller S4A2 tilknyttet spolen. Utenom disse to periodene ser det til at spolen har ligget inne.

3.4.1 GIK før og etter JS

I perioden før JS ble satt i drift var det et snitt på 10,8 GIK per år samlet for de undersøkte avgangene ved Stasjon4, mot 4,7 etter. Dette tilsvarer en reduksjon på 56,6 %.

Figur 25 viser summen av alle GIK per år for de undersøkte avgangene ved Stasjon4. Periodene hvor spolen har ligget ute er her tatt med.



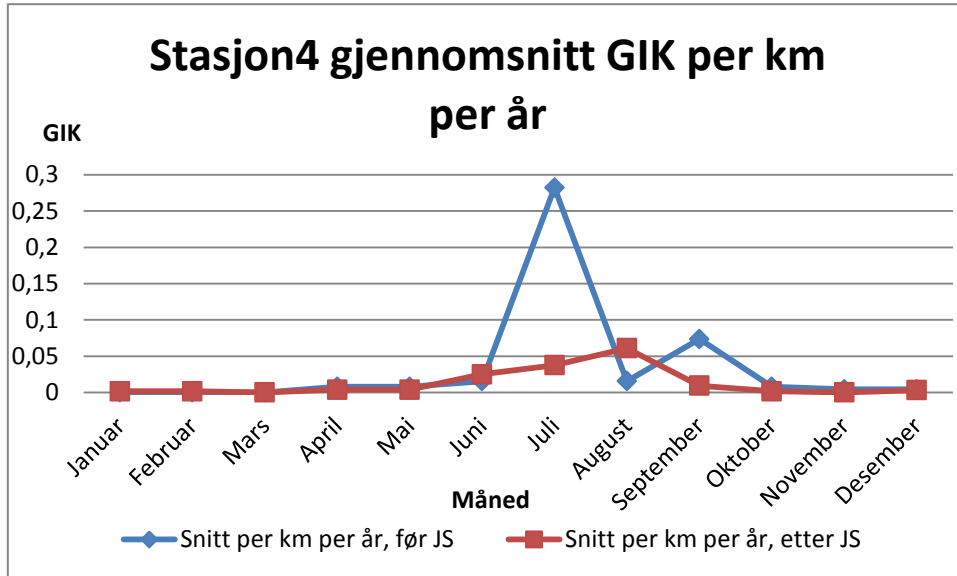
Figur 25. Stasjon4 sum GIK per år.

Som det kommer fram fra Figur 25 er det store variasjoner fra år til år hvis man kun ser på summen av GIK for de undersøkte avgangene. Variasjonen er noe mindre når man kompenserer for periodene hvor avganger ikke har vært spolejordnet.

3.4.2 GIK per kilometer

S4A1 består av 12 125 meter med kabel og 25 441 meter med linje. S4A2 består av 18 199 meter med kabel og 21 453 meter med linje. S4A3 består av 5 490 meter med kabel og 2 323 meter med linje. De undersøkte avgangene sett under ett har en kabelandel på 42,1 %, hvilket medfører de samme sammenlikningsproblemene som for Stasjon3.

Figur 26 viser gjennomsnittlig GIK per kilometer linje per år for de undersøkte avgangene.



Figur 26. Stasjon4 snitt GIK per km per år.

Et særtrekk ved de undersøkte avgangene på Stasjon4 er at det er en veldig lav GIK frekvens per kilometer når man utelukker sommermånedene. Det kommer her også fram at GIK frekvensen i periodene med og uten spolejording følger hverandre svært godt i 9 av 12 måneder. Juli skiller seg derimot ut ved at GIK frekvensen nesten er 0,3 per kilometer per år, som er det høyeste tallet for alle de analyserte stasjonene. Ved å gå inn i FASIT dataene fremkommer det at det ikke er ett enkelt år som dominerer statistikken, men at det for juli i perioden uten JS var jevnt over mange GIK hvert år på alle avgangene. August derimot, har uvanlig få GIK i forhold til juli og september. Årsaken til dette kan skyldes mangelfullt datamateriale.

Generelt kan man si at den observerte GIK distribusjonen i årene før JS bærer preg av å være veldig konsentrert, med 67,4 % av alle GIK i juli. Ved å se gjennom FASIT dataene for denne perioden er det ingen år eller avganger som skiller seg ut, men det kan ikke utelukkes at dette igjen skyldes det faktum at det er få år med tilgjengelig statistikk for årene uten JS.

Tabell 7 viser en oversikt over gjennomsnittlig GIK per avgang per km per år. Tabell 25 i Vedlegg D: Stasjon4 viser gjennomsnittlig GIK per år samlet for de tre avgangene.

Tabell 7. Stasjon4 snitt GIK per km per år før og etter JS.

	Før JS [GIK]	Etter JS [GIK]
Januar	0	0,0016
Februar	0	0,0016
Mars	0	0
April	0,0078	0,0039
Mai	0,0078	0,0039
Juni	0,0155	0,025
Juli	0,2823	0,0376
August	0,0155	0,061
September	0,0736	0,0094
Oktober	0,0078	0,0016
November	0,0044	0
Desember	0,0044	0,0033
Sum per år	0,4189	0,1489
Endring[%]	64,45	

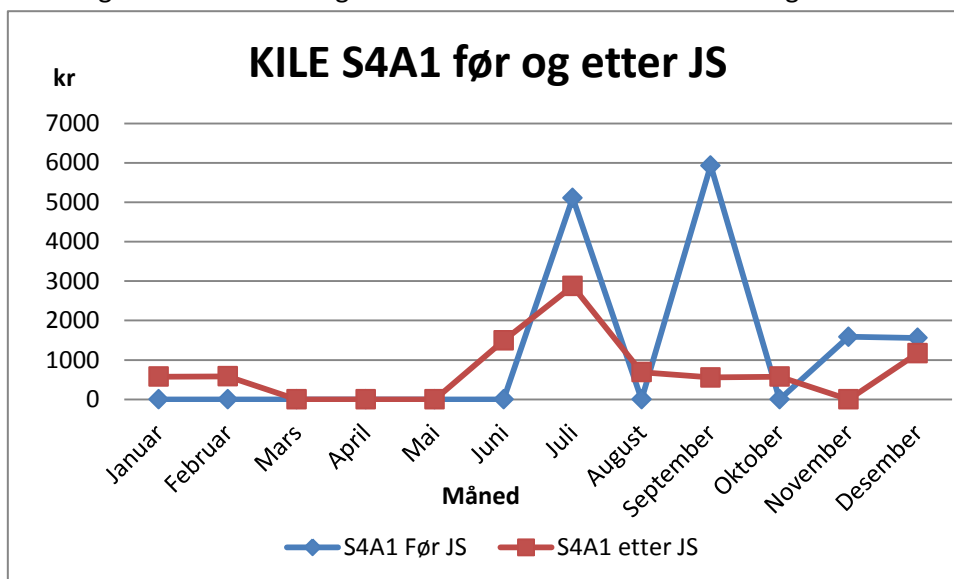
Tabell 7 viser at reduksjonen av GIK per kilometer per år går fra 0,42 til 0,15. Dette tilsvarer en reduksjon på 64,5 %, som kun er noen få prosentpoeng lavere enn snittet for alle de undersøkte stasjonene.

3.4.3 Endring av KILE

KILE-satsene er beregnet til 5 666 Kr, 51 065 kr og 13 821 kr for henholdsvis S4A1, S4A2 og S4A3. Denne fordelingen betyr at endringen av de totale KILE-kostnadene er mest sensitive til hvordan GIK frekvensen endres for S4A2.

Forholdet mellom linjeavstanden mellom avgangene og de beregnede KILE-satsene samsvarer ikke med hverandre. Forholdene mellom lengdene og KILE for S4A1/S4A2 og S4A2/S4A3 er henholdsvis 1,18/0,11 og 9,34/3,69. Dette fører til at endringen i de totale KILE-kostnadene ikke samsvarer med endringen i GIK per kilometer linje.

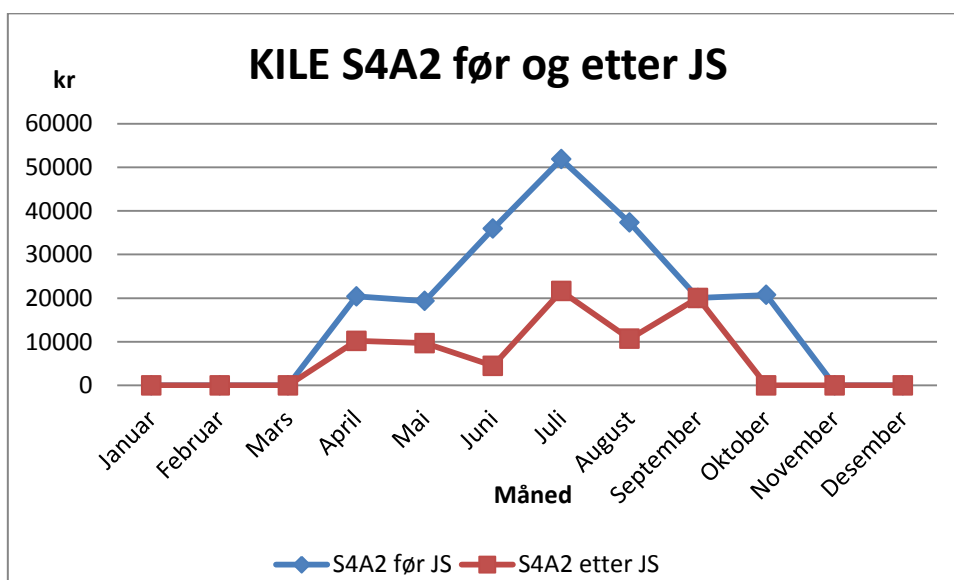
Figur 27 viser de beregnede KILE-kostnadene for S4A1 før og etter JS.



Figur 27. Stasjon4 KILE S4A1 før og etter JS.

KILE-kostnadene for S4A1 blir redusert fra 14 186 kr til 8 522 Kr, en reduksjon på 5 665 kr eller 39,9 %. Det som skiller S4A1 fra de andre avgangene er at den største reduksjonen av KILE skjer i september og ikke juli. Da det igjen kun er tre år med datamateriale for perioden uten JS, kan det diskuteres hvor troverdig denne reduksjonen er. Hvis man ser bort fra september øker de årlige KILE-kostnadene med 821 Kr. KILE-kostnadene er uansett så små at de kan neglisjeres i forhold til S4A2.

Figur 28 viser de kalkulerte KILE-kostnadene for S4A2 før og etter JS.

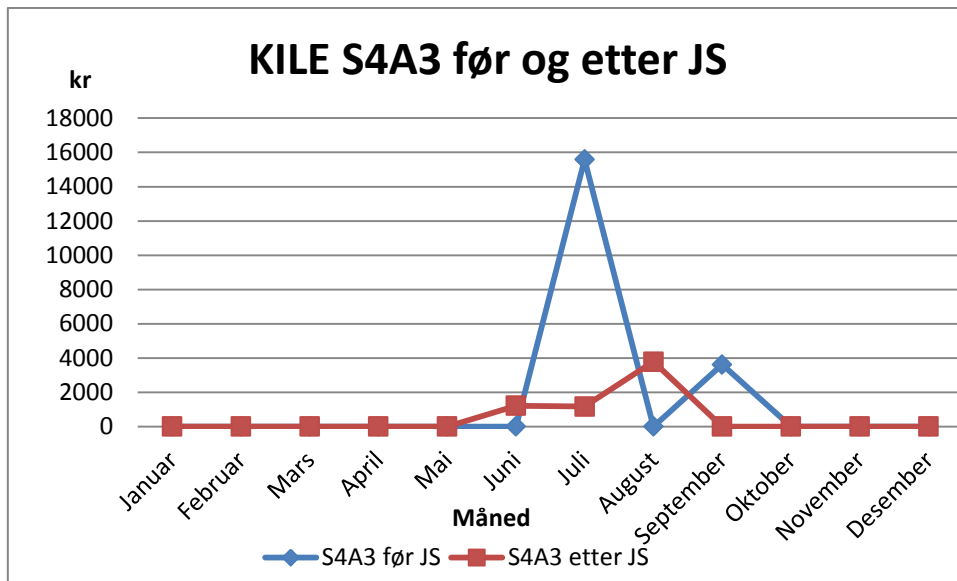


Figur 28. Stasjon4 KILE S4A2 før og etter JS.

Endringen av KILE-kostnadene for S4A2 faller fra 205 611 kr til 76 666 Kr, en reduksjon på 128 945 kr eller 62,7 %. Fordelingen av GIK over året for S4A2 har den karakteristikken at GIK fordeler seg over flere måneder enn mange av de andre undersøkte avgangene. Årsaken til dette er uvisst.

Reduksjonen av KILE-kostnadene er forholdsvis jevn over perioden, med en litt høyere reduksjon i månedene KILE-kostnadene er høyest.

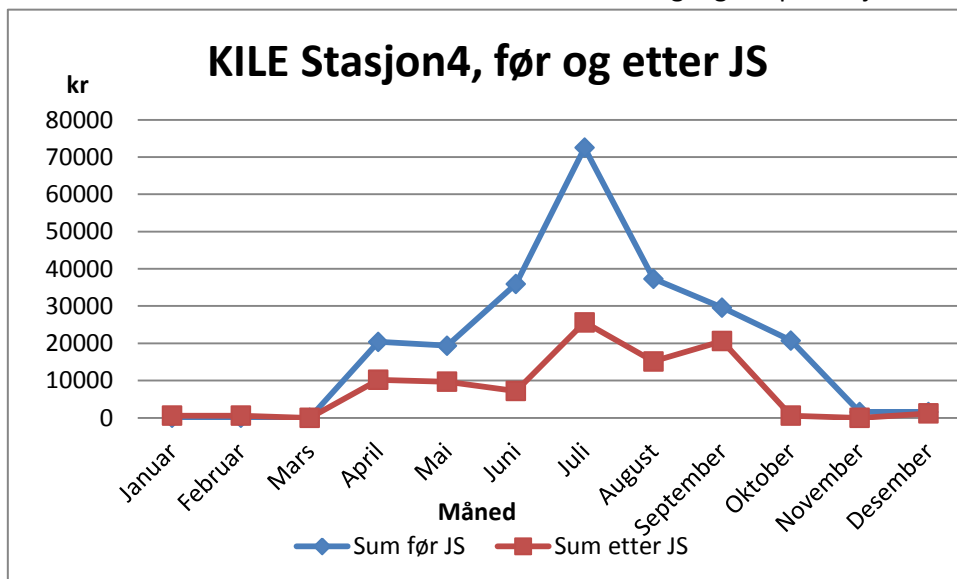
Figur 29 viser de kalkulererte KILE-kostnadene for S4A3 før og etter JS.



Figur 29. Stasjon4 KILE S4A3 før og etter JS.

Endringen av KILE-kostnadene for S4A3 minner mye om endringene ved S3A1 på Stasjon3, da nesten alle GIK i perioden før JS oppstod i juli. Dette har ført til at KILE-kostnadene faller fra 19 205 kr til 6 173 kr etter at JS ble installert, hvilket tilsvarer en reduksjon på 13 032 kr eller 67,9 %. Ved å gå inn i FASIT rapportene ser man at det er registret totalt seks GIK i perioden før JS hvorav fem inntraff i juli 2002. Man kan derfor stille spørsmål med hvor reelt det kalkulererte gjennomsnittet er med tanke på distribusjon over året, tatt i betraktning distribusjonen til S4A2.

Figur 30 viser de kalkulererte KILE-kostnadene for de undersøkte avgangene på Stasjon4 før og etter JS



Figur 30. Stasjon4 KILE før og etter JS.

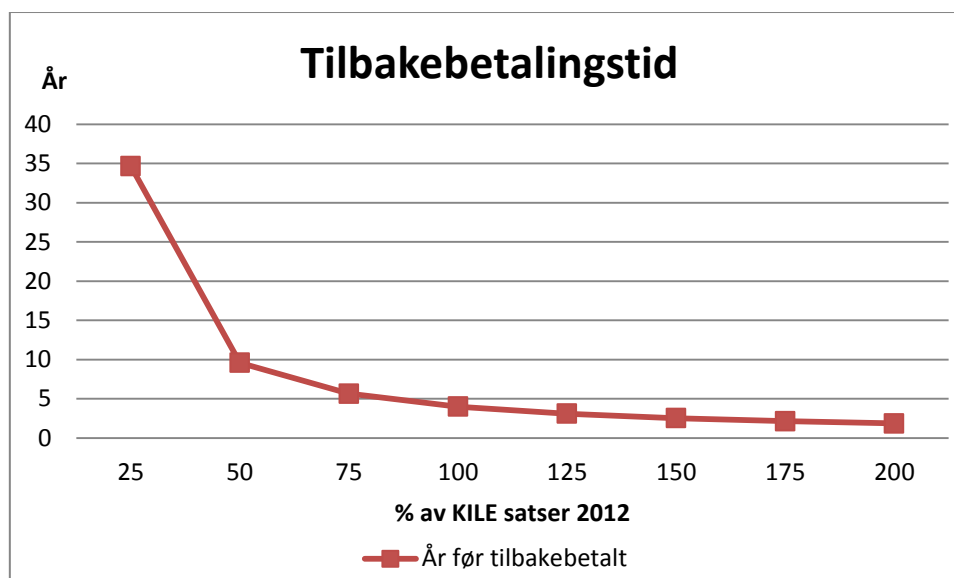
De totale KILE-kostnadene for de undersøkte avgangene på Stasjon4 faller fra 239 002 kr til 91 360 Kr, en reduksjon på 147 642 kr per år eller 61,8 %. Endringen av de totale KILE-kostnadene er i hovedsak påvirket av endringen på S4A2 som vises i Figur 28. Oppsummeringen av KILE-kostnadene for Stasjon4 framkommer i Tabell 8. For mer detaljert oversikt over endringene for hver av avgangene refereres det til Tabell 26 i Vedlegg D: Stasjon4.

Tabell 8. Stasjon4 sum KILE-kostnader før og etter JS.

	Sum før JS [kr]	Sum etter JS [kr]
Januar	0,00	575,14
Februar	0,00	584,72
Mars	0,00	0,00
April	20388,28	10194,14
Mai	19351,59	9675,79
Juni	35938,66	7203,56
Juli	72535,01	25642,54
August	37320,92	15141,19
September	29589,44	20598,68
Oktober	20733,84	575,14
November	1584,82	0,00
Desember	1559,26	1169,44
Sum per år	239001,80	91360,32
Differanse		147641,48

3.4.4 Økonomisk analyse

Med en reduksjon i KILE-kostnadene på 147 641 kr vil det ta 4 år før summen av de reduserte KILE-kostnader er lik investeringen tatt i betraktning de årlige vedlikeholdskostnadene og kalkulasjonsrenten. Oversikten over hvor mange år det tar før JS er tilbakebetalt avhenger av endringer i KILE-satsene, dette vises i Figur 31.



Figur 31. Stasjon4 år før JS er tilbakebetalt.

En reduksjon av KILE-satsene til 50 % av 2012 nivå fører til at investeringen være tilbakebetalt innen 10 år.

Den årlige lønnsomheten blir beregnet til 112 379 Kr. For at investeringen ikke lenger skal være lønnsom må KILE-satsene reduseres til 23,9 % av 2012 nivå.

Med forbehold om at den virkelige reduksjonen av GIK og KILE er lik det som her er presentert, ser det ut til at installasjon av JS på Stasjon4 har vært en svært god avgjørelse.

3.5 NTE1 – NTE2

I 1990 startet et samarbeidsprosjekt mellom SINTEF og NTE hvor det ble kartlagt hvordan innføringen av JS påvirket leveringskvaliteten ved to stasjoner i Nord-Trøndelag. Dette var to stasjoner som var plaget av svært høy frekvens av GIK. Installasjon av JS førte umiddelbart til en kraftig reduksjon av antall GIK.

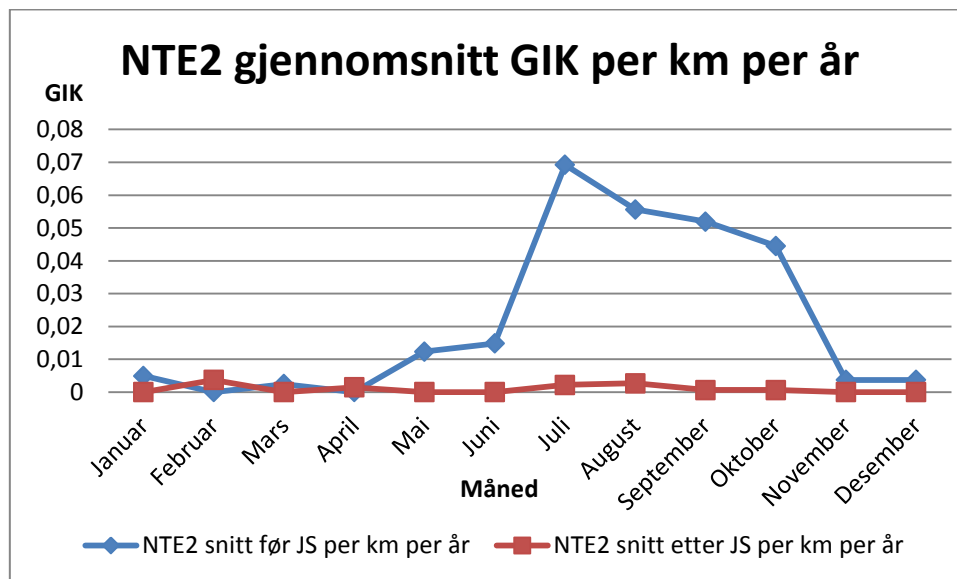
Dette er den eneste kjente norske studien [14] der man har loggført et konkret nett i flere år både før og etter at spole har blitt installert.

Da dataene kun fokuserer på stasjonene og ikke avgangene vil det ikke være mulig å si noe om endring av KILE på samme måte som ved de andre undersøkte stasjonene.

3.5.1 NTE2

NTE2 var den første av de to stasjonene som fikk installert jordslutningsspole. Spolen ble satt i drift i midten av august 1992. Før spolen ble installert slet NTE2 med store mengder GIK, med toppår i 1990

med totalt 40 GIK. Den gjennomsnittlige linjelengden i løpet av perioden var 134,8 km. Etter at spolen ble installert ble antall GIK redusert momentant slik det vises i Figur 34. Endringen av GIK er vist i Tabell 27 i Vedlegg E: NTE2-NTE1. Figur 32 viser endringen i antall GIK per kilometer per år for NTE2.



Figur 32. NTE2 GIK per km per år før og etter JS.

Da målingene startet kun to år før spolen ble installert, fører dette til usikkerhet i forhold til om dette var år med historisk høy forekomst av GIK, eller om det målte antallet kan betraktes som normalt.

Før det ble installert jordslutningsspole på NTE2 oppstod hovedkonsentrasjonen av GIK fra juli til oktober, hvilket er det samme som for NTE1. Etter at JS ble installert forsvant de store mengdene med GIK i denne perioden.

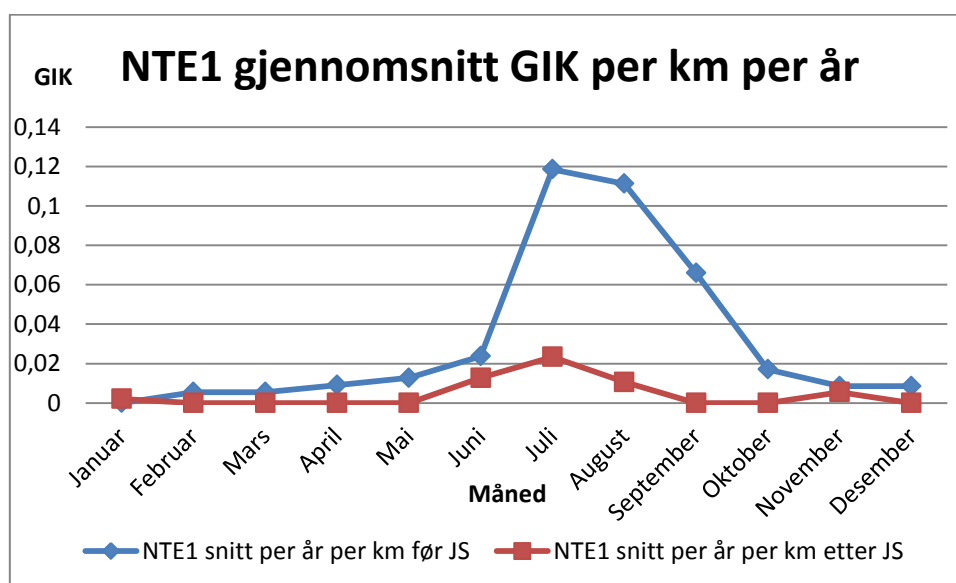
Totalt hadde NTE2 et snitt på 35,5 GIK per år uten jordslutningsspole mot 1,5 GIK i perioden med JS dette er vist i Tabell 9. Dette tilsvarer en reduksjon på 95,7 %. Tabell 9 viser endringen av GIK per kilometer linje per år, som har den samme endringen som total antall GIK, da man ikke skiller mellom avganger.

Tabell 9. NTE2 snitt GIK per km per år før og etter JS

	Før JS [GIK]	Etter JS [GIK]
Januar	0,0049	0
Februar	0,0000	0,003709
Mars	0,0025	0
April	0,0000	0,001484
Mai	0,0124	0
Juni	0,0148	0
Juli	0,0692	0,002226
August	0,0556	0,002698
September	0,0519	0,000674
Oktober	0,0445	0,000674
November	0,0037	0
Desember	0,0037	0
Sum per år	0,2634	0,011465
Endring [%]	95,65	

3.5.2 NTE1

NTE1 fikk installert JS 21. august 1996. På lik linje med NTE2 ble antall GIK redusert kraftig de påfølgende årene. Det som skiller NTE1 fra NTE2 er at hvor antall GIK ble redusert til tilnærmet null ved NTE2, opplever NTE1 flere år med relativt høy forekomst av GIK. Fra de opprinnelige dataene står det at en mobiltransformator var tilkoblet fra juni til desember 2001, følgelig lå stasjonen uten JS i dette tidsrommet. Dette er det tatt høyde for i grafene som presenteres. Det er også beskrevet at i årene 2000 til 2002 fikk vernet inn signaler om både overstrøm og jordfeil samtidig. Hva årsaken til dette er, vites ikke og det er ikke mulig å si i hvilken grad dette påvirker resultatet. Gjennomsnittslengden på linje som vil bli benyttet er 78,4 km. Figur 33 viser gjennomsnittlig GIK per kilometer linje per år før og etter JS.



Figur 33. NTE1 snitt GIK per km år før og etter JS.

Reduksjonen i antall GIK per kilometer line er 85,9 %. Den største reduksjonen inntreffer i månedene juli til september. NTE1 skiller seg dermed fra NTE2 ved at antallet GIK i oktober var lite i tiden før JS ble installert.

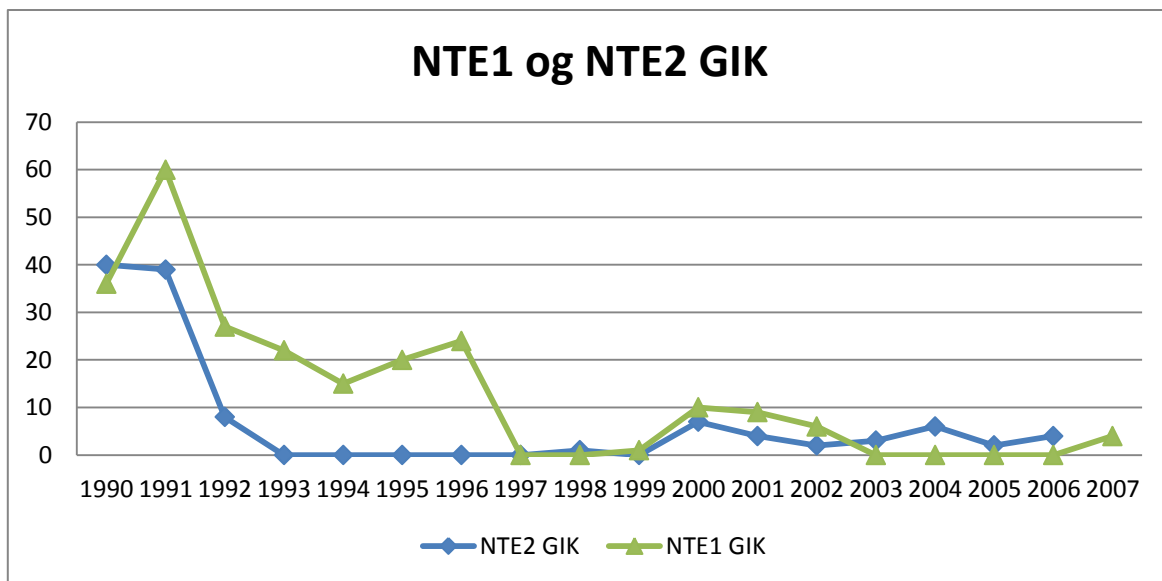
Tabell 10. NTE1 snitt GIK per km per år før og etter JS.

	Før JS [GIK]	Etter JS [GIK]
Januar	0,0000	0,002127
Februar	0,0055	0
Mars	0,0055	0
April	0,0091	0
Mai	0,0128	0
Juni	0,0237	0,012763
Juli	0,1185	0,023399
August	0,1112	0,010636
September	0,0659	0
Oktober	0,0170	0
November	0,0085	0,00547
Desember	0,0085	0
Sum per år	0,3862	0,054396
Endring	85,92	

Tabell 28 i Vedlegg E: NTE2-NTE1 viser den endringen av antall GIK før og etter JS. I perioden fra 1990 til juli 1996 hadde NTE1 et snitt på 30,3 GIK per år, mot 4,3 i perioden etter. Dette tilsvarer en reduksjon på 85,9 %.

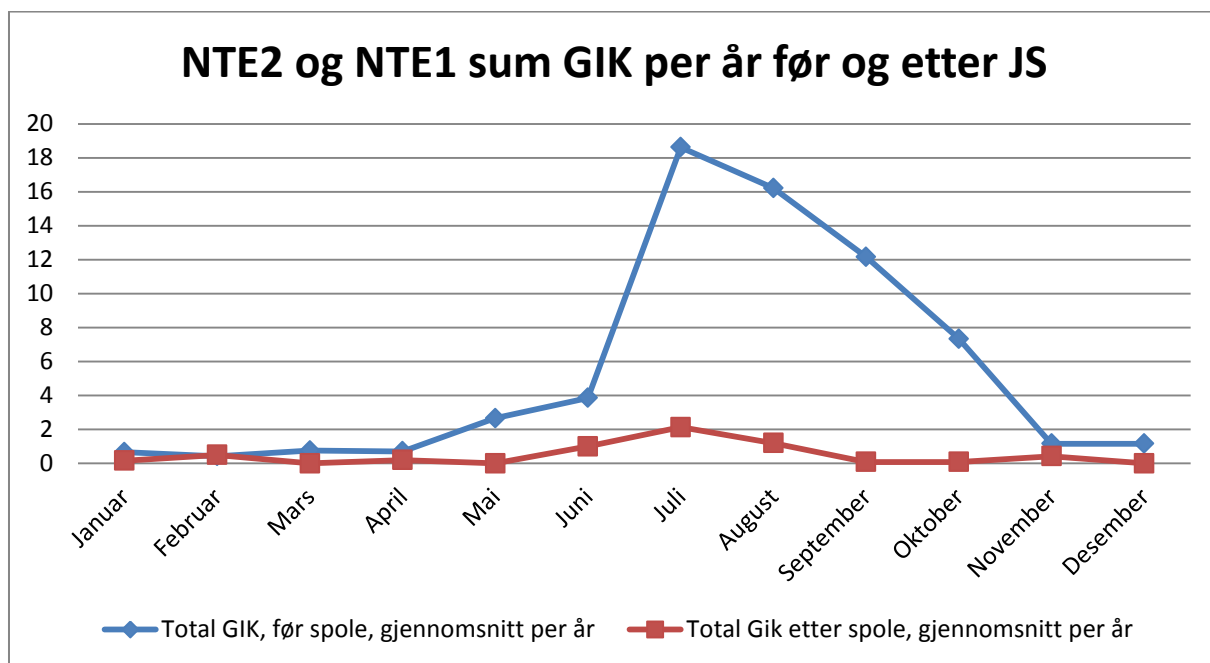
3.5.3 Endring av GIK for begge stasjonene

Hovedårsaken til at NTE ønsket å installere jordslutningsspole ved NTE1 og NTE2 var mengden GIK som oppstod ved stasjonene. I august 1992 ble det installert spolejording på NTE2 og i 1996 for NTE1. Som man kan se av Figur 34 førte dette til en dramatisk reduksjon i antall GIK over året.



Figur 34. NTE2 og NTE1 GIK alle år.

Gjennomsnittlig GIK ble redusert kraftig da spolen ble introdusert, dette vises i Figur 35.



Figur 35. NTE1 og NTE2 GIK før og etter JS.

Den største reduksjonen kan sees i månedene juni til oktober da GIK frekvensen på det isolerte systemet var størst, mens GIK over året er gjennomgående lav etter at spolejording hadde blitt installert.

Totalt var det 65,7 GIK per år før JS ble installert mot 5,8 etter. Dette tilsvarer en reduksjon på 91,2 %. Dette vises i Tabell 11.

Tabell 11. NTE2 og NTE1 sum GIK per år før og etter JS.

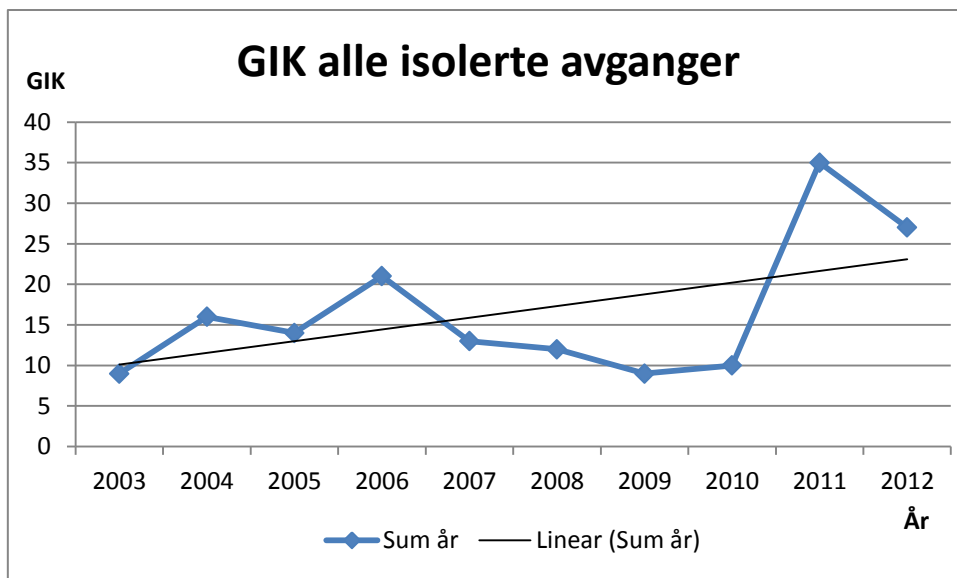
	Før JS [GIK]	Etter JS [GIK]
Januar	0,6667	0,1667
Februar	0,4286	0,5000
Mars	0,7619	0,0000
April	0,7143	0,2000
Mai	2,6667	0,0000
Juni	3,8571	1,0000
Juli	18,6190	2,1333
August	16,2143	1,1970
September	12,1667	0,0909
Oktober	7,3333	0,0909
November	1,1667	0,4286
Desember	1,1667	0,0000
Sum per år	65,7619	5,8074
Endring	91,17	

3.6 Referansenett

For å kunne skape et mer korrekt bilde av endringen i feilfrekvensen for GIK, er det ønskelig å ha et referansenett for å kunne sammenligne utviklingen over årene. Dette er ønskelig for å undersøke om det kan være andre faktorer enn spolejording som har påvirket GIK frekvensen enn hva som hittil har vært studert. Eksempler på dette kan være:

- Rapporteringen av GIK har blitt bedre eller dårligere, noe som vil medføre at antallet GIK registrert naturlig vil øke eller synke
- Hafslund kan ha blitt flinkere til linjerydding

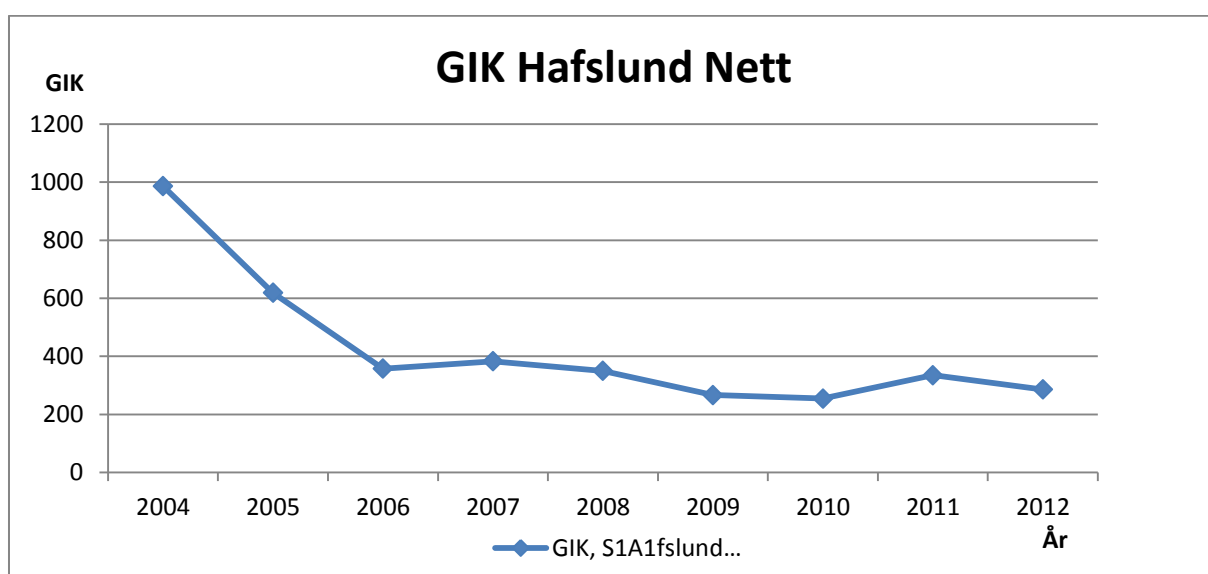
Hos Hafslund er det i dag kun noen få gjenværende stasjoner med isolerte linjeavganger. Det har underveis dukket opp flere problemer med disse avgangene. Det viser seg at det er store problemer med å hente ut lengder på nettene fra Hafslunds systemer. Et annet problem er at selv om det hadde vært mulig å hente ut lengdene, ville det vært problemer med å fastslå noen generell trend for antall GIK per kilometer. Dette skyldes at antallet GIK per år er meget varierende. Av Figur 36 kan man se en lineær trend som er økende, men hvor fire av de siste seks årene har hatt et lavere antall GIK enn det totale gjennomsnittet.



Figur 36. GIK isolerte referansenett.

Da det er vanskelig å fastslå noen trend ut ifra disse avgangene velges det derfor å benytte årsstatistikken for GIK i alle Hafslund sine nett. Dette innebærer at det ikke skilles mellom isolerte eller jordede linjer, samt at både kabel- og luftnett er tatt med. Dette gjør at sammenlikningsgrunnlaget på ingen måte er ideelt. Et moment er at kabler er mindre påvirket av ytre omgivelser og dermed vil ha et mer stabilt antall GIK enn linjer [7]. Det er derfor grunn til å tro at en eventuell endring i GIK frekvensen over året i større grad skyldes endringer i antallet GIK på luftlinjer.

Da det ikke finnes GIK data for alle stasjoner før 2004 er det kun laget statistikk fra perioden etter 2004, hvilket vises i Figur 37.



Figur 37. GIK i alle Hafslund sine Nett.

Med forbehold om at det kun er ett år i dataserien før Hafslund begynte å installere JS i 2005, ser det ut til at antallet GIK sank kraftig fra og med 2005. Hvis man sammenlikner fra 2004 til 2006, tiden før

det ikke fantes spoler til tiden da alle spolene var satt i drift, er det en reduksjon fra 986 GIK til 358 GIK, en reduksjon på 628 GIK eller 63,7 %.

Etter 2006 er det en svak reduksjon av GIK i årene 2009 og 2012, for så å øke igjen. Dette er indisier som taler for at den drastiske reduksjonen av GIK i all hovedsak skyldes JS og ikke andre faktorer.

3.7 Norske nettselskapers erfaring ved bruk av JS

Det er i dag utbredt blant norske nettselskaper å benytte seg av JS på isolerte luftnett. Alle nettselskaper forfatteren har vært i kontakt med har vært veldig fornøyde med JS da spesielt antallet kortvarige avbrudd har sunket. Det har derimot ikke lyktes forfatteren å finne et eneste nettselskap utenom SINTEF-NTE prosjektet som har foretatt analyser for å finne ut hva de konkret har oppnådd ved å installere JS.

Videre følger det en oppsummering av erfaringer ved bruk av JS for flere norske nettselskaper.

3.7.1 BKK

Nettselskapet BKK har tatt i bruk JS og spesialrådgiver Svein Morten Strømsnes kan melde om følgende erfaringer [16]:

- «Overgang til spolejording har resultert i at antall utfall som følge av forbigående feil har sunket betraktelig...»
- «Overgang til spolejording har medført en del vernmessige utfordringer. I den første tiden etter spolejordingen hadde vi en del tilfeller av manglende og uønsket vernfunksjon, men etter hvert har vi begynt å få bra kontroll på dette. Jordfeilretningsvern i et spolejordnet nett stiller mye strengere krav til vinkeløyaktighet i f.eks. måletransformatorer i forhold til jordfeilretningsvern i et isolert system...".

BKK har vært behjelpelige og hentet ut data fra sine systemer for transformatorstasjonen deres, her kalt BKK1. Spolen i BKK1 ble satt i drift juni 2005 og det er hentet ut data fra ett år før til ett år etter, Tabell 12 viser oversikten over dataene. Nettet tilknyttet BKK1 består av 82,5 km med linje og 76,4 km med kabel.

Tabell 12. BKK oversikt over kortvarige og langvarige avbrudd.

Periode	Antall bryterfall		
	Bkk1	kortvarig	langvarig
før(01.01.2004 - 01.07.2005)	71	54	17
etter(01.01.2006 - 01.07.2007)	38	13	25

Det tas her forbehold om et svært begrenset datagrunnlag. Dataene viser en reduksjon i antall kortvarige avbrudd på 75 %. Dataene viser også en økning i antall langvarige avbrudd på 47,1 %. Det er ikke trolig at installasjon av JS har noen effekt på langvarige avbrudd og denne økningen må derfor

betraktes som et resultat av en begrenset dataserie. Virkningen av varige feil blir diskutert i Kapittel 5.2.2.

BKK1 transformatorstasjon går fra å ha 0,63 kortvarige avbrudd per kilometer per år til 0,15. Da antall kortvarige avbrudd ikke nødvendigvis er det samme som GIK, er dette ikke et helt riktig sammenlikningsgrunnlag i forhold til endringene som ble observert i Hafslund sine nett. De gjennomsnittlige verdiene for BKK1 er verdier som ligger i det samme område som for de andre undersøkte stasjonene, dog noe høyere. Men tatt i betraktning innkjøringsproblemer som oppstod med vernene, er dette verdier som samsvarer med hva som ble funnet hos Hafslund.

3.7.2 Nordlandsnett

Nordlandsnett installerte sin første spole i 2003 og ingeniør Wanja Wilhelmsen kan melde blant annet om følgende erfaring [17]:

- «Vi var tidligere mye plaget med utfall for korte (≤ 3 min) forbigående avbrudd, hvor vi må anta at det er fugl som var årsak. Da den første spolen ble montert, merket vi spesielt at disse avbruddene ble borte».

Nordlandsnett har dessverre ikke data på kortvarige avbrudd fra tiden før spolene ble installert.

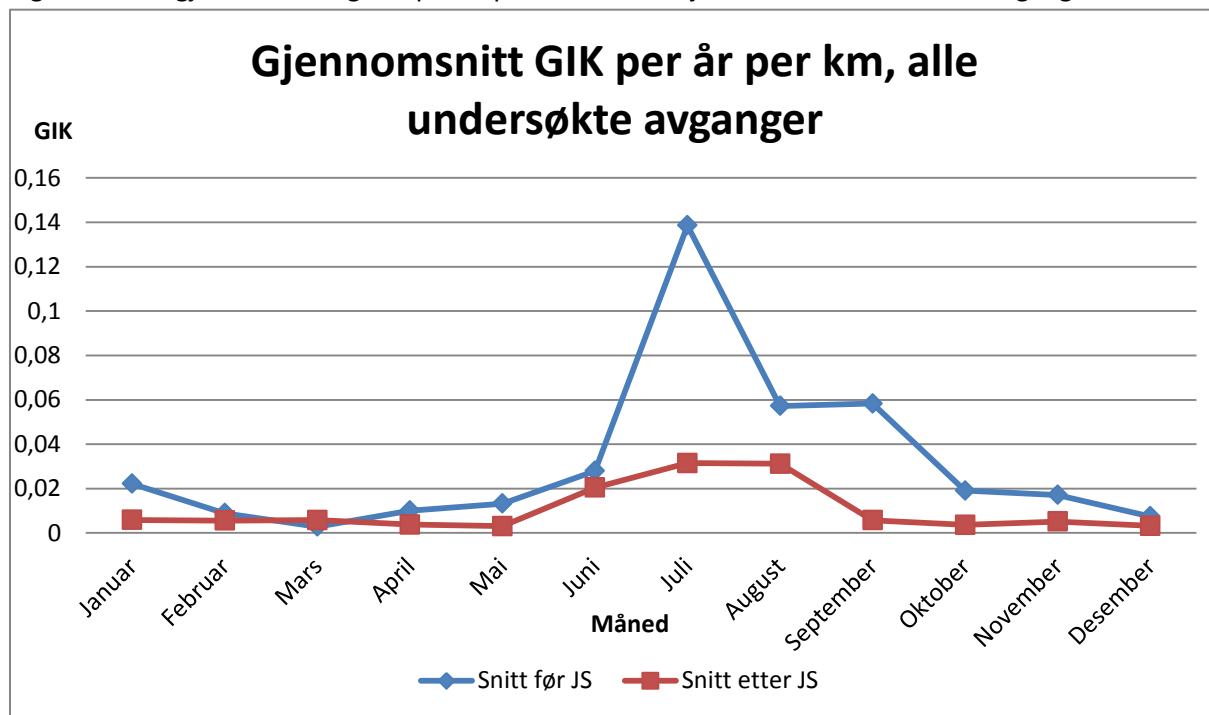
3.7.3 Fredrikstad Energi

Sjefingeniør Bjørn Birkeland i Fredrikstad Energi forteller at JS har hatt en god effekt på kortvarige avbrudd, spesielt på luftnett som var plaget av mye GIK [18].

4 Oppsummering av alle de undersøkte avgangene

For å kunne gi et helhetlig inntrykk av effekten av JS er det beregnet et gjennomsnitt av alle stasjonsgjennomsnittene. Dette er statistikk som til sammen er basert på totalt 420,2 km med linje over ca. 40 år med isolert drift og 85 år med spolejordet drift.

Figur 38 viser gjennomsnittlig GIK per år per kilometer linje for alle de undersøkte avgangene.



Figur 38. Snitt GIK for alle undersøkte avganger før og etter JS.

Da tallene er basert på alle de undersøkte avgangene og stasjonene er det ingen stor overraskelse at det er betydelig flere GIK i juli enn for de andre månedene. Det som derimot er overraskende er at det statistisk sett er omkring lik GIK frekvens i både august og september for isolerte nett.

Tabell 13 viser gjennomsnittlig GIK per km linje per år for alle de undersøkte avgangene.

Tabell 13. Snitt GIK per km linje per år for alle avganger før og etter JS.

	Før JS [GIK]	Etter JS [GIK]
Januar	0,0222	0,0059
Februar	0,0089	0,0056
Mars	0,0028	0,0058
April	0,0101	0,0038
Mai	0,0132	0,0031
Juni	0,0279	0,0204
Juli	0,1386	0,0315
August	0,0572	0,0312
September	0,0583	0,0057
Oktober	0,0191	0,0036
November	0,0171	0,0052
Desember	0,0074	0,0032
Sum per år	0,3828	0,1249
Endring[%]	67,37	

Sett under ett viser dataene at å installere JS fører til en reduksjon på 67,4 % i antall GIK per kilometer linje per år. Virkningen av JS varierer stort der den største reduksjonen ble funnet på NTE2 og var på 95,8 %. Den laveste reduksjonen ble funnet på Stasjon3 og var på -81,2 %, men det er stor usikkerhet knyttet rundt dette tallet.

Ser man kun på endring i det totale antallet GIK på en stasjon, viser samtlige av stasjonene en reduksjon. Normalen ligger på 67,2 %, med et spenn fra 95,6 % til 12,4 %.

Oversikt over prosentvis endring av GIK og KILE vises i Tabell 14.

Tabell 14. Oversikt over endringer ved alle stasjoner.

	Endring GIK [%]	Endring GIK per km per år [%]	Endring KILE [%]
Stasjon1	88,02	88,66	84,64
Stasjon2	64,45	82,40	34,98
Stasjon3	12,42	-81,21	16,23
Stasjon4	56,59	64,44	61,77
NTE1	85,92	85,92	N/A
NTE2	95,65	95,65	N/A
Snitt endring [%]	67,17	55,98	49,41

Forskjellen mellom redusert antall GIK per kilometer linje per år og de tilsvarende reduserte KILE-kostnadene varierer stort. De mest sammenfallende reduksjonene finner man ved Stasjon1 og Stasjon4, der den prosentvise endringen i KILE kun er få prosentpoeng lavere enn den prosentvise endringen av GIK. For Stasjon2 og Stasjon3 er det ingen sammenheng mellom endringen av gjennomsnittlig GIK og endringen av KILE. For Stasjon1 er den prosentvise endringen av KILE under halvparten av endringen i gjennomsnittlig GIK. For Stasjon3 er endringen i KILE 97,4 prosentpoeng

forskjellig fra endringen i gjennomsnittlig GIK. Årsaken til de store forskjellene er at det ikke er noen sammenheng mellom KILE-satsene og lengdene på avgangene.

Det konkluderes dermed med at det ikke er mulig å kunne si noe generelt om hvor mye KILE-kostnadene blir redusert med bakgrunn i de analyser som er gjort i denne oppgaven.

5 Nasjonale FASIT-data

I denne oppgaven har det vært brukt det landsomfattende FASIT datagrunnlaget fra årene 2008 til 2010. Dette datagrunnlaget består av totalt 33 324 innrapporterte driftsforstyrrelser i det norske distribusjonsnettet.

I landsoversikten er det 62 forskjellige parametere for hvert enkelt driftsavbrudd. I denne oppgaven er det kun fokusert på 6 av parametrene det blir selektert etter, de aktuelle feltene er:

- Nettnivå: Delt inn i totalt 6 kategorier etter type nett, fra sentralnett til lavspenningsnett. I denne oppgaven har det kun blitt sortert etter nettnivå 3, 4 og 5.- Disse representerer distribusjonsnettet for henholdsvis luft-, blandet- og kabelnett.
- Systemjording: Består i hovedsak kun av tre kategorier, direkte, spole og isolert. I denne oppgaven er det fokusert på isolert og spole.
- Feilkarakter: Delt inn i 4 kategorier, varig, varig gjentakende, forbigående og forbigående gjentakende. Det er sortert etter alle kategorier, men de to kategoriene som omhandler gjentakende avbrudd utgjør kun omkring 2 % av det totale antallet aktuelle avbrudd. Videre vil de gjentakende og single feilene bli omtalt sammen som henholdsvis varige og forbigående feil.
- Feilbeskrivelse detaljert: Delt inn i 25 kategorier. I denne oppgaven blir det kun fokusert på jordslutning og dobbel jordslutning. Avbrudd forårsaket av jordslutning utgjør mer enn én tredjedel av alle avbrudd.
- Årsak: Totalt 10 kategorier. Dette er den viktigste kategorien og det blir sortert etter samtlige kategorier.
- Årsak detaljert: Består av i underkant av 50 kategorier, hvorav de fleste kun står for en håndfull antall avbrudd. De viktigste kategoriene som det er fokusert på i denne oppgaven er kategorier som tilhører årsaken «omgivelser». Disse er fugl, torden, vegetasjon, vind og snø.

5.1 Erfaringer underveis og Tordenværteorien

Hensikten med FASIT dataene var at det skulle lages feilstatistikk for isolerte og jordede nett på lik linje med hva som er gjort for Hafslund sine nett. Problemet har vist seg at det ikke finnes data på lengder for de forskjellige typene distribusjonsnett. Det eneste som i dag finnes er nasjonale lengder på luft- og kabelnett [15], mens alle registrerte feil er kategorisert etter nettnivå. Dette betyr at det i utgangspunktet ikke er mulig å beregne feilfrekvens per kilometer linje for isolerte og jordede nett.

I et forsøk på å estimere hvor mye av det nasjonale luftnettet som er i de tre forskjellige nettnivåene, luft-, blandet- og kabelnett, ble det utarbeidet en teori som fra nå vil bli betegnet som «Tordenteorien».

Tordenteorien går ut på at feilfrekvensen for varige feil forårsaket av tordenvær er lik for alle linjer og for alle kabler, uavhengig av nettnivå. Da antallet varige feil forårsaket av tordenvær i de forskjellige nettnivåene er kjent, vil likningssettet med Formel 15 til Formel 26 vedlagt i Vedlegg F: Tordenteorien, være i stand til å beskrive feilfrekvensen som skyldes torden. Ved hjelp av likningene knyttes luft og kabellengdene i de tre nettnivåene sammen foruten at det blir satt grenser der luftnett ikke kan bestå av mer enn 10 % kabel og motsatt for kabelnett.

Tordenteorien baseres på funnene i Figur 42. Årsaken til at man baserer seg på tordenvær og ikke for eksempel vegetasjon, er at skader forårsaket av tordenvær er den feilårsakstypen som er minst basert på gjetting, da man i ettertid ved hjelp av meteorologiske data kan se hvor og når lyn har slått ned.

Dette betyr at hvis tordenteorien er korrekt vil man være i stand til å finne de nasjonale lengdene for de tre nettnivåene.

Ved å anta at det ikke er noen forskjell mellom isolerte og jordede nett når det kommer til sårbarhet ovenfor varige feil som er forårsaket av tordenvær, vil det ved bruk av tordenteorien være mulig å finne ut hvor mye av nettet som er isolert og hvor mye som er spolejordet i de forskjellige nettnivåene, da det er kjent hvor mange varige feil som skyldes tordenvær for isolert og jordede nett i de forskjellige nettnivåene.

Dette gjør det mulig å finne feilfrekvensene for alle typer feil i alle de tre nettnivåene for både isolerte og spolejordede nett. En feilfrekvens basert på alle nett i Norge vil gi det beste mulige grunnlaget for å kunne anslå virkningen av spolejording i Norge, utenom å gjøre individuelle analyser på samtlige avganger i Norge.

Det viser seg at med det antallet varige feil forårsaket av lyn for de tre årene med tilgjengelig data finnes det ingen løsning som oppfyller likningssettet. Gitt at Tordenteorien stemmer skyldes dette at feilfrekvensene ikke vil være helt like da antallet varige feil forårsaket av tordenvær for de tre nettnivåene vil ha naturlige avvik fra år til år.

Dette problemet kan løses ved å sette feilfrekvensene i de forskjellige nettnivåene omtrentlig lik hverandre istedenfor strengt lik.

Ved hjelp av MATLAB ble det utviklet en optimaliseringsalgoritme for å finne den løsningen med minst avvik. MATLAB koden kan sees i Vedlegg F: Tordenteorien.

Etter en rekke forsøk viser det seg derimot umulig å finne en løsning som er troverdig. Problemet er at ved å sette minste tillatte avvik for lite finnes det ingen løsninger, men når det minste tillatte avviket først blir stort nok til at det finnes løsninger, viser det seg å være svært mange ulike kombinasjoner som alle oppfyller likningssettet.

Gitt at Tordenteorien stemmer, er årsaken til at det ikke er mulig å bestemme de individuelle lengdene at mengden varige feil forårsaket av tordenvær ikke er stort nok. Ut ifra dette konkluderes det med at mengden tilgjengelig datamateriale ikke er tilstrekkelig for å kunne benytte seg av denne metoden.

Det anses derfor ikke som mulig å kunne finne linje- og kabellengdene i de forskjellige nettnivåene. Dette fører til at det igjen ikke er mulig å lage feilfrekvenser som skiller mellom isolerte og jordede nett. Videre vil det i stedet bli utført analyser på de nasjonale dataene, noe som har til hensikt å kunne fastslå generelle trender for isolerte og jordede luftnett.

5.2 FASIT luft- og kabelnett

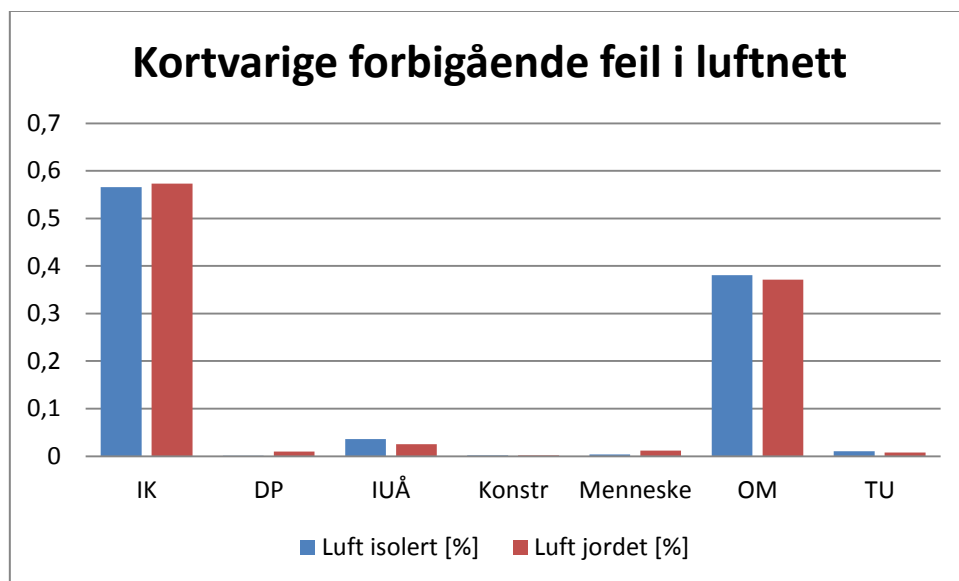
Ved å gjøre de samme sorteringene for isolert og spolejordede nett er det flere trender som vises. Dette er av interesse for å kunne si noe om generelle forskjeller mellom isolerte og jordede nett.

Forkortelser som videre vil bli brukt er:

IK	Årsak ikke klarlagt
DP	Driftspåkjenning
IUA	Ingen utløsende årsak
Konstr	Konstruksjon/montasje
Mennesker	Mennesker, andre personer/personale/innleid personale
OM	Omgivelser
TU	Teknisk utstyr
Fugl	Fugl/dyr
Veg	Vegetasjon

5.2.1 Feilårsaker – kortvarige forbigående feil

Figur 39 viser fordelingen av feilårsaker som forårsaker kortvarige forbigående feil for isolerte og jordede luftnett.



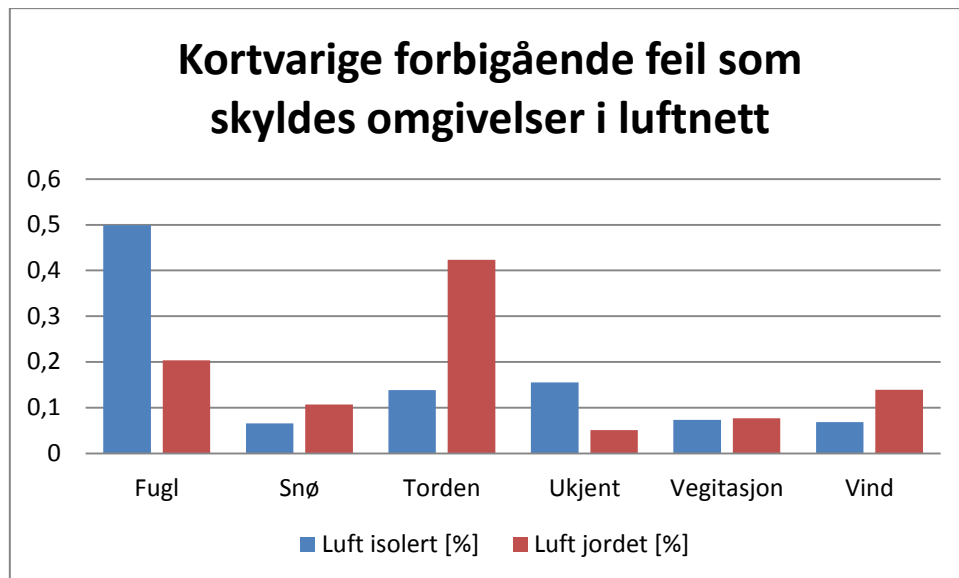
Figur 39. Fordeling av kortvarige forbigående feil i det norske distribusjonsnettet.

Det kommer her fram at nesten 40 % av alle kortvarige forbigående feil skyldes omgivelsene. I mer enn 55 % av feiltilfellene er det ikke klarlagt noen feilårsak. Til sammen faller nesten 95 % av alle de kortvarige forbigående feilene innenfor disse to kategoriene.

Forskjellen mellom de innrapporterte overordnede feilårsakene mellom isolerte og jordede nett er marginale. Problemet er den store andelen ikke klarlagte feilårsaker, da det er ikke mulig å si noe om hvilke feilårsaker denne kategorien skjuler. Det vil dog være logisk å tro at de fleste feilene innen denne kategorien tilhører omgivelser, dette fordi de andre feilkategoriene normalt vil oppdages.

Man kan på denne bakgrunn gå ut ifra at installasjon av JS ikke fører til noen betydelige endringer i hvilke overordnede årsaker som forårsaker kortvarige forbigående feil.

Figur 40 viser hvilke årsaker som forårsaker feilene innenfor kategorien omgivelser for isolerte og jordede nett.



Figur 40. Fordeling av kortvarige forbigående feil grunnet omgivelser i luftnettet.

Det kommer her fram at det innad i kategorien omgivelser er store forskjeller mellom isolerte og jordede luftnett. Hvorav fugl/dyr og tordenvær er kategoriene hvor det er størst forskjell.

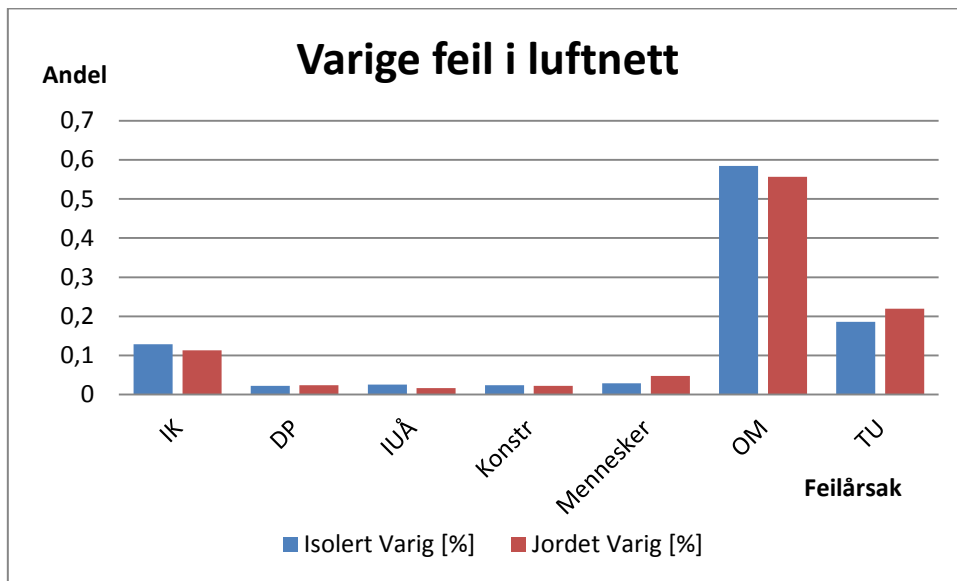
Fugl/dyr står for 50 % av de kortvarige forbigående feilene for isolerte luftnett mot 20 % for jordede luftnett. At dyr og spesielt fugler er årsaken til mange av de kortvarige forbigående feilene i det norske luftnettet er godt kjent blant nettselskapene [16][18]. Det som er oppsiktsvekkende er at fugl fortsatt ser ut til å være en betydelig feilkilde også etter at JS har blitt installert.

En mulig forklaring kan være at antallet fugl som er rapportert inn som feilårsak ikke stemmer. Årsaken til dette kan være at det er veldig sjelden døde fugler faktisk blir funnet, slik at ansatte i nettselskaper i mange tilfeller er nødt til å gjøre en form for kvalifisert gjetning som forklart i Kapittel 2.2, men at det da kanskje blir gjettet fugl i mindre grad i jordede nett enn i isolerte nett.

Den andre viktige forskjellen når det gjelder kortvarige forbigående feil mellom isolerte og jordede luftnett er andelen tordenvær. For isolerte nett står tordenvær for under 15 % av feilene mot over 40 % for jordede nett. Årsaken til at andelen tordenvær er høyere for jordede luftnett kan skyldes at da andelen feil forårsaket av fugl/dyr er lavere for jordede luftnett enn for isolerte luftnett, må andre kategorier være tilsvarende høyere. En annen mulighet er at jordede nett kan ha en dårligere isolasjonstilstand enn isolerte nett som forklart i Kapittel 2.1.1.

5.2.2 Feilårsaker – varige

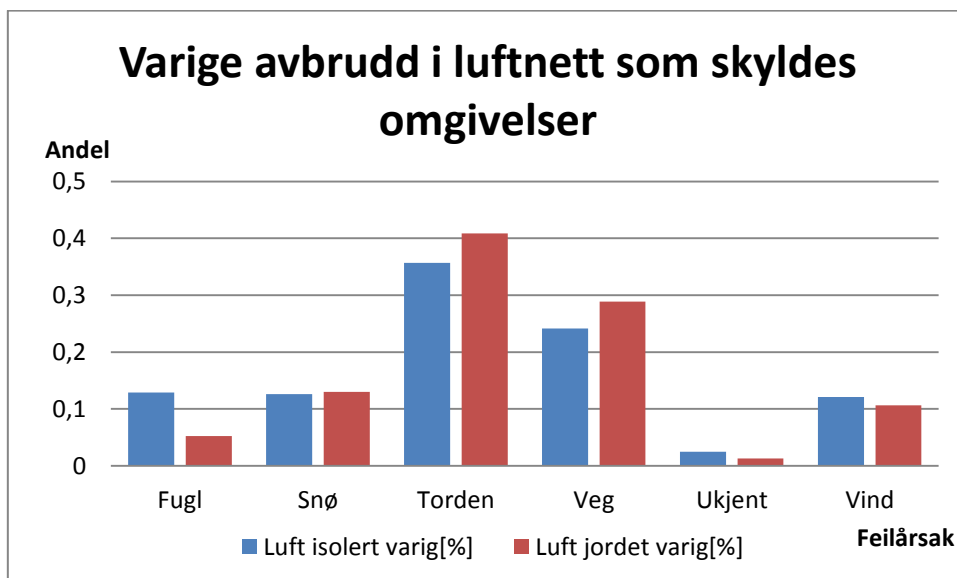
Figur 41 viser fordelingen av feilårsaker som forårsaker varige feil for isolerte og jordede luftnett.



Figur 41. Fordeling av varige feil i luftnett.

Det kommer her fram at det er liten forskjell mellom hvilke overordnede feilårsaker som forårsaker varige feil. Den eneste forskjellen som er verd å nevne er at teknisk utstyr står for en litt høyere andel varige feil i jordede nett enn for isolerte. Dette er en naturlig følge av at det er mer teknisk utstyr i form av en JS i jordede nett.

Figur 42 viser hvilke årsaker som forårsaker feilene innenfor kategorien omgivelser for isolerte og jordede luftnett.



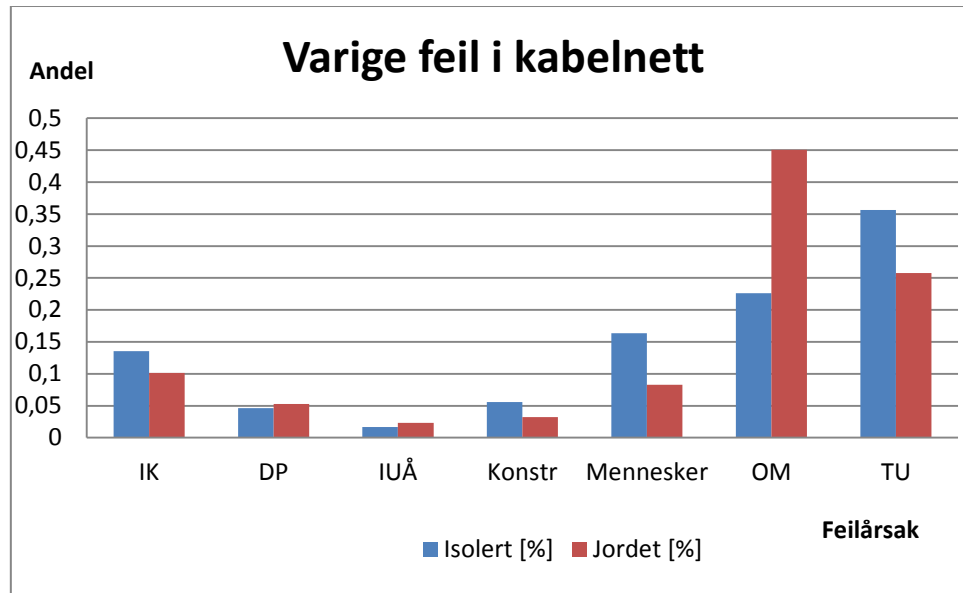
Figur 42. Fordeling av varig feil i luftnettet som skyldes omgivelser.

Igjen kommer det her fram at fugl er et større problem for isolerte nett enn for jordede. De største feilårsakene til varige feil er tordenvær og vegetasjon. Andelen for tordenvær og vegetasjon er noe

høyere for jordede nett, men dette skyldes trolig det faktum at det er mindre problem med fugl, hvilket gjør at andre kategorier blir tilsvarende større.

Med bakgrunn i Figur 41 og Figur 42 antydes det derfor at sett bort ifra fugl har installasjon av JS liten eller ingen effekt på varige feil for luftnettet.

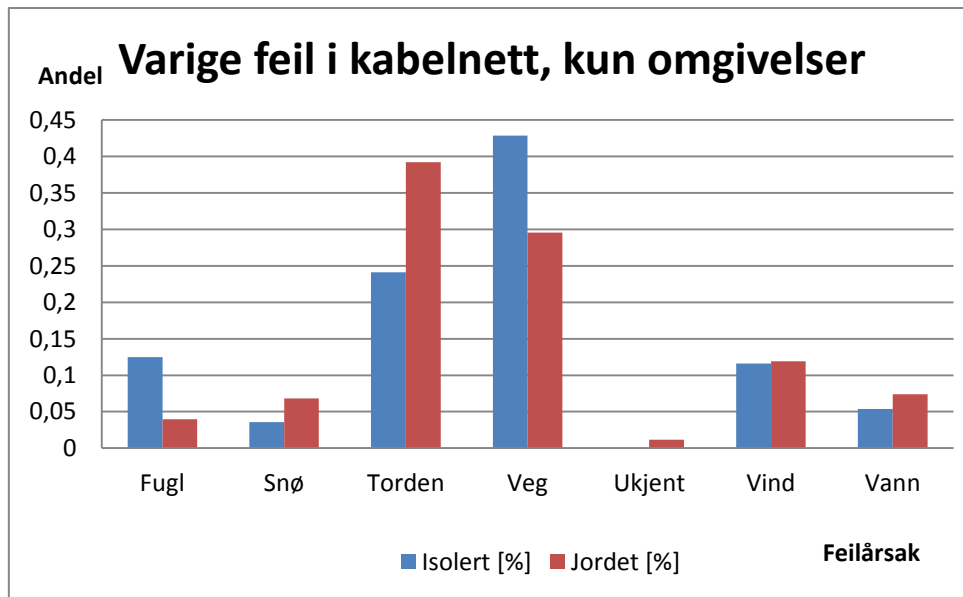
Figur 43 viser fordelingen av varige feil i kabelnett.



Figur 43. Varige feil i kabelnett

Den praktiske forskjellen mellom isolerte og jordede kabelnett er at det er mulig å fortsette å drifte nettet selv om det er jordfeil i nettet, for på denne måten kunne vente med å koble ut nettet til man har mannskaper på plass til å utbedre feilen. Det er derfor oppsiktsvekkende at det viser seg at det er en betydelig større andel av feil i jordede kabelnett som skyldes omgivelser enn det er i isolerte kabelnett. En mulig forklaring kan være at den faktiske forskjellen ligger i kategoriene mennesker og teknisk utsyr som begge er større for isolerte feil enn for jordede.

Figur 44 viser fordelingen av varige feil i kabelnettet når man kun fokuserer på feil som er forårsaket av omgivelser.



Figur 44. Varige feil i kabelnett, kun omgivelser.

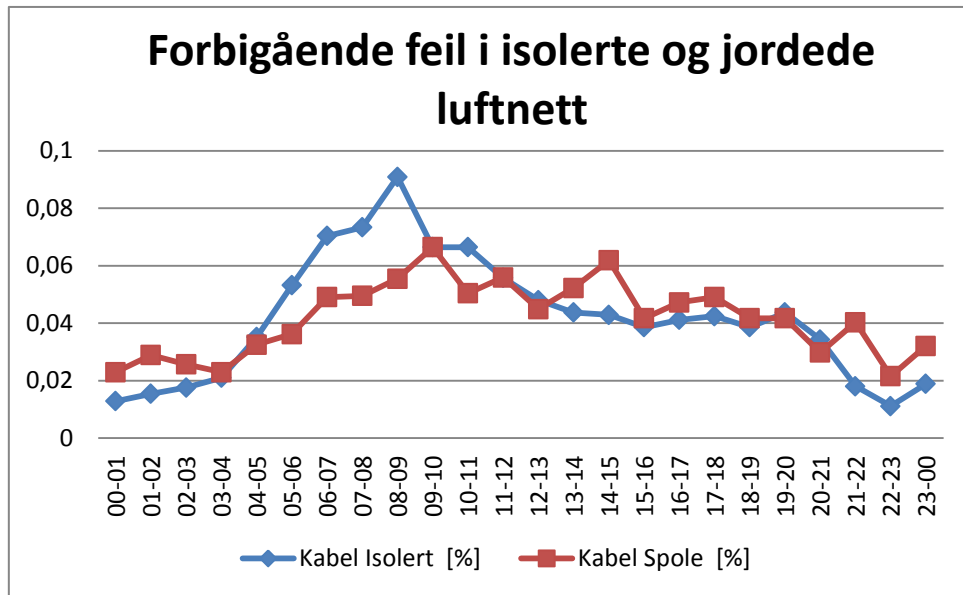
Det kommer her fram at det er betydelig forskjell mellom isolerte og jordede kabelnett når det kommer til hvilke omgivelsefeil som forårsaker varige feil. Igjen ser man at det er flere feil som er forårsaket av fugl/dyr i isolerte nett enn i jordede nett. På lik linje med luftnett er det flere varige feil som skyldes tordenvær i jordede nett enn det er i isolerte nett. Forskjellen mellom isolerte og jordete nett er likevel betraktelig større i kabelnett. Det kommer også fram at isolerte kabelnett ser ut til å være betydelig mer rammet av feil som skyldes vegetasjon enn det som er tilfellet for jordede kabelnett.

Figur 43 og Figur 44 viser at det er klare forskjeller mellom fordelingen av feilårsaker som fører til varige feil for isolerte og jordede kabelnett. Dette er overraskende da man ikke umiddelbart kan forklare hvorfor forskjellen kan være så store som i dette tilfellet.

Da det ikke er mulig å beregne de faktiske feilratene, er det ikke mulig å si noe om hvilke kategorier som faktisk har forskjellige feilfrekvens.

5.2.3 Tidspunkt for når feil oppstår

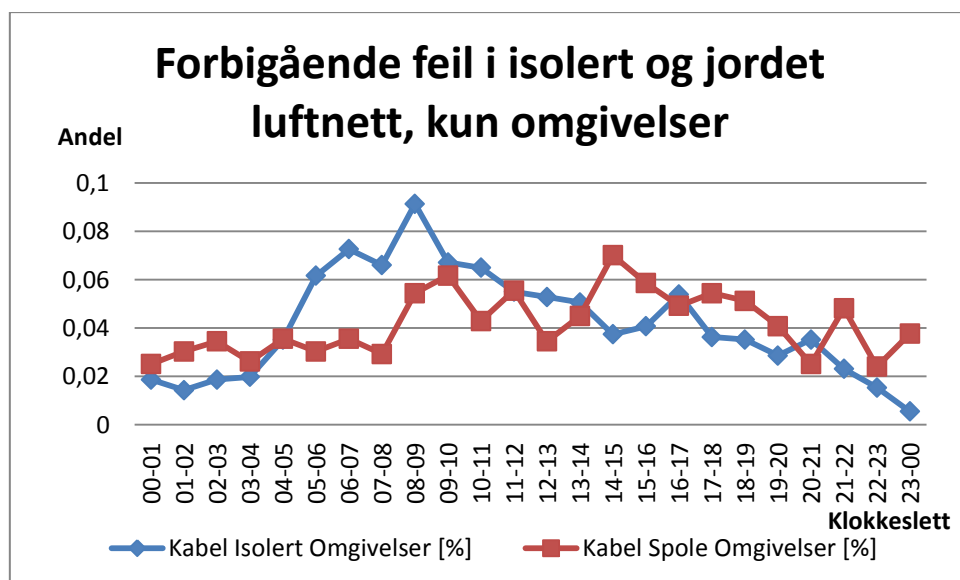
Figur 45 viser fordelingen av forbigående feil over døgnet for isolert og spolejordet luftnett for alle feilårsaker. Figur 46 viser kun for omgivelser.



Figur 45. Fordeling av forbigående feil over døgnet for luftnett.

Det kommer her fram at uavhengig av jording er det et lavere antall feil om morgenen og sent på kvelden. Forskjellen ligger i at for spolejordede nett er det en svakere stigning i andelen feil fra kvelden/natten til toppunktet som er mellom klokken 09 og 10, for så å synke sakte utover dagen og kvelden igjen. For isolerte luftnett er det en kraftig økning i antallet forbigående feil fra tidsrommet 03-04 til toppunktet som inntreffer ved 08-09, for derfra å synke igjen.

Figur 46 viser andelen av isolerte og jordede forbigående feil i luftnettet.

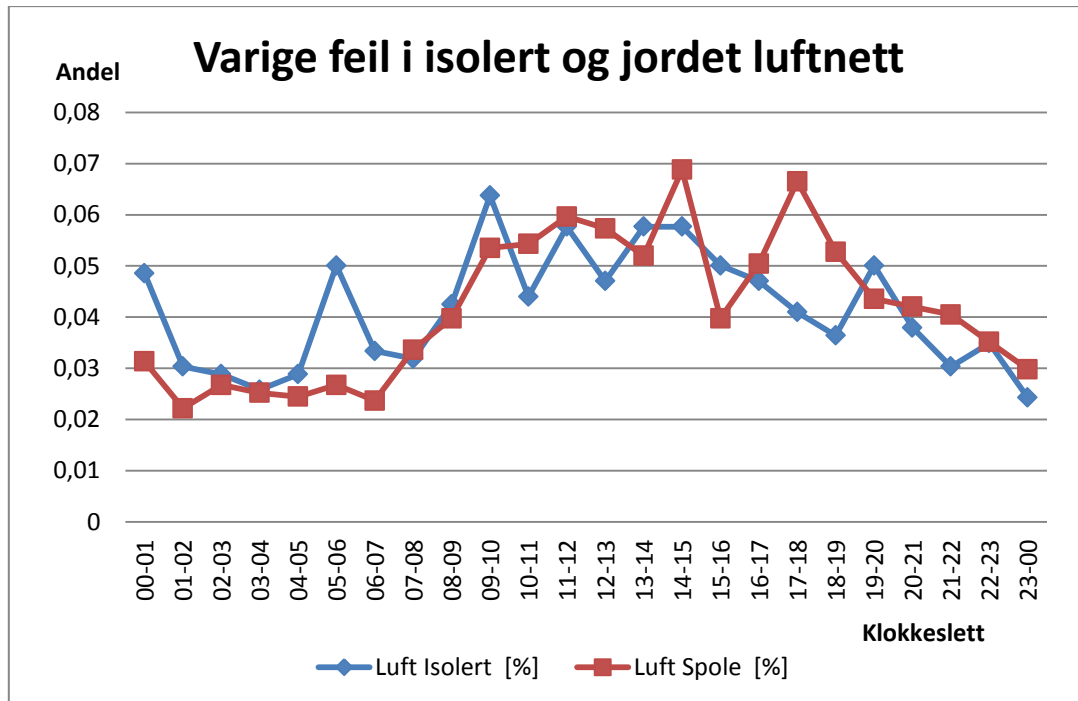


Figur 46. Fordeling av forbigående feil i luftnettet som skyldes omgivelser over døgnet.

Ved å sammenligne Figur 45 og Figur 46 kommer det fram at det kun er små forskjeller mellom feildistribusjonen for alle feilårsaker når det kommer til kun omgivelser. Dette skyldes at omgivelser

er den største feilårsaken. Differensen som blir observert mellom isolert og spolejordet nett for kun omgivelser er størst i perioden 05-06 til 08-09. Dette er erfaringsmessig den tiden av døgnet fugler er mest aktive.

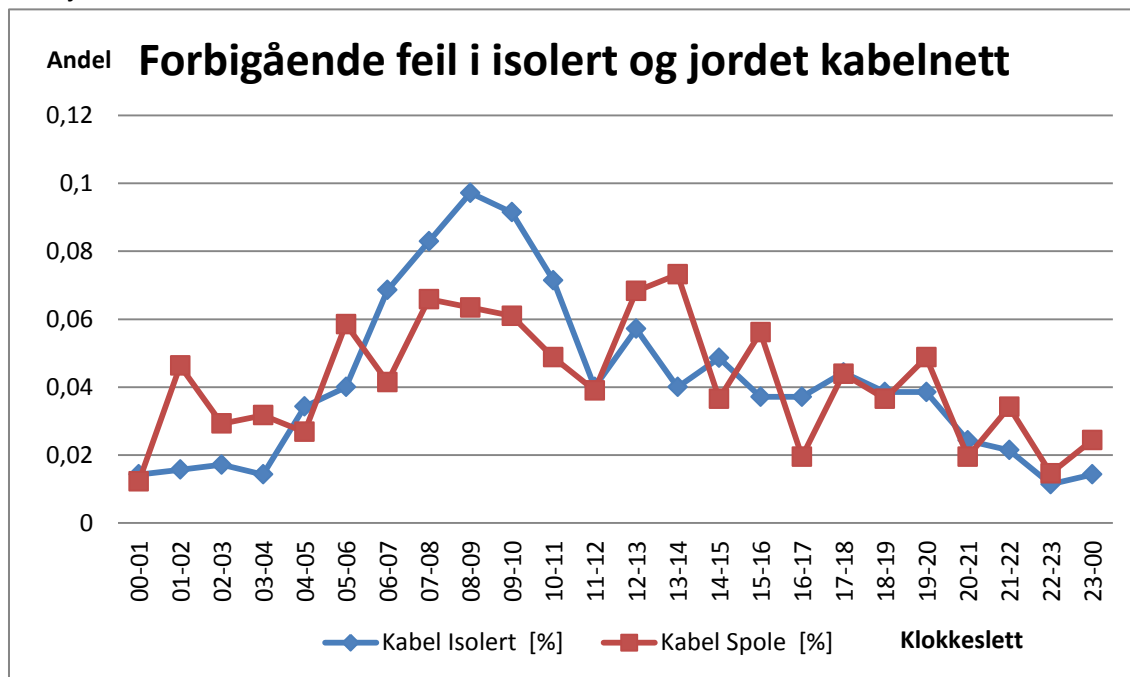
Figur 47 viser fordelingen av varige feil i isolerte og jordede luftnett.



Figur 47. Fordeling av varige feil i luftnettet over døgnet.

Det kommer her fram at fordelingen av varige feil over døgnet er svært lik for isolerte og jordede luftnett. Det er dog flere tidsperioder med betydelige forskjeller, som mellom klokken 05 til 06 og mellom klokken 17 til 18. Men da de større avvikene ikke er vedvarende over lengre perioder er det grunn til å tro at forskjellene skyldes tilfeldigheter.

Ved å se på forbigående feil for isolerte og jordede kabelnett, ser man noen av de samme forskjellene som ved luftnett.



Figur 48. Fordeling av forbigående feil i kabelnettet over døgnet.

Fra Figur 48 kommer det her fram at den største forskjellen mellom isolerte og jordede kabelnett, med hensyn til forbigående feil, er i tidsrommet fra klokken 06-07 til klokken 10-11. Dette sammenfaller til en viss grad med forbigående feil i luftnett.

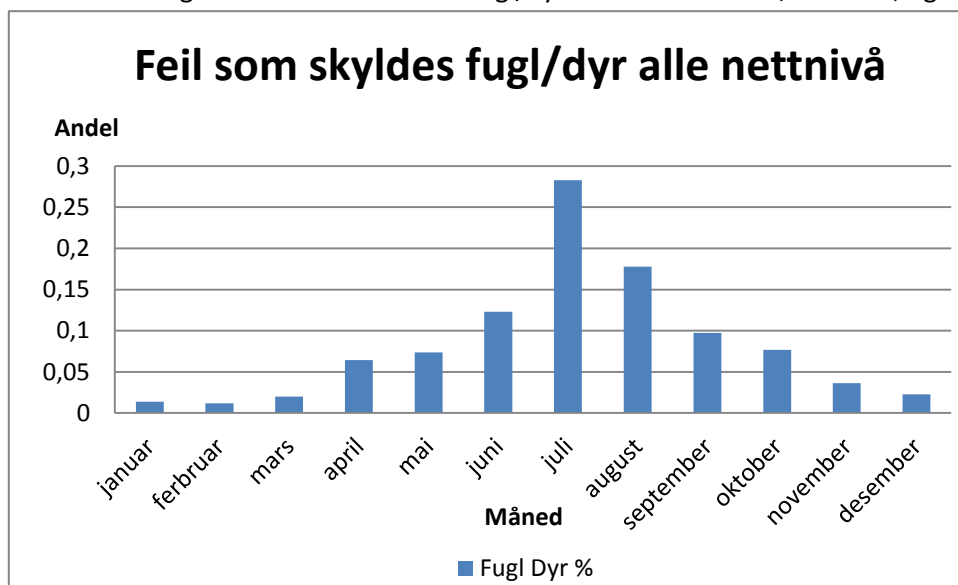
Det spolejordede nettet har en svak økning omkring midt på dagen, men feilfrekvensen varierer mye fra time til time, noe som trolig skyldes et begrenset datagrunnlag for denne type feil.

Ut ifra dette ser det ut til at spolejording har den samme effekten på forbigående feil i kabelnett som for luftnett, men da forbigående feil i kabelnett er lite utbredt [7], er dette av mindre betydning.

5.2.4 Utvalgte omgivelsefeil

Videre følger en gjennomgang av de viktigste feilårsakene innenfor omgivelser og i hvilke måneder de forskjellige feilene er mest aktuelle. Denne informasjonen vil igjen bli brukt i neste kapittel til å underbygge forskjellene som observeres.

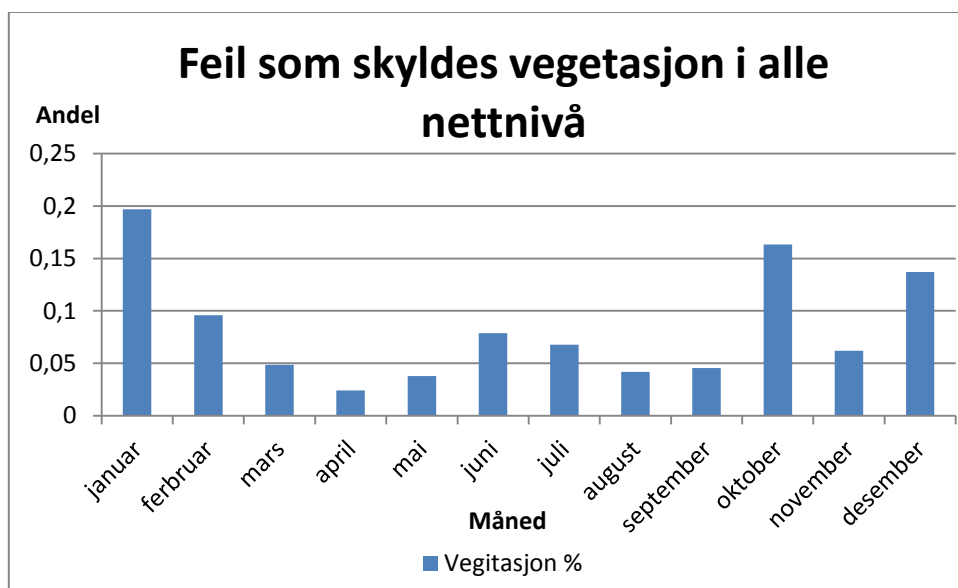
Figur 49 viser fordelingen av feil forårsaket av fugl/dyr over året for luft-, blandet-, og kabelnett.



Figur 49. Feil grunnet fugl/dyr i alle nettnivå.

Det kommer her fram at andelen av feil forårsaket av fugl/dyr øker utover våren med en klar topp i juli for så å synke igjen utover høsten. Månedene juli og august står for 46 % av det totale antallet feil innen denne kategorien.

Figur 50 viser fordelingen av feil som skyldes vegetasjon i luft-, blandet-, og kabelnett.

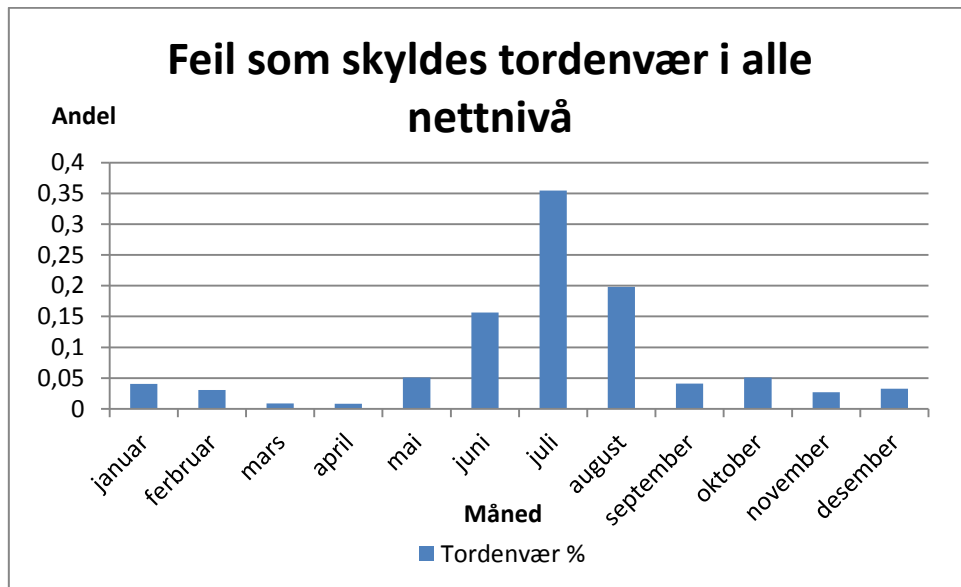


Figur 50. Feil grunnet vegetasjon i alle nettnivå

Det kommer her fram at vegetasjon er en feilårsak som er gjeldende hele året. Månedene med den største andelen feil forårsaket av omgivelser er høst- og vintermånedene, med en topp i januar. Årsaken til denne fordelingen skyldes trolig at det vanligvis er mye vind og dårlig vær i månedene med høyest forekomst av vegetasjonsfeil. November skiller seg ut ved at både oktober og desember står for en høy andel med henholdsvis 16,3 % og 13,7 %, mens november står for 6,2 %. Årsaken til

dette er ikke kjent, men igjen er det mulig at all den tid datagrunnlaget kun er basert på tre år, kan naturlige variasjoner fra år til år påvirke resultatet på denne måten.

Figur 51 viser fordelingen av forbigående feil i luft-, blandet- og kabelnett som skyldes tordenvær.

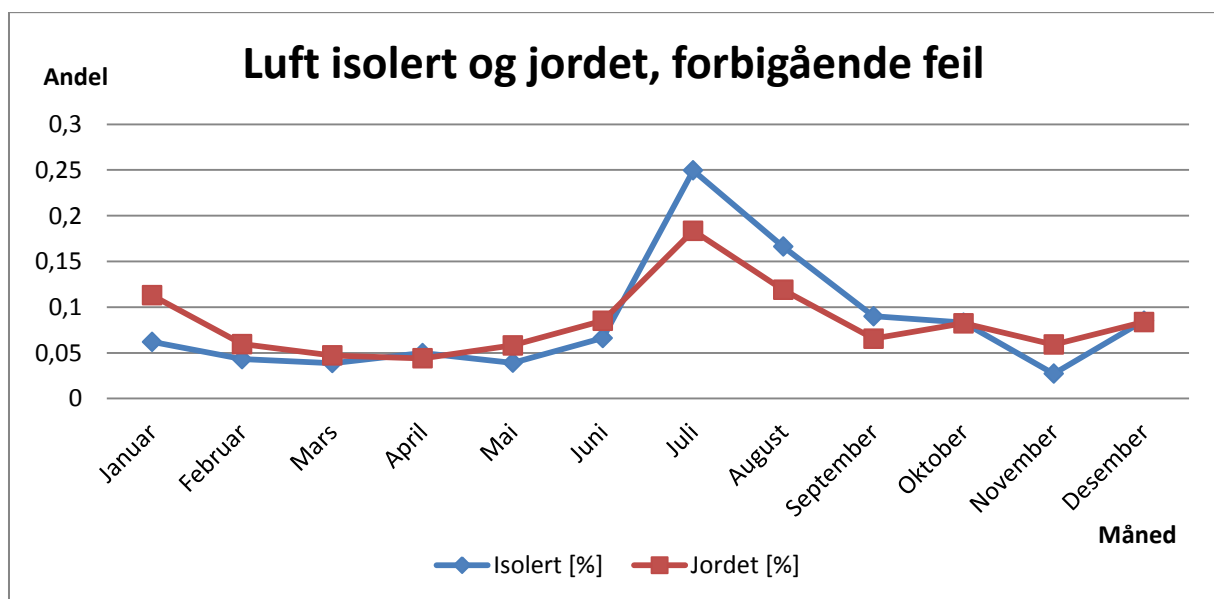


Figur 51. Feil grunnet tordenvær for alle nettnivå.

Fordelingen av forbigående feil som skyldes tordenvær i det norske distribusjonsnettet er sterkt konsentrert til sommermånedene med til sammen 71 % for juni, juli og august. Årsakene til dette er naturlig nok at det er i disse månedene det er flest lynnedslag.

5.2.5 Feil over året

Figur 52 viser forskjellen mellom isolerte og jordede luftnett for forbigående feil.

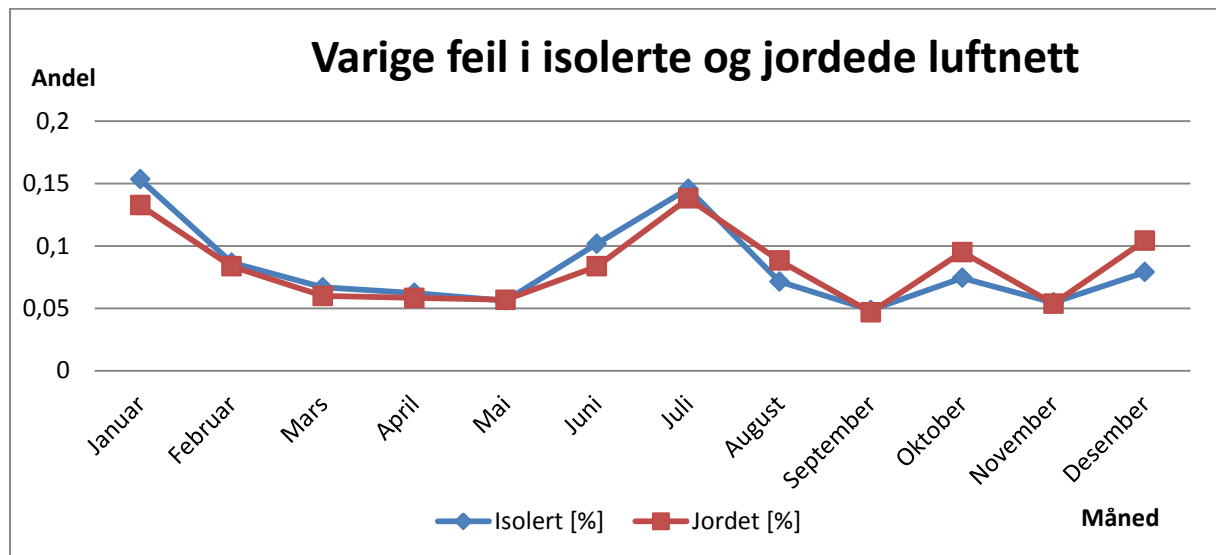


Figur 52. Fordeling av forbigående feil over året i luftnett.

Det kommer fram at den største forskjellen mellom isolerte og jordede luftnett er i månedene januar, juli og august. Forskjellen i juli og august sammenfaller med månedene hvor feilkategoriene fugl/dyr og tordenvær er høyest. Dette samsvarer godt med oppfatningen om at JS har en god effekt på antall forbigående feil forårsaket av fugler og dyr. Derimot er det ingen fullgod sammenheng mellom Figur 52 og Figur 49. Fordelingen for fugl/dyr er høyere for juni enn for september, men dette ser ikke ut til å ha noen virkning på den totale andelen forbigående feil for disse månedene.

Jordet luftnett har en større andel av de årlige feilene i januar enn det isolerte luftnett har. Det kan være flere årsaker til dette, men den mest sannsynlige årsaken er at andelen feil i januar blir større for jordede nett fordi det totale antallet feil er mindre enn for isolerte nett. For isolerte nett er andelen feil som oppstår i juli fire ganger høyere enn for januar, men for jordede nett er forholdet 1,6. Det er derfor grunn til å tro at hvis det hadde vært mulig å beregne faktiske feilfrekvenser per kilometer, ville det vært en annen forskjell mellom isolerte og jordede nett enn det som vises i Figur 52.

Figur 53 viser fordelingen mellom varige feil for isolerte og jordede luftnett.



Figur 53. Fordeling av varige feil over året i luftnettet.

Det kommer her fram at det er svært liten forskjell i fordelingen mellom isolerte og jordede nett når det kommer til varige feil over året. Dette er som forventet da det fra Figur 41 og Figur 42 antydes at spolejording har en svært begrenset effekt på varige feil.

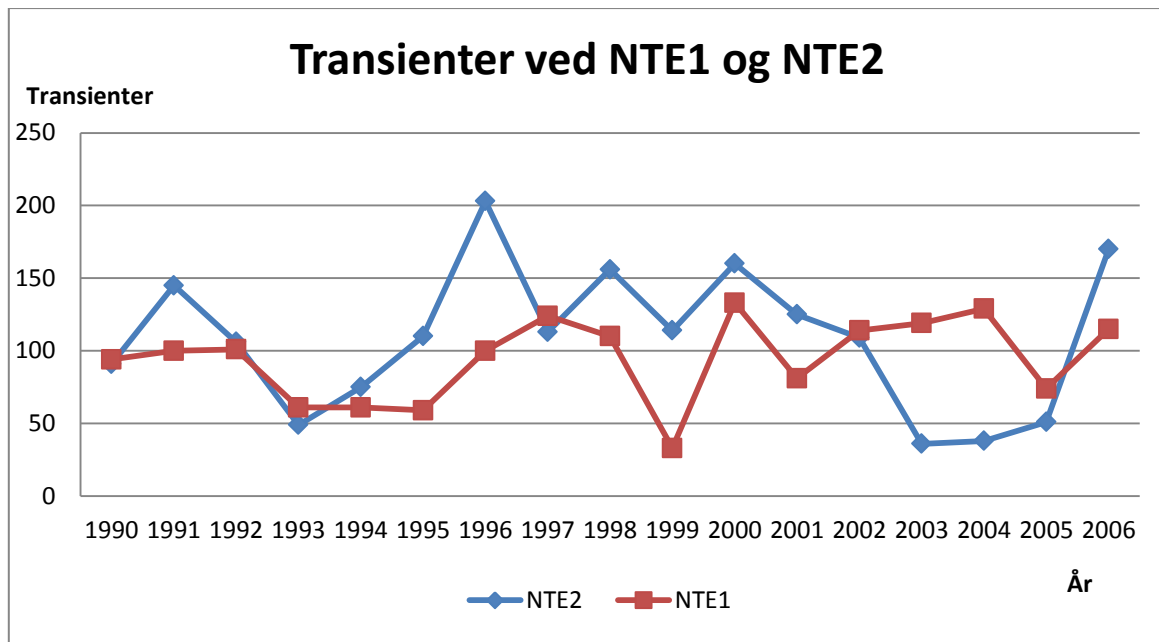
6 Transienter

For å få en dypere forståelse av hva som skjer med nettet når JS blir installert, er det av interesse å se hvordan frekvensen av transienter utvikler seg etter installasjon av spolejording.

Det fremsettes her en hypotese at når JS blir installert vil dette føre til at antallet transienter øker tilsvarende reduksjonen av GIK. Dette fordi JS reduserer sannsynligheten for at det oppstår lysbue når objekter kommer i kontakt med nettet, slik at man kun ender opp med en transient istedenfor et avbrudd.

Datagrunnlaget som har vært tilgjengelig for å undersøke transienter har vært svært begrenset. Data har kun vært tilgjengelig for stasjonene NTE1 og NTE2. Fra SINTEF-NTE prosjektet ble det loggført data for hver måned fram til 2002, men etter dette ble det kun samlet inn på årsbasis.

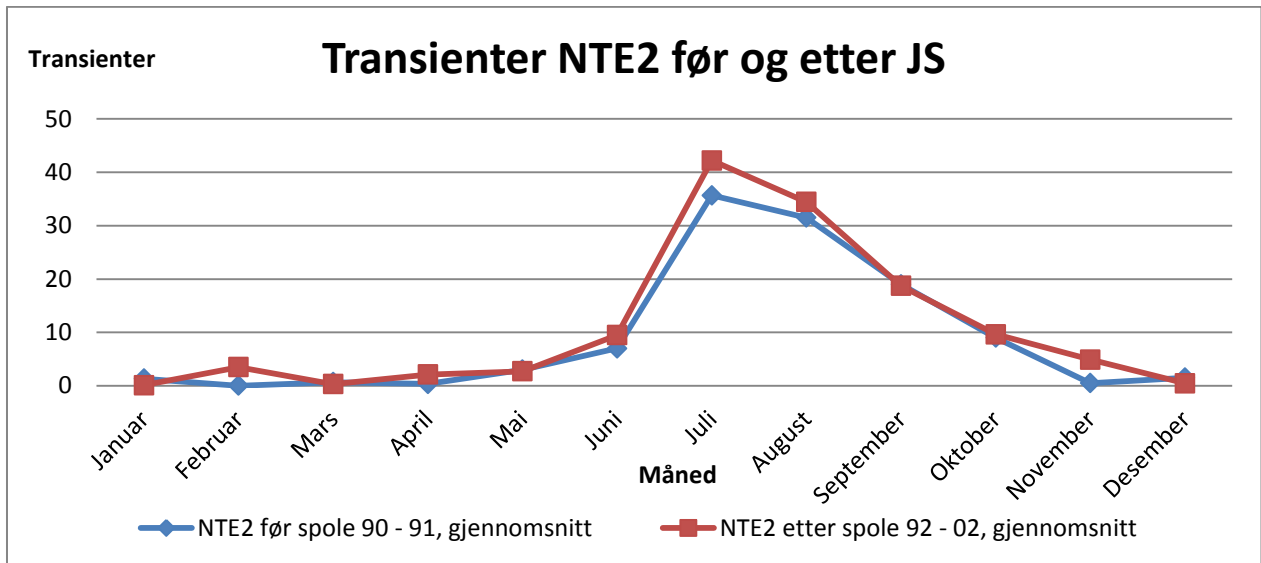
Figur 54. Viser endringen av transienter ved NTE2 og NTE1. Det kommer her fram at det er stor variasjon fra år til år.



Figur 54. Transienter ved NTE2 og NTE1.

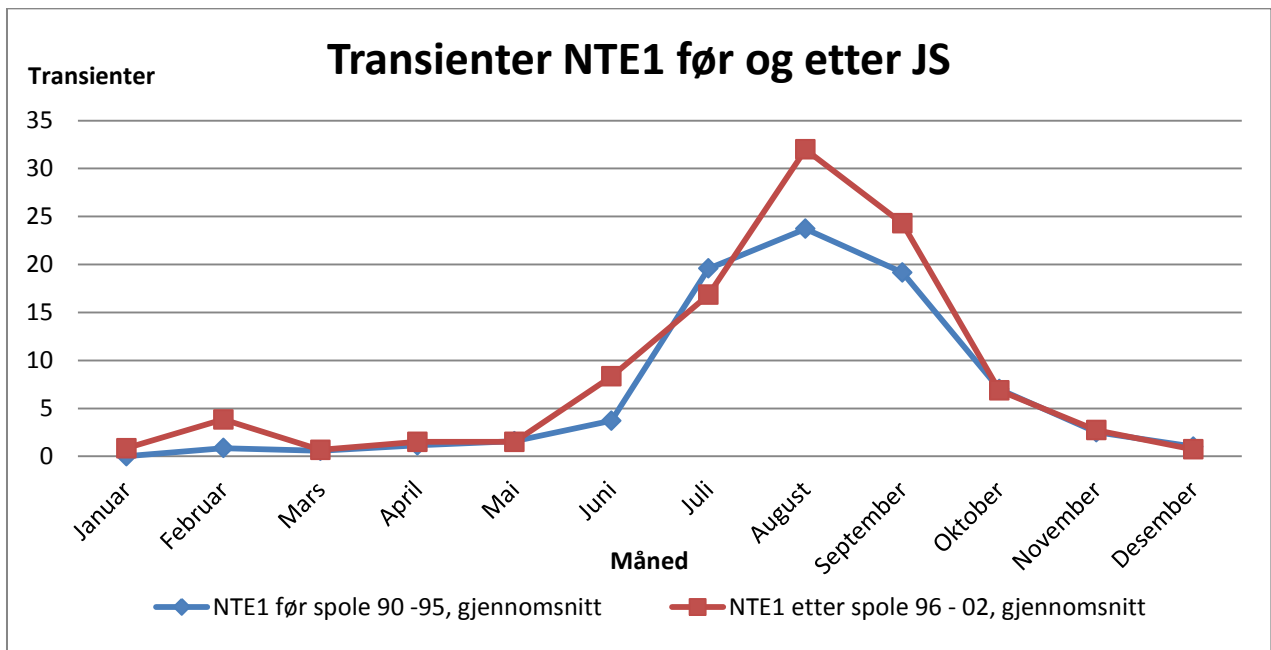
6.1 Transienter før og etter JS

Figur 55 og Figur 56 viser en oversikt over gjennomsnittlig antall transienter i årene med og uten JS for henholdsvis NTE2 og NTE1.



Figur 55. Transienter NTE2 før og etter JS.

Figur 55 viser at den største endringen for NTE2 finner sted i sommermånedene juli og august. Det kommer her fram at det er gjennomgående flere transienter i årene etter at JS ble installert.



Figur 56. Transienter NTE1 før og etter JS.

Figur 56 viser i grove trekk den samme trenden som for NTE2, men økningen av transienter er generelt høyere for NTE1 enn for NTE2.

Tabell 15 viser snittet av transienter for NTE2 og NTE1 over perioden.

Tabell 15. Transienter ved NTE2 og NTE1.

	NTE 2 [Transienter]	NTE1 [Transienter]	Sum før JS [Transienter]	Sum etter JS [Transienter]
1990	91	94	185	
1991	145	100	245	
JS på NTE2 1992	106	101	167	40
1993	49	61	61	49
1994	75	61	61	75
1995	110	59	59	110
JS på NTE1 1996	203	100	60	243
1997	113	124		237
1998	156	110		266
1999	114	33		147
2000	160	133		293
2001	125	81		206
2002	109	114		223
2003	36	119		155
2004	38	129		167
2005	51	74		125
2006	170	115		285
Sum			838	2621
Snitt per år			90,59	105,90
Differanse				15,30
Differanse [%]				116,89

Gjennomsnittet for transienter for de to stasjonene økte fra 90,6 til 105,9 per stasjon per år. Dette tilsvarer en økning på 15,3 eller 16,9 %.

Den gjennomsnittlige reduksjonen i antall GIK per år var 30. Dette tilsvarer ikke den gjennomsnittlige økte mengden med transienter. Det faktum at det er et svært begrenset datagrunnlag samt at nettet blir bygget ut i løpet av analyseperioden fører til at man verken kan konkludere for eller mot om hypotesen stemmer.

7 Konklusjon og videre arbeid

I denne oppgaven er det utført analyser og vurderinger for å kunne fastslå virkningen av å installere jordslutningsspole i det norske distribusjonsnettet. I denne oppgaven er det i hovedsak fokusert på luftnett, men det er også beskrevet i korte trekk virkningen av å ta i bruk jordslutningsspole i kabelnett.

Praktisk virkning av spolejording har vist seg å være et område hvor det er forsket svært lite. Dette har ført til at særs mange parametere har blitt undersøkt i den hensikt å kunne finne områder der det er forskjeller mellom isolerte og jordede nett. Resultatene i denne oppgaven vil derfor kunne hjelpe andre med å fokusere på områder hvor man kan forvente å finne de største forskjellene.

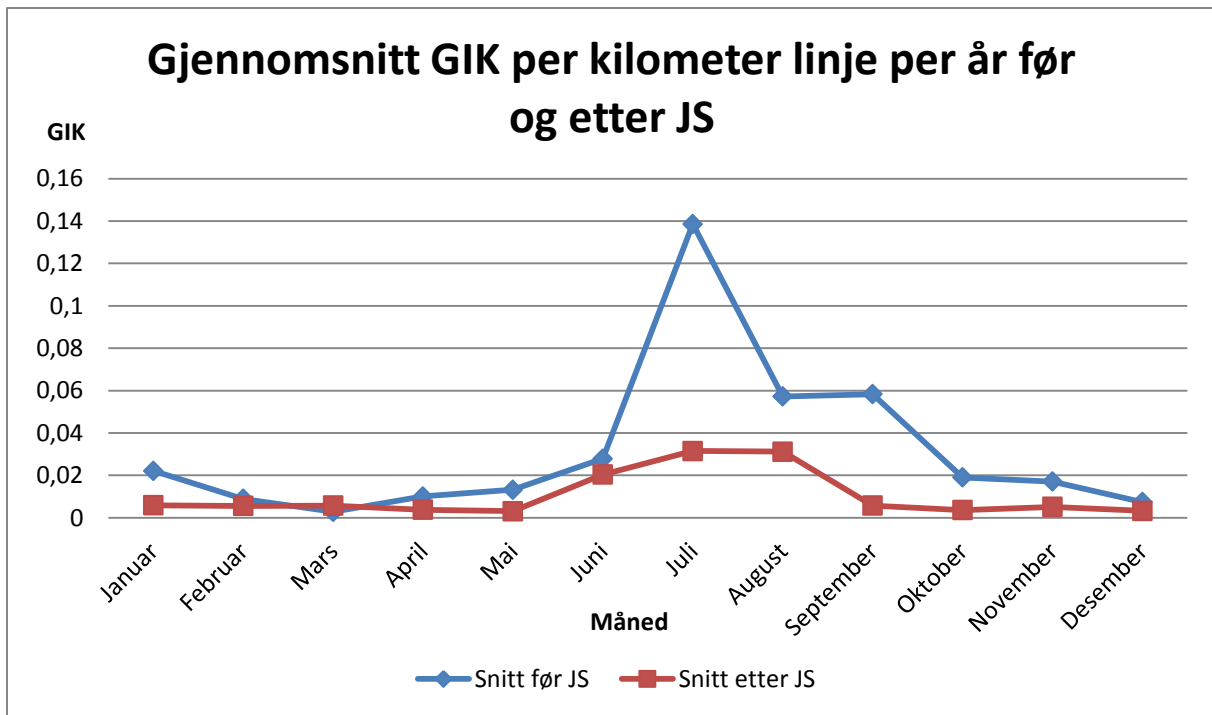
Mengden og kvaliteten på tilgjengelige data har vært variabel. Analysene som er utført på Hafslunds nett har i stor grad vært preget av usikkerhet rundt dataene. Størst usikkerhet har det vært knyttet til hvilke omkoblinger som har blitt gjort i nettet i løpet av årene innenfor analyseperioden. Dette har vist seg problematisk for enkelte av de undersøkte stasjonene da det er sterke indikasjoner på at det har vært store forandringer i nettet i løpet av årene som har blitt analysert. For andre stasjoner ser dette derimot ikke ut til å være et problem. Utenom omkoblinger i nettet er det også knyttet usikkerhet til lengdene for de undersøkte avgangene. Dette fordi det kun er mulig å hente ut lengdene på avgangene slik nettet ser ut i dag. Dette betyr at det ikke er mulig å vite om nettet har blitt bygget ut og om sammensetningen mellom linje og kabel har forandret seg.

Dataene for å finne hvilke perioder de undersøkte avgangene har vært tilknyttet jordslutningsspolen har til tider vist seg å være mangelfulle. Dette skyldes trolig feilregistreringer i FASIT rapportene. Perioder etter at JS ble installert hvor det enten er registrert at avganger har vært driftet som isolerte, eller når det har vært en sterk mistanke om dette, har blitt fjernet fra analysegrunlaget.

Det er i hovedsak to problemer forbundet med de registrerte feilårsakene. Det første problemet er at i mange tilfeller er det opp mot 60 % av feilene der feilårsaken ikke er klarlagt. Da det ikke er mulig å vite nøyaktig hva denne kategorien skjuler, fører det til problemer når det skal undersøkes hvilke feilårsaker som blir redusert ved bruk av jordslutningsspole. Det har også vært knyttet usikkerhet rundt de feilene hvor feilårsaken har blitt registrert. Dette skyldes at det er sjelden den faktiske feilårsaken faktisk blir funnet, slik at et element av kvalifisert gjetning er tilstedeværende.

Mengden på antall transformatorstasjoner med avganger med betydelig andel luftnett og som har hatt tilgjengelig datamateriale har ført til at totalt seks transformatorstasjoner har blitt undersøkt, hvorav to av disse stammer fra et tidligere forskningsprosjekt mellom SINTEF og NTE. For de fire transformatorstasjonene som tilhører Hafslund har det typisk vært datamaterialet som strekker seg fra 2 - 3 år med isolert drift og sju år med spolejordnet drift. Dette fører med seg en usikkerhet da det ikke er mulig å vite om årene med isolert drift kan betraktes som normalen eller om dette var år med historisk høyt eller lavt antall feil.

Det viser seg å være en klar tendens for i hvilke måneder jordslutningsspolen har den største effekten. Figur 57 viser gjennomsnittlig antall GIK per kilometer linje per år for alle de undersøkte avgangene før og etter installasjon av jordslutningsspole.



Figur 57. Snitt GIK per kilometer linje per år for alle undersøkte avganger.

Det slås her fast at for de undersøkte avgangene er det en betydelig reduksjon av GIK i månedene juli til september. Det er grunn til å tro at reduksjonen ville vært enda større hadde data om nettutbygging og endringer av delingspunkt vært kjent.

Ut ifra de analysene som er gjort i denne oppgaven på konkrete stasjoner viser det seg at installasjon av jordslutningsspole samlet sett fører til en reduksjon i antallet forbigående feil. Imidlertid varierer størrelsen på reduksjonen stort fra avgang til avgang og fra stasjon til stasjon. Årsaken til de store variasjonene er uvisst, men det antas at feilkildene beskrevet over har påvirket resultatet.

En metode er utviklet for å estimere KILE-kostnadene forbundet med de kortvarige avbruddene i løpet av analyseperioden. Denne tar utgangspunkt i nettet og KILE-satsene slik de var i 2012. Beregninger er gjort for å kunne fastslå hvilke endringer det ville vært i KILE-kostnadene forutsatt at KILE-satsene for 2012 hadde vært gjeldende for hele analyseperioden. **Det er store forskjeller mellom endring i avbruddsfrekvensen per kilometer og endring i KILE-kostnader.** Dette skyldes det faktum at for de undersøkte avgangene er det ingen sammenheng mellom lengden på nettet og KILE-satsene. **Det er derfor ikke mulig å si noe om sammenhengen mellom endringen i feilfrekvens og endringen av KILE-kostnadene hvis man ser på stasjoner som helhet.** For samtlige av de undersøkte stasjonene har det derimot blitt funnet en reduksjon i de årlige KILE-kostnadene i perioden etter at det ble installert jordslutningsspole.

Kostnadsanalyser har blitt utført for de undersøkte jordslutningsspolene til Hafslund og det viser seg at for halvparten blir investeringen tilbakebetalt innen fem år, tatt i betraktning den reduserte KILE- og vedlikeholdskostnaden. Én av spolene har en tilbakebetalingsperiode som er nesten lik den forventede levetiden til jordslutningsspolen, den siste viser seg å ikke være lønnsom med dagens

KILE-satser*. Tabell 16 viser en oppsummering av endringene de forskjellige stasjonene har hatt etter at det ble installert jordslutningsspole.

Tabell 16. Oppsummering av endringene ved de undersøkte stasjonene

	Endring GIK [%]	Endring GIK per km per år [%]	Endring KILE-kostnader [%]
Stasjon1	88,02	88,66	84,64
Stasjon2	64,45	82,40	34,98
Stasjon3*	12,42	-81,21	16,23
Stasjon4	56,59	64,44	61,77
NTE1	85,92	85,92	
NTE2	95,65	95,65	
Snitt endring %	67,17	55,98	49,41

Slik situasjonen er i dag finnes det ingen oversikt over hvor mye linje og kabel som ligger innenfor de forskjellige nettnivåene. NVE har kun oversikt over den totale lengden med luftnett og kabelnett i det norske distribusjonsnettet. Når nettselskaper rapporterer feil og avbrudd blir det registrert i hvilke nettnivå feilen oppstod. Dette betyr at det ikke er mulig å beregne feilfrekvens per lengdeenhet med bakgrunn i landoversikten for feil og NVE sitt tallmateriale på nasjonale nettlengder. En metode ble derfor utviklet med den hensikt å kunne estimere lengdene med luftnett og kabelnett i de forskjellige nettnivåene. Denne metoden kunne så igjen bli brukt til å finne forskjellene mellom isolerte og jordede nett på samme nettnivå. Det slås fast at enten er forutsetningene metoden baserer seg på feil, eller så er antall år med tilgjengelig datamateriale er for lite. Ingen god løsning ble dermed funnet. **Det konkluderes derfor med at det ikke er mulig å beregne de ønskelige lengdene med de nasjonale dataene på dette tidspunktet, noe som igjen gjør det umulig å lage nasjonal feilstatistikk per lengdeenhet for de forskjellige nettnivåene.** Dette har ført til at de nasjonale FASIT dataene har blitt brukt til å finne trender for isolerte og jordede nett, for på denne måten å kunne si noe om hvilken effekt spolejording har.

Ved å sammenligne feilstatistikken for isolerte og jordede luftnett viser det seg at det er flere forskjeller. For kortvarige forbigående feil i isolerte luftnett viser det seg at andelen fugl/dyr står for om lag 19 % av de totalt 36 % av feilene der feilårsaken er kjent. For jordede luftnett utgjør fugl/dyr 7,5 % av de totalt 40,8 % av feilene med kjent feilårsak. For feil forårsaket av tordenvær er andelen 7,0 % og 15,7 % for henholdsvis isolerte og jordede nett. **Det anses derfor som svært sannsynlig at den kraftige nedgangen i fugl/dyr skyldes spolejording.** At tordenvær står for en mye større andel av feilene i jordede nett enn for isolerte kan skyldes flere faktorer. Det kan hende at den faktiske feilraten per lengdeenheter den samme, men at den prosentvise andelen blir større grunnet totalt sett færre feil. Jordede nett generelt kan også ha en dårligere isolasjonstilstand, slik at de vil være mer sårbare ovenfor tordenvær enn isolerte nett. **Inntil de faktiske feilratene per lengdeenhet blir kjent er det derimot ingen måte å vite hvilken effekt jordslutningsspole har på forskjellige feilårsaker med sikkerhet.**

* Det er knyttet stor usikkerhet til om det er gjort betydelige endringer i nettet i løpet av analyseperioden på Stasjon3.

Analysene av landsstatistikken viser at det er i månedene januar, juli og august at forskjellen i andelen forbigående feil er størst mellom isolerte og jordede luftnett. Månedene juni, juli og september er månedene hvor antallet feil forårsaket av fugl/dyr og tordenvær er høyest. Det faktum at det ikke kan observeres en større forskjell mellom isolerte og jordede luftnett også i juni er vanskelig å forklare sett ut ifra at spolejordingen burde ha hatt den samme virkningen for alle de tre sommermånedene.

Forskjellen mellom isolerte og jordede luftnett er svært liten for varige feil. Imidlertid kan en liten forskjell observeres for andelen av feil som er forårsaket av fugl/dyr. **Det konkluderes derfor med at jordslutningsspole maksimalt har en marginal påvirkning på varige feil i luftnett.**

Analysene slår fast at det er betydelige forskjeller i fordelingen av varige feilårsaker mellom isolette og jordede kabelnett. Da det ikke er noen enkel forklaring på hvorfor dette er tilfellet, er man avhengig av å finne de faktiske feilratene per lengdeenhet for å kunne si noe om den faktiske forskjellen mellom isolerte og jordede kabelnett.

Undersøkelser for hvordan antallet transienter endres ved introduksjon av jordslutningsspole viser en økning i antall transienter, men den målte økningen samsvarer ikke fullt ut med det reduserte antallet GIK. Undersøkelsene som her er gjort på transienter er basert på et så begrenset datamateriale at det ikke er mulig å si noe sikkert angående jordslutningsspolens effekt på transienter.

Det største fremskrittet som videre kan gjøres for å bestemme de praktiske virkningene av jordsslutningsspole vil være å finne de forskjellige linje- og kabellengdene i de ulike nettnivåene. For så å kunne beregne feilratene per lengdeenhet for forskjellige typer feil.

Da det er funnet betydelige forskjeller mellom varige feilårsaker for isolerte og jordede kabelnett anbefales det at dette temaet blir undersøkt videre.

Et annet moment som er av interesse vil være å undersøke hvilke nytteverdier nettselskaper oppnår når det kommer til omdømme blant kundene når leveringskvaliteten forbedres.

Da det ikke er kjent om andre studier som omhandler den praktiske effekten av spolejording enn SINTEF-NTE prosjektet og denne oppgaven, anbefales det at det utføres flere studier som undersøker endringen i antallet feil ved introduksjon av jordslutningsspole. Dette for å kunne sammenligne og se om de samme endringene kan observeres også ved andre transformatorstasjoner.

8 Referanser

- [1] Hafslund Nett sine informasjonskilder Dato 2013-02-02
www.Hafslundnett.no/omoss
- [2] A. Guldbland. System Earthing. 2006. Lund University
- [3] G. Druml, A. Kugi, B. Parr. Control of Petersen Coila. XI. International Symposium on Theoretical Electrical Engineering August / 2001.
- [4] B. Dolnik, J. Kurimasky. Contribution to earth fault current compensation in middle voltage distribution networks. Technical University of Kosice, Slovakia. Electrical Review NR2/2011
- [5] Power System Protection Ground faults in resonane grounded systems. Forelesningsfoil. H. K. Høidalen.
- [6] Sverre Solberg, Hafslund Vern og Målere. Epostutveksling våren 2013.
- [7] Årsstatistikk 2011, Driftsforstyrrelser og feil i det norske distribusjonsnettet 1-22kV. Figur 3.1 og Figur 3.3. Statnett
- [8] Grunnleggende økonomisk teori. Planbok for kraftnett. 2010 Datert 2010-09-15
- [9] Årsrapport feil- og avbruddsstatistikk for 2011. Hafslund Nett AS.
- [10] Sintef Energi AS Planleggingsbok for Kraftnett- Avbruddskostnader. Datert 2010-01-27
- [11] Erik Solenby Sparr, Hafslund Vern og Målere. Mailutveksling våren 2013.
- [12] Kalkulasjonsrente. Direktoratet for økonomistyring. Dato: 2013-10-04
<http://www.dfo.no/no/Styring/Samfunnsokonomisk-analyse/Hvordan-gjennomfore-en-samfunnsokonomisk-analyse/Trinn-4-Beregne-samfunnsokonomisk-lonnsomhet/Kalkulasjonsrente/>
- [14] Helge Seljeseth, SINTEF Energi AS. Samtale.
- [15] Camila Aabakken, NVE. Epostutveksling våren 2013.
- [16] Svein Morten Strømsnes, BKK Nett AS. Epostutveksling våren 2013.
- [17] Wanja Wilhelmsen, Nordlandsnett AS. Epostutveksling våren 2013.
- [18] Bjørn Birkeland, Fredrikstad EnergiNett AS. Samtaler.

9 Vedlegg

9.1 Vedlegg A: Stasjon1

Tabell 17. Stasjon1 sum GIK per år.

	Før JS [GIK]	Etter JS [GIK]
Januar	2	0,8571
Februar	2,5	0,4286
Mars	0,5	0,2857
April	1,5	0,2857
Mai	1,25	0,2857
Juni	4,75	0,7143
Juli	15,6667	1,4286
August	7,6667	0,8571
September	4	0
Oktober	2,3333	0,1429
November	3	0
Desember	1,3333	0,2857
Sum per år	46,5	5,5714
Endring[%]	88,02	

Tabell 18. Stasjon1 KILE før JS for hver av avgangene.

	S1A1 Før JS [kr]	S1A1 etter JS [kr]
Januar	311,4806	0
Februar	0	0
Mars	311,4806	177,9889
April	918,8678	0
Mai	1162,8601	332,2460
Juni	809,8496	308,5141
Juli	2768,7166	296,6482
August	3737,7674	480,570
September	2810,2473	0
Oktober	830,6149	0
November	3004,0575	0
Desember	844,4586	180,9554
Sum per år	17510,4018	1776,9227
Totalt		19287,3246

Tabell 19. Stasjon1 S1A2 før og etter JS.

	S1A2 før JS [kr]	S1A2 etter JS [kr]
Januar	8539,2062	4182,4683
Februar	12402,1804	2126,0880
Mars	1219,8866	697,0781
April	3598,6654	1370,9201
Mai	1138,5608	0
Juni	16915,7608	1812,4029
Juli	52861,7524	4647,1870
August	19030,2309	1882,1107
September	7861,4914	0
Oktober	8132,5772	697,0780
November	3361,4653	0
Desember	3307,2481	708,6960
Sum per år	138369,0250	18124,0294
Totalt		156493,0550

9.2 Vedlegg B: Stasjon2

Tabell 20. Stasjon2 sum GIK før og etter JS.

	Før JS [GIK]	Etter JS [GIK]
Januar	1,3333	0,2858
Februar	0,3333	0,1429
Mars	0	0
April	0,3333	0,1429
Mai	0,3333	0
Juni	1	0,5714
Juli	2	0,5
August	0,3333	0,4107
September	1,3333	0
Oktober	0	0
November	0,3333	0,2679
Desember	0	0,2857
Sum per år	7,3333	2,6071
Endring[%]	64,4480	

Tabell 21. Stasjon2 KILE før JS hver av avgangene.

	S2A1 før JS [kr]	S2A2 før JS [kr]
Januar	31592,18	4089,80
Februar	0,00	4157,97
Mars	0,00	0,00
April	0,00	4021,64
Mai	0,00	3817,15
Juni	0,00	10633,49
Juli	0,00	20449,02
August	0,00	3680,82
September	0,00	15813,91
Oktober	0,00	0,00
November	0,00	4226,13
Desember	0,00	0,00
Sum per år	31592,18	70889,92

Tabell 22. Stasjon2 KILE etter JS hver av avgangene

	S2A1 etter JS [kr]	S2A2 etter JS [kr]
Januar	4513,17	1752,77
Februar	4588,39	0,00

Mars	0,00	0,00
April	4437,95	0,00
Mai	0,00	0,00
Juni	11734,24	1519,07
Juli	13163,41	0,00
August	8123,70	1380,31
September	0,00	0,00
Oktober	0,00	0,00
November	4663,61	1584,80
Desember	9176,78	0,00
Sum per år	60401,23	6236,95

9.3 Vedlegg C: Stasjon3

Tabell 23. Stasjon3 sum GIK før og etter JS.

	Før JS [GIK]	Etter JS [GIK]
Januar	1,25	0,2857
Februar	0,25	0,5714
Mars	0	0,5714
April	0	0,1429
Mai	0	0,1667
Juni	0,6667	1,7333
Juli	5,3333	2,3619
August	1,3333	2,1071
September	1	0,3929
Oktober	1	0,3929
November	0	0,5536
Desember	0,3333	0,5
Sum per år	11,1667	9,7798
Endring[%]	12,42	

Tabell 24. Stasjon3 KILE før og etter JS hver av avgangene.

	KILE før JS per år [kr]			KILE etter JS per år [kr]		
	S3A1 før JS	S3A2 før JS	S3A3 før JS	S3A1 etter JS	S3A2 etter JS	S3A3 etter JS
Januar	7177,37	0,00	20137,94	2050,68	0,00	3835,80
Februar	0,00	176,72	0,00	4169,71	100,98	3899,73
Mars	0,00	0,00	0,00	4101,35	0,00	7671,60
April	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	3771,87
Mai	0,00	0,00	0,00	0,00	108,16	0,00
Juni	8293,84	0,00	0,00	12440,77	241,04	7756,84
Juli	59811,38	193,14	0,00	7177,37	772,55	9589,50
August	17225,68	0,00	0,00	11073,65	469,32	12082,77
September	13876,24	0,00	0,00	1982,32	0,00	6488,89
Oktober	14354,73	0,00	0,00	2050,68	86,91	3356,32
November	0,00	0,00	0,00	6357,10	0,00	3468,20
Desember	4864,66	0,00	0,00	7296,99	0,00	0,00

9.4 Vedlegg D: Stasjon4

Tabell 25. Stasjon4 snitt GIK per år.

	Før JS [GIK]	Etter JS [GIK]
Januar	0	0,125
Februar	0	0,125
Mars	0	0
April	0,5	0,25
Mai	0,5	0,25
Juni	1	0,625
Juli	4,5	1,5
August	1	0,8274
September	2,1667	0,625
Oktober	0,5	0,125
November	0,3333	0
Desember	0,3333	0,25
Sum per år	10,8333	4,7024
Endring[%]	56,59	

Tabell 26. Stasjon4 KILE-kostnader før og etter JS for hver avgang.

	KILE før JS per år [kr]			KILE etter JS per år [kr]		
	S4A1 Før JS	S4A2 før JS	S4A3 før JS	S4A1 etter JS	S4A2 etter JS	S4A3 etter JS
Januar	0,00	0,00	0,00	575,14	0,00	0,00
Februar	0,00	0,00	0,00	584,72	0,00	0,00
Mars	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
April	0,00	20388,28	0,00	0,00	10194,14	0,00
Mai	0,00	19351,59	0,00	0,00	9675,79	0,00
Juni	0,00	35938,66	0,00	1495,35	4492,33	1215,87
Juli	5112,31	51834,61	15588,09	2875,68	21597,75	1169,11
August	0,00	37320,92	0,00	690,16	10663,12	3787,91
September	5930,28	20042,71	3616,44	555,96	20042,71	0,00
Oktober	0,00	20733,84	0,00	575,14	0,00	0,00
November	1584,82	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Desember	1559,26	0,00	0,00	1169,44	0,00	0,00
Sum per år	14186,67	205610,60	19204,53	8521,59	76665,85	6172,88

9.5 Vedlegg E: NTE2-NTE1

Tabell 27. NTE2 før og etter JS.

	Før JS [GIK]	Etter JS [GIK]
Januar	0,6667	0
Februar	0,0000	0,5
Mars	0,3333	0
April	0,0000	0,2
Mai	1,6667	0
Juni	2,0000	0
Juli	9,3333	0,3
August	7,5000	0,363636
September	7,0000	0,090909
Oktober	6,0000	0,090909
November	0,5000	0
Desember	0,5000	0
Sum per år	35,5000	1,545455
Endring	95,65	

Tabell 28. NTE1 GIK før og etter JS.

	Før JS [GIK]	Etter JS [GIK]
Januar	0,0000	0,166667
Februar	0,4286	0
Mars	0,4286	0
April	0,7143	0
Mai	1,0000	0
Juni	1,8571	1
Juli	9,2857	1,833333
August	8,7143	0,833333
September	5,1667	0
Oktober	1,3333	0
November	0,6667	0,428571
Desember	0,6667	0
Sum per år	30,2619	4,261905
Endring	85,92	

9.6 Vedlegg F: Tordenteorien

Vider kommer den matematiske oversettingen av Tordenteorien.

Formel 15 til Formel 17 beskriver feilfrekvensen for varige feil for linje som skyldes tordenvær i henholdsvis luft-, blandet- og kabelnett.

$$\text{Eq1} = \frac{(T_{Luft} * X)}{(L_{Linje,luft})}$$

Formel 15. Feilfrekvens for linje som skyldes tordenvær for luftnett.

$$\text{Eq2} = \frac{(T_{Blandet} * Y)}{(L_{Linje,blandet})}$$

Formel 16. Feilfrekvens for linje som skyldes tordenvær for blandet nett.

$$\text{Eq3} = \frac{(T_{kabel} * Z)}{(L_{Linje,kabel})}$$

Formel 17. Feilfrekvens for linje som skyldes tordenvær for kabelnett.

Formel 18 til Formel 20 beskriver feilfrekvensen for kabel som skyldes tordenvær i henholdsvis luft-, blandet- og kabelnett.

$$\text{Eq4} = \frac{(T_{Luft} * (1 - X))}{(L_{Kabel,luft})}$$

Formel 18. Feilfrekvens for kabel som skyldes tordenvær for luftnett.

$$\text{Eq5} = \frac{(T_{blan det} * (1 - Y))}{(L_{Kabel,blandet})}$$

Formel 19. Feilfrekvens for kabel som skyldes tordenvær for blandet nett.

$$\text{Eq6} = \frac{(T_{kabel} * (1 - Z))}{(L_{Kabel,kabel})}$$

Formel 20. Feilfrekvens for kabel som skyldes tordenvær for kabelnett.

Hvor

T Antall varige tordenværfeil i de respektive nettnivåene

$L_{type,nasjonal}$ Den totale nasjonale lengden på type linje eller kabel

$L_{type,nettnivå}$ Lengden av type linje eller kabel i nettnivå

X, Y og Z Andelen av feil som skyldes tordenvær i linjeandelen i henholdsvis luft-, blandet-, og kabelnett

Formel 21 og Formel 22 setter feilfrekvensene for linje og kabel i de forskjellige nettnivåene lik hverandre.

$$Eq1 = Eq2 = Eq3$$

Formel 21. Feilfrekvensene for linje settes lik hverandre.

$$Eq4 = Eq5 = Eq6$$

Formel 22. Feilfrekvensene for kabel settes lik hverandre.

Formel 23 og Formel 24 knytter lengdene i de forskjellige nettnivåene sammen med de nasjonale lengdene.

$$L_{Linje,luft} + L_{Linje,blan\ det} + L_{Linje,kabel} = L_{Linje,nasjonal}$$

Formel 23. Lengder linje knyttes sammen.

$$L_{Kabel,luft} + L_{Kabel,blan\ det} + L_{Kabel,kabel} = L_{Kabel,nasjonal}$$

Formel 24. Lengder kabel knyttes sammen.

Formel 25 og Formel 26 setter begrensninger for hvor mye kabel det kan være i luftnett og hvor mye linje det kan være i kabelnett.

$$\frac{L_{Linje,luft}}{L_{Linje,luft} + L_{Kabel,luft}} \geq 0,9$$

Formel 25. Luftnett inneholder mer eller lik 90 % linje.

$$\frac{L_{Linje,kabel}}{L_{Linje,kabel} + L_{Kabel,kabel}} \leq 0,1$$

Formel 26. Kabelnett inneholder mindre eller lik 10 % linje.

Videre følger MATLAB-koden som er laget for å kunne løse likningssettet for Tordenteorien. De nasjonale lengdene er her fjernet.

```
% |a, b, c, d, e, f, x, y, z|

% X, Y, Z = 531, 170, 66 Antall varige feil pga tordenvær
% a + b + c = max1
% d + e + f = max2
%
% where
%
% a / (a + d) <= 0.1
% c / (c + f) >= 0.9
```

```

%   Antall varige tordenvær feil er 66,170 og 531 for luft/blandet/kabel

max1 = Total lengde luftnett; %Fjernet
max2 = Total lengde kabel;   %Fjernet

success = 0;
err = 0.001;
give_up = 0;
t = 0;
counter = 0;
while ~success || give_up
for a = 0:1000:max1/5
    counter = counter + 1
    for b = 0:1000:max1 - a
        c = max1 - a - b;
        t1 = tic;
        for d = 0:1000:max2
            for e = 0:1000:max2 - d
                f = max2 - d - e;
                for x = 0:0.1:1
for y = 0:0.1:1
    for z = 0:0.1:1
        if abs(a / (a + d)) <= 0.1 && abs(c / (c + f)) >= 0.9 ...
            && abs(((66 * x) / a) - ((170 * y) / b)) < err ...
            && abs(((66 * x) / a) - ((531 * z) / c)) < err ...
            && abs(((170 * y) / b) - ((531 * z) / c)) < err ...
            && abs(((66 * (1 - x)) / d) - ((170 * (1 - y)) / e)) < err ...
            && abs(((66 * (1 - x)) / d) - ((531 * (1 - z)) / f)) < err ...
            && abs(((170 * (1 - y)) / e) - ((531 * (1 - z)) / f)) < err

                success = 1;

                res = [a, b, c, d, e, f, x, y, z]';
                break;
            end
        end
    end
end
                end
            end
        end
    end
    t = t + toc(t1);
end
end
give_up = 0;
end

```