

Sammenligning av feilstatistikk mellom nettselskaper - Med utgangspunkt i kostnadsnormen og bruk av GIS

Magnus Holm Nygaard

Master i energi og miljø
Innlevert: juni 2017
Hovedveileder: Gerd Kjølle, IEL

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elkraftteknikk

Forord

Denne oppgaven utgjør sluttproduktet av min Masteroppgave i 10. semester ved studieprogrammet Energi og Miljø ved NTNU i Trondheim. Oppgaven er gjennomført ved Institutt for elkraftteknikk på Fakultet for informasjonsteknologi, matematikk og elektronikk. Oppgaven har en belastning på 30 studiepoeng.

Fra å være nokså uerfaren med geografiske informasjonssystemer (GIS) i starten av januar, har det vært svært motiverende og lærerikt å se hvordan dette fantastiske verktøyet kan brukes for å analysere kraftsystemet. Det har til tider vært utfordrende å skaffe seg oversikt over de mange mulighetene som ligger i GIS, men de meget dyktige ressurspersonene på dette feltet hos Statnett har bidratt etter beste evne og hjulpet meg videre.

Jeg vil rette en stor takk til min veileder ved NTNU, professor Gerd Kjølle. Hun var den første til å foreslå sammenligning nettselskaper basert på geografiske faktorer i kostnadsnormen, og har hjulpet meg å definere oppgavens problemstilling med bruk av GIS etter idé av senioringeniør Jørn Heggset (Statnett). I tillegg ønsker jeg å takke: Fagsjef Geir Solum (TrønderEnergi) for tilbakemelding på oppgaven og innsikt i nettselskapenes arbeidshverdag. Alle ansatte i avd Feilanalyse (Statnett) for innspill og muligheten til å bli kjent med bransjen gjennom relevant jobb inn mot oppgaven. I tillegg ønsker jeg å takke alle som har hjulpet meg med diverse spørsmål gjennom semesteret.

Trondheim 11.06.2017

Magnus Holm Nygaard

Sammendrag

Distribusjonsnettene i Norge er delt inn i 139 konsesjonærrområder. Hver av disse er pålagt av NVE å rapportere data om feil og avbrudd. På grunn av rivende utvikling innenfor datateknologi knyttet til "det digitale skiftet" åpner det seg nye muligheter for anvendelse av kartfestede data.

Formålet med denne oppgaven har vært å undersøke mulighetene til å benytte geografiske informasjonssystemer (GIS) for å presentere feilstatistikk. Måten distribusjonsnettene er strukturert på gjør det mulig å sammenligne feilstatistikk mellom nettselskap. I denne oppgaven er det undersøkt om geografiske data kan brukes som grunnlag for en slik sammenligning.

En bakgrunnsstudie av feilanalyse og en praktisk utforming av verktøyet "dashbord" med påfølgende vurdering utgjør kjernen i oppgaven.

Bakgrunnsstudiet gir en oversikt over dagens rapporteringssystem for feil og avbrudd i kraftsystemet (FASIT), som lagrer store mengder nyttig informasjon om nettselskapene. TrønderEnergi ble kontaktet og brukt som modell i arbeidet. Oppgaven fokuserer på kart som medium og bruk av geografiske data NVE har om nettselskapene i dag.

I motsetning til tradisjonell feilstatistikk som tar for seg alle nettselskaper samlet sett, vil et dashbord kunne gi rom for å analysere individuelle forskjeller mellom nettselskap. Den praktiske utformingen av dashbordet ble begrenset av mangelfull programmeringserfaring med GIS som er tidkrevende og komplisert, samt mangel på kartfestede data.

Erfaringen med dashbordet viser at man kan sammenligne feilstatistikk fra ulike nettselskap. For feilstatistikken del ble det slått fast at koordinatfesting av feil er en forutsetning for å kunne gjøre inngående sammenligninger. Vurderingen avdekker også at flere forhold i feilrapporteringen og kilden til anleggsdata (eRapp) bør forbedres for å effektivt kunne produsere god feilstatistikk for nettselskapene. Oppgaven belyser også muligheter for videreutvikling og gir eksempler på andre kartkilder knyttet til geografiske, topografiske eller klimatiske faktorer som kan brukes i feilanalyse.

Hovedkonklusjonen for oppgaven er at det er et behov i nettselskapene til å kunne nyttiggjøre seg av egen feilstatistikk og sammenligne seg med andre selskap. Økt bruk av GIS vil styrke arbeidet med feilanalyse, sårbarhetsanalyse og risikoanalyse og dermed bidra til økt leveringssikkerhet for fremtiden.

Innhold

1. INNLEDNING	1
1.1 Bakgrunn	1
1.2 Problemstilling	4
1.3 Formål	4
1.4 Begrensninger.....	5
2. OM FEILSTATISTIKK	5
2.1 Forankring i Energiloven	5
2.2 Innrapportering i FASIT	5
2.2.1 FASIT-database.....	7
2.2.2 Nettselskapenes nytte og bruk av feilstatistikk	7
2.3 Beregning av feilrater.....	8
3. NETTSELSKAPENES RAMMEVILKÅR	8
3.1 Kostnadsnormen.....	8
3.2 GIS-analyse for å finne selskapsspesifikke rammevilkår.....	10
3.3 Selskapsspesifikke geografiske rammevilkårsdata	12
3.4 Vurdering av sammenligningsgrunnlag	20
3.5 Sammenlignbare nettselskap	21
3.5.1 Alle rammevilkår.....	22
3.5.2 Sammenlignbarhet basert på ett og ett rammevilkår	23
4. KART SOM PRESENTASJONSVERKTØY	25
4.1 Kartografi	25
4.2 Muligheter	25
4.3 Styrker og svakheter.....	26
4.4 Eksisterende kartverktøy hos nettselskapene i dag	26
4.5 Visning av feilstatistikk.....	26
4.5.1 Geografiske data for Trønderenergi	27
4.5.2 Visning av feilrate i kart.....	28
4.6. Oppsett av GIS-dashbord	33
4.6.1 Søk etter sammenlignbare selskap	33
4.6.2 Hente ut feildata for sammenligning	34
5. RESULTAT: EGENUTVIKLET GIS FOR FEILSTATISTIKK	35
5.1 Brukergrensesnitt i dashbord.....	35
5.2 Statistikk i dashbord	37
5.2.1 Feilrate.....	37
5.2.2 Fordeling av feilrate over år i perioden	38
5.2.3 Fordeling av feilrate over kvartal i perioden	38

5.2.4 Fordeling av feilrate over måneder i perioden	38
5.2.5 Fordeling av feilrate over ukedager i perioden	39
5.2.6 Fordeling av feilrate over døgnetts timer i perioden	39
5.3 Eksempel: TRØNDERENERGI	40
5.3.1 11-22 kV Kraftledning: Vegetasjon	40
5.3.2 11-22 kV Kraftledning: Vind	42
5.3.3 11-22 kV Kraftledning: Fugl/dyr	44
5.3.4 11-22 kV Kraftledning: Tordenvær.....	45
5.3.5 11-22 kV Kabel: Aldring.....	48
5.3.6 1-22 kV Transformator: Tordenvær	49
5.4 Eksempel: TINN ENERGI.....	51
5.4.1 11-22 kV Kraftledning: Vegetasjon	52
5.5 Eksempel: SUNNFJORD ENERGI	53
5.5.1 11-22 kV Kraftledning: Vegetasjon	54
5.5.2 11-22 kV Kraftledning: Vind	55
5.5.3 11-22 kV Kraftledning: Is/snø.....	56
5.5.4 11-22 kV Kraftledning: Tordenvær.....	58
5.5.5 11-22 kV Kabel: Alle årsaker.....	60
5.5.6 1-22 kV Transformator: Tordenvær	61
6. DISKUSJON	63
6.1 Vurdering av brukervennlighet	63
6.2 Praktisk nytte av denne type feilstatistikkvisning	66
6.3 Vurdering av verdien til feil med koordinater.....	67
6.3.1 Vind.....	68
6.3.2 Lyn	68
6.3.3 Topografi.....	70
6.3.4 Teledybde og vannmetning	70
6.3.5 Flyfoto	72
6.4 Framtidige muligheter i koblingen til geografi	73
7. KONKLUSJON	75
8. VEDLEGG	76
9. Referanser.....	103

Figurer og tabeller:

Figur 1: GIS kan levere data til et større publikum. [2]	1
Figur 2: GIS kan trekke data nærmere beslutningsprosesser [2].	2
Figur 3: Eksempel på presentasjon av statistikk hentet fra Årsstatistikk 2015 33-420 kV. [3].	2
Figur 4: Utsnitt av kartvisning for feilstatistikk med Trønderenergi AS som referanse (grønn farge med markert sort strek). Feilstatistikk fra potensielt gode konsesjonærer for sammenligning vises også. [4]	3
Figur 5: Utvalgte diagrammer som løsningen kunne vise. Her vises blant annet antall feil hos selskapene i tillegg til fordelinger over tid, på anleggsdel, feilbeskrivelse og årsak. [4].....	3
Figur 6: Figuren viser ruteposisjon for kartlegging av geografiske rammevilkår.....	11
Figur 7: Illustrasjon av hvordan GIS-analyse blir utført hos NVE [11].....	11
Figur 8: Eksempel for å illustrere hvordan et mediannettselskap ble valgt ut.	21
Figur 9: Kart som viser sammenlignbarhet for medianselskapet. (KRAGERØ ENERGI AS)22	
Figur 10: Sammenligning med prosjektoppgaven (til venstre). I den nye visningen til høyre er feildataen plassert samlet pr konsesjonær. Fargene (sammenlignbarhet i forhold til Trønderenergi) har også endret seg. Dette kommer av at tall for inntektsramme 2017 ble brukt, i motsetning til i prosjektoppgaven som brukte tall fra 2016.	27
Figur 11: Posisjonerte feil hos Trønderenergi i perioden 2008-2017 representert som punkter.	27
Figur 12: Sammenligning av feilrate på kraftledning med Trønderenergi som referanse.	29
Figur 13: Sammenligning av feilrate på kabel med Trønderenergi som referanse.	30
Figur 14: Sammenligning av feilrate på transformator med Trønderenergi som referanse.	31
Figur 15: Feilrate for transformator sammenlignet med landsgjennomsnitt.....	32
Figur 16: Oppsett av nytt dashboard i oppgaven med fokus på sammenligning av selskaper. .	33
Figur 17: Stegvis prosedyre for å finne sammenlignbart selskap ved spørring i rammevilkårsdata.	33
Figur 18: Stegvis gjennomgang av hvordan man laster inn feildata i dashboardet.	34
Figur 19: Sammenligning feilstatistikk på 11-22 kV kraftledning hos Trønderenergi og et annet nettselskap. Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er det er det nettselskapet som brukeren har valgt å sammenligne med.....	35
Figur 20: Kartet til venstre viser grad av sammenlignbarhet i forhold til Trønderenergi der alle rammevilkår inngår. Til høyre vises resultat av spørring der rammevilkåret "Barskog" er prioritert. Selskaper med blått omriss er sammenlignbare i forhold til Trønderenergi dersom man kun ser denne faktoren.....	35
Figur 21: Meny der brukeren kan velge blant ulike faktorer for å finne et nettselskap egnet for sammenligning. Her har kun rammevilkåret "Barskog" fått prioritet.	36
Figur 22: Kart til venstre viser feil på kraftledning, mens feil på kabel er vist til høyre. De ulike geografiske fordelingene av feil kommer av at kabel er mer brukt i byer som Trondheim enn i distriktene.	37
Figur 23: Sammenligning av feilrate for perioden 2009-2016. (Y-akse: antall feil/100km) ...	37
Figur 24: Sammenligning av fordelt 2009-2016-feilrate over år. (Y-akse: antall feil/100km)	38
Figur 25: Sammenligning av fordelt 2009-2016-feilrate for kvartal. (Y-akse: antall feil/100km).....	38
Figur 26: Sammenligning av fordelt 2009-2016-feilrate for måned. (Y-akse: antall feil/100km).....	38
Figur 27: Sammenligning av fordelt 2009-2016-feilrate for ukedag. (Y-akse: antall feil/100km).....	39
Figur 28: Sammenligning av fordelt 2009-2016-feilrate for time. (Y-akse: antall feil/100km)	39
Figur 29: Rangert liste over topp ti sammenlignbare nettselskap for Trønderenergi.....	40

Figur 30: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på kraftledning med utløsende årsak "vegetasjon".	40
Figur 31: Utbredelse av feil som følge av vegetasjon hos Trønderenergi.	41
Figur 32: Sammenligning av feilrate for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vegetasjon" i perioden 2009-2016. Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Helgeland Kraft.	41
Figur 33: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vegetasjon". Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Helgeland Kraft.	42
Figur 34: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på kraftledning med utløsende årsak "vind".	42
Figur 35: De fleste varige feil som følge av vind skjer ute ved kysten, eller i et vindutsatt område sør for Trondheim.	43
Figur 36: Sammenligning av feilrate for varige feil på 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vind" i perioden 2009-2016. Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Lyse Elnett.	43
Figur 37: Sammenligning av fordelt feilrate over kvartal i perioden (2009-2016) for varige feil på 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vind". Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Lyse Elnett.	43
Figur 38: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for varige feil på 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vind". Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Lyse Elnett.	44
Figur 39: Posisjon til feil som følge av fugl/dyr hos Trønderenergi.	44
Figur 40: Sammenligning av feilrate for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "fugl/dyr" i perioden 2009-2016. Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Helgeland Kraft.	44
Figur 41: Sammenligning av fordelt feilrate utover måned i perioden (2009-2016) for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "fugl/dyr". Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Helgeland Kraft.	45
Figur 42: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på kraftledning med utløsende årsak "tordenvær".	45
Figur 43: Kart som viser posisjonerte feil hos Trønderenergi med utløsende årsak "tordenvær".	46
Figur 44: Sammenligning av feilrate for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "tordenvær" i perioden 2009-2016. Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Helgeland Kraft.	46
Figur 45: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "tordenvær". Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Helgeland Kraft.	46
Figur 46: Sammenligning av fordelt feilrate utover måneder i perioden (2009-2016) for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "tordenvær". Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Helgeland Kraft.	47
Figur 47: Sammenligning av fordelt feilrate utover timer i perioden (2009-2016) for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "tordenvær" i perioden 2009-2016. Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Helgeland Kraft.	47
Figur 48: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på kabel med utløsende årsak "aldring".	48
Figur 49: Geografisk posisjon på feil hos Trønderenergi på 11-22 kV jordkabel.	48
Figur 50: Sammenligning av feilrate for 11-22kV kabel der utløsende årsak er "aldring" i perioden 2009-2016. Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Mørenett.	49

Figur 51: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for 11-22kV kabel der utløsende årsak er "aldring". Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Mørenett.	49
Figur 52: Sammenligning av fordelt feilrate over kvartal i perioden (2009-2016) for 11-22kV kabel der utløsende årsak er "aldring". Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Mørenett.	49
Figur 53: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på transformator med utløsende årsak "tordenvær".	50
Figur 54: GPS-plasserte feil på transformator som følge av tordenvær hos Trønderenergi. ...	50
Figur 55: Sammenligning av feilrate for 11-22kV transformator der utløsende årsak er "tordenvær" i perioden 2009-2016. Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Lyse Elnett.	51
Figur 56: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for 11-22kV transformator der utløsende årsak er "tordenvær". Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Lyse Elnett.	51
Figur 57: Rangert liste over topp ti sammenlignbare nettselskap for Tinn Energi.	51
Figur 58: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på kraftledning med utløsende årsak "vegetasjon".	52
Figur 59: Sammenligning av feilrate for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vegetasjon" i perioden 2009-2016. Selskap A er Tinn Energi, mens selskap B er Hallingdal Kraft.	52
Figur 60: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vegetasjon". Selskap A er Tinn Energi, mens selskap B er Hallingdal Kraft.	53
Figur 61: Rangert liste over topp ti sammenlignbare nettselskap for Sunnfjord Energi.	53
Figur 62: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på kraftledning med utløsende årsak "vegetasjon".	54
Figur 63: Sammenligning av feilrate for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vegetasjon" i perioden 2009-2016. Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er Istad Nett.	54
Figur 64: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vegetasjon". Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er Istad Nett.	55
Figur 65: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på kraftledning med utløsende årsak "vind".	55
Figur 66: Sammenligning av feilrate for varige feil på 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vind" i perioden 2009-2016. Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er Nordlandsnett.	55
Figur 67: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for varige feil på 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vind". Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er Nordlandsnett.	56
Figur 68: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på kraftledning med utløsende årsak "snø/is".	56
Figur 69: Sammenligning av feilrate for varige feil på 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er " snø/is " i perioden 2009-2016. Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er Mørenett.	57
Figur 70: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for varige feil på 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "snø/is". Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er Mørenett.	57

Figur 71: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på kraftledning med utløsende årsak "tordenvær".	58
Figur 72: Konesjonærområdet til SFE Nett ligger rett nord for Sunnfjord Energi.	58
Figur 73: Sammenligning av feilrate for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "tordenvær" i perioden 2009-2016. Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er SFE Nett.	59
Figur 74: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "tordenvær". Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er SFE Nett.	59
Figur 75: Sammenligning av fordelt feilrate utover måneder i perioden (2009-2016) for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "tordenvær". Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er SFE Nett.	59
Figur 76: Sammenligning av feilrate for 11-22kV kabel i perioden 2009-2016. Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er SFE Nett.	60
Figur 77: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for 11-22kV kabel der utløsende årsak er "aldring". Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er SFE Nett.	60
Figur 78: Feilårsaker i analyse av feilstatistikk på kabel.	60
Figur 79: Sammenligning av fordelt feilrate utover timer i perioden (2009-2016) for 11-22kV kabel. Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er SFE Nett	61
Figur 80: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på transformator med utløsende årsak "tordenvær".	61
Figur 81: Konesjonærområder til Sognekraft ligger like i nærheten av Sunnfjord Energi. ...	61
Figur 82: Sammenligning av feilrate for 11-22kV transformator der utløsende årsak er "tordenvær" i perioden 2009-2016. Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er Sognekraft.	62
Figur 83: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for 11-22kV transformator der utløsende årsak er "tordenvær". Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er Sognekraft.	62
Figur 84: Sammenligning av fordelt feilrate utover måneder i perioden (2009-2016) for 11-22kV transformator der utløsende årsak er "tordenvær". Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er Sognekraft.	62
Figur 85: Illustrasjon av datarelasjon internt i løsningen som vil være nødvendig for å skape bedre brukergrensesnitt. Svarte prikker er enkeltfeil, mens et konesjonærområde er vist i grønt.	63
Figur 86: Forslag til bedre grafikk for å finne sammenlignbart nettselskap fra rammevilkårsdata.	63
Figur 87: Kart som viser geografiske feildata fra Trønderenergi.	64
Figur 88: Diagrammer der Selskap A har fått en rød farge, mens Selskap B er blå. Dette tydeliggjør at man ser på en sammenligning mellom to selskaper.	65
Figur 89: Forslag til fremtidig sammenlignbarhetsvisning av feilstatistikk i dashbord. Her antas det at noen datatekniske utfordringer vil kunne løses.	65
Figur 90: Kart som viser antall feil innenfor ruter på 2,2 x 2,2 km.	66
Figur 91: Eksempel på kartvisning som viser sårbarhet for linjer og stasjoner.	67
Figur 92: Vindkart fra Kjeller Vindteknikk som viser vindstyrke og vindretning under stormene Dagmar (til venstre) og Tor (til høyre). [19]	68
Figur 93: Kartet til venstre viser at det er flest lyn på Østlandet. Kartet til høyre forteller at kraftigste lynene skjer i områder der det lyner sjeldnere [21].	69
Figur 94: Kart som viser hvor i Norden det lyner mest. Forskjellige fargeskalaer får fram ulike geografiske variasjoner [23].	69

Figur 95: Illustrasjon som beskriver hvordan horisont for feilsted kan analyseres. [22].....	70
Figur 96: Tele under stormen Dagmar sammenlignet med tele under Tor. [19].....	71
Figur 97: Vannmetning under Dagmar sammenlignet med vannmetning under Tor. (Mindre lokale forskjeller) [19].....	71
Figur 98: Flyfoto over område der fire kraftledninger møtes.	72
Figur 99: Forslag til hvordan analyser av feildata kan gjøres i fremtiden dersom flere feil stedefestes.	73
Figur 100: Feilsannsynlighet, beregnet ut fra vindhastighet fra Kjeller Vindteknikk og segmentlengder på kraftledning, er vist i sort, mens rødt indikerer tidspunkt hvor feil har skjedd [20].....	74
Tabell 1: Tabell som forklarer viktige begreper knyttet til feilstatistikk.	6
Tabell 2: Beskrivelse av variablene som inngår i Formel 3. Indeks "t" står for årstall.....	9
Tabell 3: Beskrivelse av variablene som inngår i Formel 4. Indeks "t" står for årstall.....	9
Tabell 4: Viktige variabler som inngår i Formel 5. Indeks "t" står for årstall.....	10
Tabell 5: Tabell som viser grenser for sammenlignbarhet. Valget av grensene er gjort ved inspeksjon av kart i Figur 9.	23
Tabell 6: Tabell som viser nivåer for sammenlignbarhet for analyse av hvert enkelt rammevilkår. Grenseverdiene ble satt ut fra kart vist i Vedlegg 3, Vedlegg 4, Vedlegg 5, Vedlegg 6, Vedlegg 7, Vedlegg 8, Vedlegg 9, Vedlegg 10, Vedlegg 11, Vedlegg 12, Vedlegg 13, Vedlegg 14, Vedlegg 15, Vedlegg 16, Vedlegg 17 og Vedlegg 18.	23

Vedlegg:

Vedlegg 1: Side 1 av FASIT-skjema.....	76
Vedlegg 2: Side 2 av FASIT-skjema.....	77
Vedlegg 3: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Antall km høyspent nett".....	79
Vedlegg 4: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Antall stasjoner".....	80
Vedlegg 5: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Andel høyspent jordkabel".....	81
Vedlegg 6: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Barskog"....	82
Vedlegg 7: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Installert ytelse småkraft".....	83
Vedlegg 8: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Helning". ...	84
Vedlegg 9: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Løvsskog"....	85
Vedlegg 10: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Antall forsynte øyer".....	86
Vedlegg 11: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Vind".	87
Vedlegg 12: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Avstand til kyst".....	88
Vedlegg 13: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Kystklima".	89
Vedlegg 14: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Andel høyspent sjøkabel".....	90
Vedlegg 15: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Breddegrad".	91
Vedlegg 16: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Islast".....	92

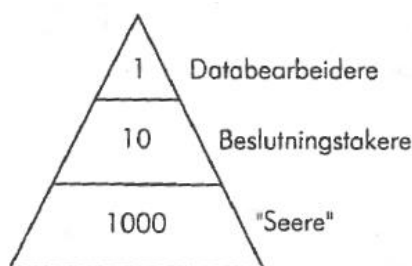
Vedlegg 17: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Snødybde".	93
Vedlegg 18: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Temperatur".	94
Vedlegg 19: Antall km kraftledning for spenningsnivå fra 1 til 11 kV og fra og med 11 til og med 22kV. Dataene er hentet fra teknisk økonomisk rapportering (eRapp) [8]. Tallene er nettdata for 2015 multiplisert med antall år i perioden 2009-2016 (7 år).	95
Vedlegg 20: Antall km jordkabel for spenningsnivå fra 1 til 11 kV og fra og med 11 til og med 22kV. Dataene er hentet fra teknisk økonomisk rapportering (eRapp) [1]. Tallene er nettdata for 2015 multiplisert med antall år i perioden 2009-2016 (8 år).	97
Vedlegg 21: Antall km sjøkabel for spenningsnivå fra 1 til 11 kV og fra og med 11 til og med 22kV. Dataene er hentet fra teknisk økonomisk rapportering (eRapp) [1]. Tallene er nettdata for 2015 multiplisert med antall år i perioden 2014-2016 (3 år).	99
Vedlegg 22: Antall transformator for spenningsnivå fra 1 til og med 22 kV. Dataene er hentet fra teknisk økonomisk rapportering (eRapp) [1]. Tallene er nettdata for 2015 multiplisert med antall år i perioden 2009-2016 (8 år).	101

1. INNLEDNING

1.1 Bakgrunn

Ut fra Energiloven er norske nettselskaper forpliktet til å opptre samfunnsmessig rasjonelt [1]. Dette krever god planlegging og gode systemer for informasjonsutveksling. Siden nettselskapene har monopol på all drift og bygging innenfor sitt område, har man ikke nødvendigvis noe naturlig insentiv til å søke nye og mer økonomiske løsninger som man har i konkurranseutsatte selskaper. I 2001 innførte man KILE-ordningen¹ for å motivere selskapene til å utvikle en mer samfunnsøkonomisk rasjonell drift, der også samfunnsøkonomiske kostnader knyttet til avbrudd i strømforsyningen hensyntas. Dette systemet har vært endret ved flere anledninger ettersom man fikk bedre kunnskap om hvordan reguleringen påvirket markedet. Dagens system skal premiere nettselskaper med best leveringspålitelighet og minst avbrudd, og gi disse en ekstra inntekt. Nettselskapene må selv analysere seg frem til egne forbedringspotensialer. Det er derfor nærliggende å anta at systemer for utveksling av informasjon og erfaring er etterspurt i nettselskapene.

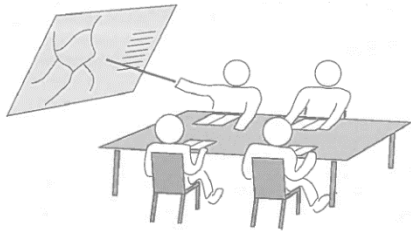
De siste årene har det vært en rivende utvikling av datateknologi. Bedre ytelser har gjort at man i dag kan gjøre mer avanserte analyser enn tidligere. I søken etter økt effektivitet vil det være viktig å kunne ta i bruk ny teknologi. Struktureringen av markedet gjennom tildeling av områdekonsesjon til nettselskapene kobler virksomheten opp mot geografi. Av den grunn kan det hevdes at GIS² burde være en naturlig del av selskapenes arbeidshverdag, siden GIS binder sammen menneskelig kunnskap og erfaring med geografiske data. Fordelen av å kunne vise data i kart sammenlignet med annen grafikk er at kart lettere når ut til et stort publikum som illustrert i Figur 1. GIS kan også bidra til å trekke statistikk og data inn i planleggings- og beslutningsprosesser. Dette er illustrert i Figur 2. Undersøkelser fra 50-60 virksomheter rundt om i verden har også vist at riktig bruk av GIS kan ha et nytte-kostnadsforhold på 4:1. Spesielt hvis informasjon skal deles mellom mange brukergrupper i samfunnet [2].



Figur 1: GIS kan levere data til et større publikum. [2]

¹ KILE står for kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi. Dersom avbrudd skjer må nettselskapet bokføre en avbruddskostnad ved at tjenesten ble utilgjengelig for sluttbruker.

² GIS står for geografisk informasjonssystem.

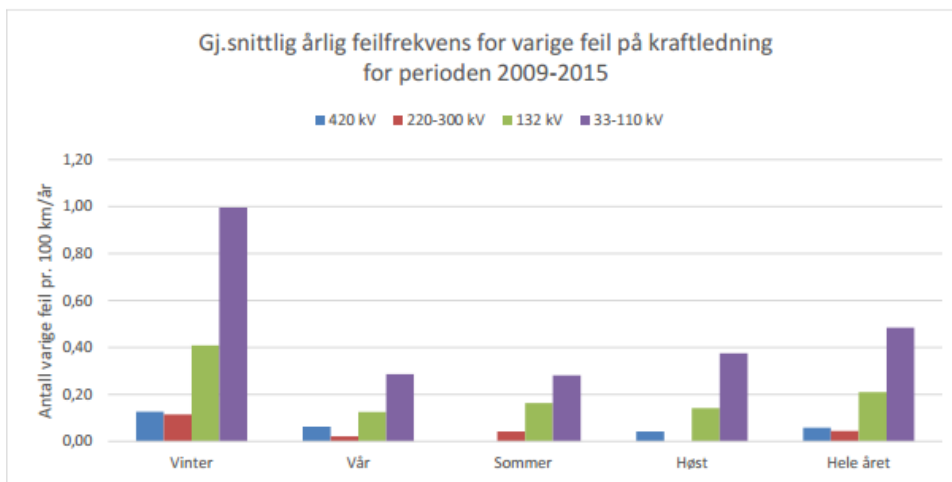


Figur 2: GIS kan trekke data nærmere beslutningsprosesser [2].

I Norge har man i lang tid samlet inn data om feil i kraftsystemet. Allerede i 1932 startet man innsamling gjennom Samkjøringen som var en sammenslutning av norske kraftverk, delt i ulike geografiske områder som var nettmessig sammenkoblet. For å utnytte fordelene med kraftutveksling var det viktig å kunne koordinere vern på overføringslinjene. Denne aktiviteten utviklet seg gradvis til dagens system for å analysere feil og å føre statistikk.

Rapporteringen skjer gjennom FASIT³ og er todelt. For feil i sentralnett, regionalnett eller høyspenning distribusjonsnett koordineres arbeidet av Statnett SF. Denne todelingen fører også til at det utarbeides to ulike statistikker årlig, av henholdsvis Statnett SF og NVE. Feilstatistikken fra Statnett er "systemorientert". Det vil si at den tar for seg alle hendelser i nettet uavhengig av om sluttbruker blir berørt eller ikke. Statistikken fra NVE er "sluttbrukerorientert", og er derfor ment for nettkunder og øvrige samfunnsaktører [3].

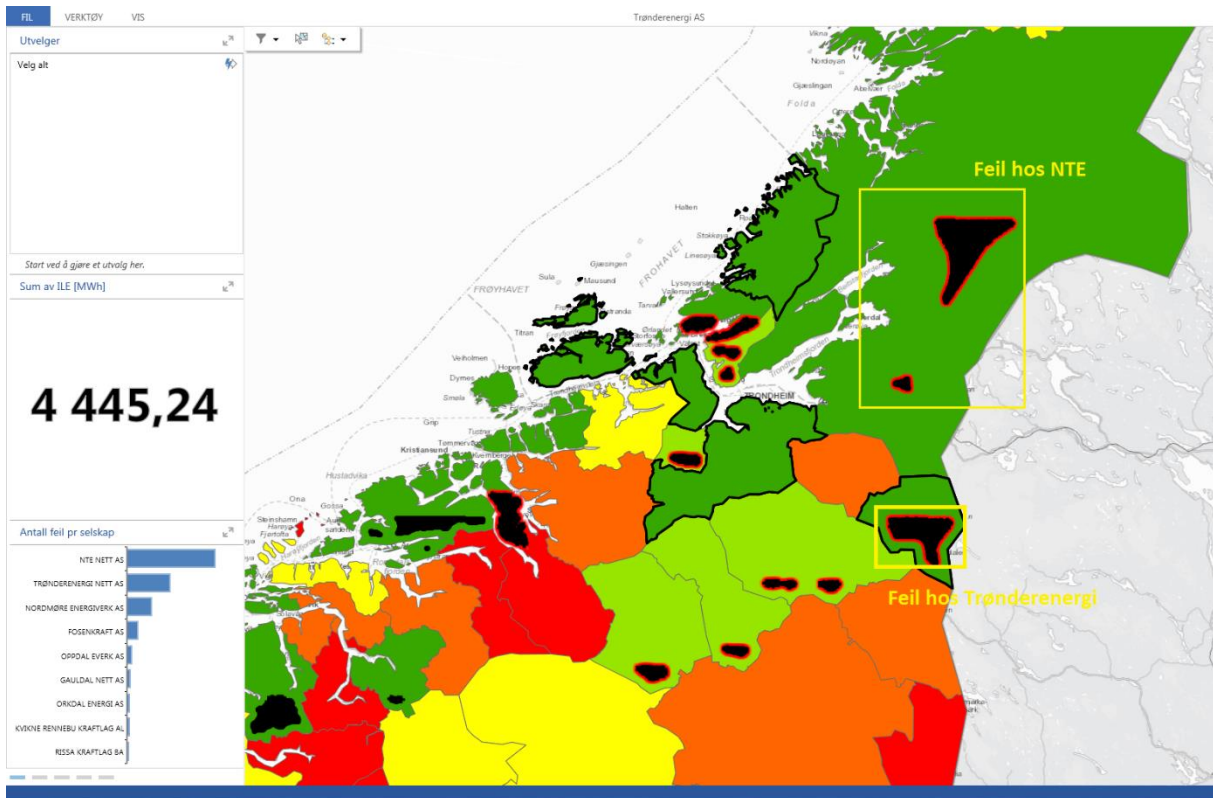
For Statnetts årsstatistikk på regional-/distribusjonsnett presenteres statistikken fordelt på spenningsnivå og årstider som vist i Figur 3. I denne statistikken blir også data om alle innrapporterte feil brukt til å finne feilrater for ulike komponenttyper som f.eks. kraftledning, transformator osv.



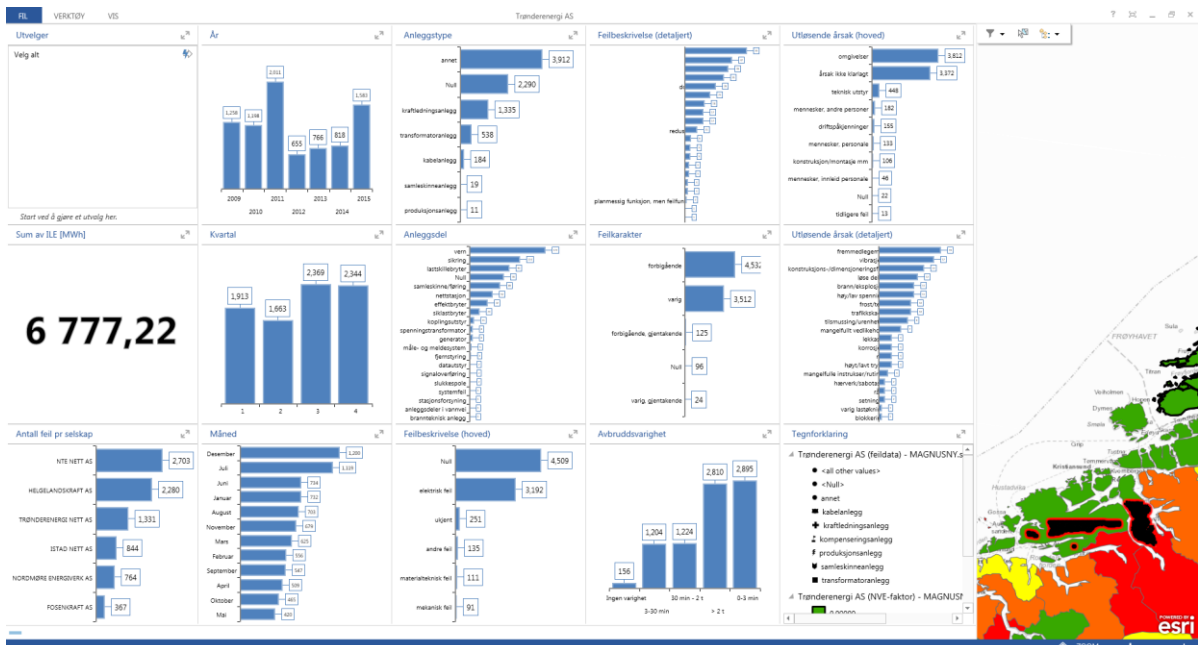
Figur 3: Eksempel på presentasjon av statistikk hentet fra Årsstatistikk 2015 33-420 kV. [3]

Tidligere arbeid [4] har vist at presentasjon av feilstatistikk i kart kan tilby interessenter en mer fleksibel og detaljert statistikk ned på konsesjonærnivå. Skjermbildene i Figur 4 og Figur 5 viser et eksempel på hvordan man ved hjelp av verktøyet ArcGIS kan få fram dette på en innovativ og brukervennlig måte. For en mer detaljert beskrivelse vises det til prosjektoppgaven "Presentasjon av feilstatistikk i kart" [4].

³ FASIT står for "Feil og avbrudd i kraftsystemet" og er et standardisert rapporteringssystem som brukes av nettselskaper og Statnett.



Figur 4: Utsnitt av kartvisning for feilstatistikk med Trønderenergi AS som referanse (grønn farge med markert sort strek). Feilstatistikk fra potensielt gode konsesjonærer for sammenligning vises også. [4]



Figur 5: Utvalgte diagrammer som løsningen kunne vise. Her vises blant annet antall feil hos selskapene i tillegg til fordelinger over tid, på anleggsdel, feilbeskrivelse og årsak. [4]

1.2 Problemstilling

Feilstatistikk presenteres i dag for hele Norge under ett, og det er foreløpig ikke tatt i bruk geografisk lokalisering til å vise forskjeller på konsesjonærnivå. Det har med dagens verktøy ikke vært mulig å produsere slike statistikker i stort omfang. Ved å ta i bruk kartverktøy og GIS har man muligheter til å skreddersy utvalg for statistikkproduksjon raskere enn før. Det er i stor grad enighet om at bedre bruk av feildata er viktig for å ta de beste avgjørelsene om tiltak i kraftsystemet.

Dårlige systemer for informasjonsutveksling vanskeliggjør analyser av feildata for nettselskaper som ønsker å bedre sin leveringspålitelighet og forsyningssikkerhet. Det har ikke vært prøvd ut om GIS kan øke verdien av feildata ved økt kommunikasjon mellom selskapene. I tillegg til bedre kommunikasjon kan et slikt system ha andre positive effekter som økt forståelse i bransjen på de forhold som påvirker feil og feilrater.

Sammenligning av feilstatistikk på selskapsnivå er en utfordrende oppgave i dag, fordi nettet, geografien og klimaet varierer. En mulig løsning for å overkomme dette problemet ble testet i prosjektoppgaven [4]. Resultatet av denne antyder at det kan være en sammenheng mellom feilstatistikk og data kartlagt i NVE's kostnadsnormberegning⁴.

Mer kunnskap om sammenhengen mellom geografi og feilstatistikk kan potensielt ha høy nytteverdi. Med gode systemer for utveksling av slik informasjon vil man sannsynligvis kunne oppnå kostnadsreduksjoner.

Å lage brukervennlige datasystemer er en vanskelig oppgave. For å sikre anvendelighet er man nødt til å se på behovet fra brukerne. En god GIS-løsning har et intuitiv brukergrensesnitt og tar i bruk forenklinger for å få fram hovedbudskapet. Systemet må være responsivt nok til at brukeren ikke tror det er noe galt. For å tilfredsstille et slikt krav bør det ikke ta mer enn 1/10 av et sekund fra brukeren spør til svaret foreligger [2].

1.3 Formål

I denne masteroppgaven skal det først settes opp en god intuitiv visning for feilstatistikken hos en enkelt konsesjonær. Systemet bør være såpass brukervennlig at de som analyserer data om feil og avbrudd enkelt vil kunne lete opp den informasjonen de søker. Deretter skal det etableres et interaktivt kart hvor markering av nettselskapets konsesjonsområde medfører automatisk utfylling av diagrammer med feilstatistikk. Det skal være mulig å gjøre utvalg basert på anleggsdel, feilbeskrivelse og feilårsak.

Når statistikken for enkeltkonsesjonærer vises på en tilfredsstillende måte, vil dette videre brukes til å se på hvordan denne kan sammenlignes med statistikk hos andre konsesjonærer. Metoden som vil bli benyttet for dette, vil være den samme som ble brukt i [4]. Alle datakilder for dette arbeidet ble dokumentert.

I den resterende delen av a vil de to delene av oppgaven settes sammen på en best mulig måte, i samarbeid med en konsesjonær. Målsetningen vil være å lage en visning av feilstatistikk for ulike anvendelser hos konsesjonærer.

⁴ Kostnadsnormen beregnes av NVE for å justere selskapenes inntektsramme.

1.4 Begrensninger

Resultatet i oppgaven begrenses mye av de restriksjoner som allerede finnes i dagens verktøy og egen kunnskap om GIS. Selv om prinsippene i GIS er lette å forstå, er bruken av GIS-verktøyet tidkrevende og komplisert og krever mye erfaring. Den største begrensningen for å få full utnyttelse av GIS er å lære seg GIS programmeringsspråket. Selv om det finnes mange forprogrammerte rutiner vil man i mange tilfeller måtte programmere selv underveis. Sist men ikke minst det er mangel på GIS-kunnskap i nettsektoren, og nytten av GIS ville blitt langt større om man kan implementere GIS allerede i planleggingsfasen. Siden feilstatistikken fra FASIT kommer på et spesifikt format vil dette begrense mulighetene man har til å vise statistikk. Oppgaven fokuserer på hvordan man kan utnytte rådata fra FASIT uten å gjøre store bearbejninger av datamateriale før det overføres til GIS.

For å finne grunnlag for sammenligning benyttes tall fra NVE's inntektsrammeberegning for 2017. Denne omfatter 115 norske nettselskaper. Det finnes flere nettselskaper som derfor ikke blir tatt med i oppgaven. Bakgrunnen for at disse har blitt utelatt fra NVE sine analyser er at de opererer under svært spesielle betingelser og derfor er lite sammenlignbare.

2. OM FEILSTATISTIKK

2.1 Forankring i Energiloven

Dagens registreringssystem for feil og avbrudd er lovpålagt i henhold til Energiloven og beskrevet i forskrift om leveringskvalitet. Her blir FASIT definert som:

"FASIT: Et standardisert registrerings- og rapporteringssystem (med egen kravspesifikasjon) for feil og avbrudd i kraftsystemet. FASIT omfatter en felles terminologi, strukturering og klassifisering av data, felles opptellingsregler m.m." [5]

Under § 2A-1 blir alle nettselskaper pålagt å bruke dette systemet:

"Nettselskap skal benytte programvare som følger gjeldende kravspesifikasjon for FASIT, ved registrering og rapportering av data i henhold til første og annet ledd." [5]

En kravspesifikasjon er en rapport som gir en detaljert beskrivelse av kravene til programvaren. Det utgår fra denne hva som kan/må registreres. Man har i dag en inndeling på rapporteringen over spenningsnivå. Det vil si at man har ulike skjema for utfylling for hendelser i Lavspenningsdistribusjonsnett (≤ 1 kV), Høyspenningsdistribusjonsnett (1-22 kV) og Regionalnett og sentralnett (≥ 33 kV). De tre skjemane har mange likhetstrekk. Det som i hovedsak varierer er hva som pålegges å rapportere og hva som er valgfritt å rapportere.

2.2 Innrapportering i FASIT

FASIT-skjemaet for rapportering av hendelser i 1-22kV er vist i Vedlegg 1 og Vedlegg 2. Her skal alle opplysningene som innhentes i forbindelse med driftsforstyrrelser registreres. Øverst på side 1 skal man beskrive og klassifisere hendelsen. Denne informasjonen gjør det mulig å gå tilbake i tid og finne ut hva som skjedde. Spesielt informasjon under "Hendelsesforløp" er av viktighet her. Ulike tidsvarigheter kan avdekke mulige forbedringspotensialer i feilrettingen. Det er krav om at man minst skal spesifisere bryterkoblingene "Første bryterfall", "Drift gjenopprettet" og "Siste sluttbruker innkoplet". Hvis hendelsen førte til avbrudd for sluttbrukere må det leveres inn "Måleverdier til kalibrering" nederst på siden. Dersom det har vært en driftsforstyrrelse eller en planlagt utkobling med reparasjon i konsesjonærens anlegg skal side 2 fylles ut. Det er dette skjemaet som i hovedsak benyttes for å produsere feilstatistikk. Helt øverst skal konsesjonæren stedfeste feilen. Stedfesting kan skje

både ved beskrivende tekst og koordinater. Det er mest vanlig idag å kun rapportere inn feilstedet som fritekst siden koordinater foreløpig er valgfritt. Under "Anleggsdel med feil" får man et bilde på hiarkiet over mulige komponenter med feil som kan brukes for å lage detaljerte statistikker. Nedenfor følger en liste med definisjoner som er nyttige for å forstå rapporteringen i FASIT-skjema og feilstatistikken den leverer.

Tabell 1: Tabell som forklarer viktige begreper knyttet til feilstatistikk.

Egenskap	Betydning
Anleggsdel med feil	Anleggsdel med feil gjør det mulig å skille mellom feil på komponenter med ulik oppgave. Viktig for beregning av feilrater.
Feilnummer	Feilnummeret angir rekkefølgen på feilene under en driftsforstyrrelse. For feil på konsesjonærens eget anlegg brukes positive tall 1,2,3 ... Feilnummer 0 brukes for andre typer hendelser enn driftsforstyrrelser. Dersom en hendelsen intraff hos en annen konsesjonær brukes negative tall -1,-2,-3 for å rapportere konsekvenser i eget nett.
Feilkarakter	Posten feilkarakter brukes for å skille mellom varige og forbigående feil. Denne er viktig for å skille mellom konsekvensfri feil som blir klarert med automatikk og f eks havari av komponent.
Systemjording	Hvordan strøm og spenning utarter seg under feil er ofte avhengig av type jording. Jordingstypene er standardiserte og derfor sammenlignbare for de ulike konsesjonærene.
Feil oppdaget ved	Hvordan feil oppdages hos konsesjonærene sier noe om hvor gode rutiner og hvor mye arbeid de legger i å forebygge fremtidige feil. Høy andel av feil oppdaget ved vedlikehold vil være mer positivt enn bryterfall/sikringsbrudd.
Reperasjonsart og tid ved varige feil	Konsesjonærene kan ha varierende prosedyrer knyttet til feilretting. Denne posten gir mulighet til sammenligning av samme type reparasjonsarbeid og kan avdekke mulige forbedringer i f eks planlegging.
Feilbeskrivelse	Forteller hva som gikk galt på feilstedet. Denne informasjonen er interessant i forbindelse med f eks avgjørelser i forbindelse med kjøp av nye komponenter. Ulike fabrikanter kan ha ulike svakheter produktene sine.
Utløsende årsak	Kan avdekke om man har forberedt seg godt nok og gjort nødvendig vedlikehold.
Bakenforliggende/ medvirkende årsak	Ytterligere beskrivelse av årsaken.

Etter at skjema i Vedlegg 1 og Vedlegg 2 er fylt ut sendes det elektronisk til Statnett som gjennomgår rapporten før den eventuelt blir godkjent. Alle godkjente rapporter lagres her i en felles FASIT-database.

2.2.1 FASIT-database

Siden FASIT-arbeidet er omfattende og kunnskapskrevende trengs det gode IKT-systemer for å lagre dataene. Det er derfor laget et eget databasesystem for å håndtere dette. FASIT-databasen er en relasjonsdatabase. Det vil si at data blir strukturert på mange ulike tabeller og at programvaren "sammenstiller" data for brukeren ved å trekke ut data knyttet til en intern nøkkel. De viktigste nøklene i FASIT-databasen er rapportnummeret og feilnummeret. Denne måten å lagre data på hindrer dobbeltlagring, som er en viktig problemstilling i databaseutvikling. Når data lagres på denne måten blir den lettlest for datamaskiner, men for mennesker vil det bli oppfattet som veldig upraktisk å flytte seg mellom tabellene for å finne opplysninger fra den samme hendelsen.

Den minste enheten i FASIT-databasen er "en feil". Litt avhengig av hva man interesserer seg for kan denne også være "en driftsforstyrrelse". En feil eller en driftsforstyrrelse er ikke en romlig ting, men snarere en type hendelse.

Når data hentes fra FASIT-programvare for statistikkproduksjon leveres dataene i en excelfil. Her blir dataene som tidligere lå lagret i flere tabeller satt sammen på til en lesbar tabell. Datamaskiner klarer ikke å søke i data like fort når denne lagringsformen benyttes. Det er derfor store Excel-filer blir "hakkete".

2.2.2 Nettselskapenes nytte og bruk av feilstatistikk

I denne oppgaven ble konsesjonærenes interesse av feilstatistikk fra FASIT undersøkt. Trønderenergi ble brukt som modell, og det ble gjennomført flere møter for å diskutere dette. Undersøkelsen viste at nettselskapet i første rekke interesserer seg for de erfaringer man kan trekke fra feilstatistikken. Feilstatistikken i seg selv og hvordan eget selskap presterer i forhold til andre ble vurdert som mindre viktig.

FASIT-rapportering er en oppgave i nettselskapene som involverer flere yrkesgrupper. Det kan for eksempel være ansatte på driftssentral, planleggere og montører. Ingen av disse gruppene er spesielt utdannet for å utføre FASIT-rapportering, men må følge lover og regler som krever dette. I en tidligere masteroppgave [6] blir FASIT-rapporteringen sterkt kritisert for å være tidkrevende og lite nyttig. En slik holdning kan henge sammen med for liten kunnskap om FASIT. Bakgrunnen for dette kan være at FASIT ikke ble obligatorisk i forskrift hos konsesjonærene før 2006, og at man fortsatt er i en tilvenningsperiode.

Etter møter med Trønderenergi kom det fram at feilrater er av større interessene enn antall feil eller mengde ikke levert energi. Feilrate er en relativ størrelse, noe som gjør at nettselskaper som er vidt forskjellige kan sammenlignes. For å finne feilraten til en anleggsdel hos et gitt nettselskap må man vite hvor mange anleggsdeler det er totalt. Dette er tidkrevende informasjon å hente inn, og oppdeling med forskjellige spenningsnivåer gjør det vanskeligere. Likevel er dette et problem som burde kunne løses med gode dataverktøy. Den beste kilden til nettdata for høyspent distribusjonsnett er i dag Teknisk økonomisk rapportering "eRapp" som er data NVE samler inn for å beregne nettselskapenes kapitalkostnader. Her finnes det data om antall km kraftledning og kabel fordelt på spenningsintervallene 1-11kV og 11-22kV. I tillegg finnes det tall for antall transformatorer i hele spenningsintervallet. Dette er kun en brøkdel av anleggsdelene som registreres gjennom FASIT (se Vedlegg 2). For å finne

nøyaktige feilrater må man vite antall km kraftledning som finnes pr spenningsnivå og ikke pr spenningsintervall. På grunn av standardisering vil spenningsnivået der feilen har skjedd fortelle mye om byggestandarden. Det å kunne sammenligne ulike entrepenører og leverandører av utstyr kan være av stor interesse [7].

De fleste nettselskapene bruker programvare som NetBas i sin daglige drift. I dette verktøyet digitaliseres all informasjon om eget anlegg. Her finnes informasjon om mange av anleggsdelene i FASIT. Det er dessverre en utfordring å hente ut informasjonen siden programvaren ikke har nok funksjonalitet for slike oppgaver. Mer bruk av GIS i framtiden kan bidra til å løse dette problemet.

2.3 Beregning av feilrater

Det ble etter diskusjon med Trønderenergi fokusert på at konsesjonærene kan ha større interesse for feilrater fremfor antall feil. For å finne feilrater pr 100 km/anleggsdel ble det hentet data fra teknisk økonomisk rapportering [8]. På NVE sine nettsider finnes nettdata for 2013, 2014 og 2015 tilgjengelig for alle. Det ble i oppgaven benyttet antall anleggsdeler for kraftledning, jordkabel, sjøkabel og transformator. For kraftledning og kabel var antallet fordelt på to spenningsnivå; et under 11 kV og et fra 11 til og med 22 kV. Denne oppdelingen kommer av måten NVE teller opp anleggsdeler i eRapp. Antall transformator gjelder for hele spenningsintervallet 1-22 kV.

Beregningen av feilrater i denne oppgaven ble gjort ved å bruke anleggsdata for 2015 for alle årene i perioden 2009-2016. Det vil si at det totale antallet anleggsdeler for perioden ble antatt å være som vist i Formel 1.

$$Antall\ anleggsdeler_{2009-2016} = 8 * Antall\ anleggsdeler_{2015}$$

Formel 1: Formel brukt for å finne antall anleggsdeler i perioden.

Verdier for beregnede $Antall\ anleggsdeler_{2009-2016}$ pr nettselskap er vist i Vedlegg 19, Vedlegg 20, Vedlegg 21 og Vedlegg 22. Feilrate ble regnet ut ved hjelp av Formel 2, dvs pr 100 km/anleggsdel.

$$Feilrate = \frac{100 * Antall\ feil_{2009-2016}}{Antall\ anleggsdeler_{2009-2016}}$$

Formel 2: Formel brukt for å finne feilrater for anleggsdeler.

Grunnen til at antall anleggsdeler for 2015 ble brukt for alle år var manglende tall for enkelte selskaper på grunn av mange sammenslåinger og navnebytter i perioden. Med denne metoden fant jeg en tilnærmet feilrate for alle de 115 nettselskapene i kostnadsnormen. Det presiseres at denne feilraten gjelder for tidsperioden; 2009 til 2016 (8 år).

Siden det ikke er pålagt for konsesjonærene å skille mellom jordkabel og sjøkabel for rapportering av feil i høyspent distribusjonsnett ble det kun funnet 55 feil i hele perioden registrert som sjøkabel. Datagrunnlaget på denne anleggsdelen ble derfor for lite til å beregne feilrater.

3. NETTSELKAPENES RAMMEVILKÅR

3.1 Kostnadsnormen

I 2001 ble det bestemt at selskapene skulle betale for avbrudd hos sluttbrukere som skyldtes feil i nettet. Hensikten med ordningen var at konsesjonærene skulle bli oppmuntret til å ha så lite avbrudd som mulig. Dette kapitlet er ikke nødvendig for å skjønne det som gjøres videre

i oppgaven, men er tatt med som tilleggsinformasjon for å gi et innblikk i hva rammevilkårsdata brukes til hos NVE.

Siden konsesjonærene driver naturlige monopoler er myndighetene interessert i å regulere markedet slik at de som driver optimalt vil få en større avkastning enn andre. NVE beregner årlig hvor mye hver konsesjonær har tillatelse til å tjene. Den modellen som brukes i dag kalles "Reguleringsmodellen" og ble innført i 2007. Denne modellen beregner den enkelte konsesjonær sin inntektsramme ut fra ligningen vist i Formel 3.

$$IR_t = (1 - \rho) \times K_t + \rho \times K_t^*$$

Formel 3: Formel for beregning av inntektsramme. Indeks "t" står for årstall.

Tabell 2: Beskrivelse av variablene som inngår i Formel 3. Indeks "t" står for årstall.

Symbol	Beskrivelse
K_t	Inflasjonsjusterte kostnadsgrunnlaget for det enkelte nettselskap.
K_t^*	Kostnadsnormen til selskapet (Sammenligningsanalyser)
ρ	Vekting mellom de to faktorene

Man kan se at inntektsrammeberegningen er en sum av to faktorer. Den første faktoren, kostnadsgrunnlaget (K_t), bestemmes ut fra:

$$K_t = (DV_{t-2} + KILE_{t-2}) \times \left(\frac{KPI_t}{KPI_{t-2}} \right) + NT_{t-2} \times P_t + AVS_{t-2} + AKG_{t-2} \times r_{NVE}$$

Formel 4: Formel for beregning av kostnadsgrunnlag. Indeks "t" står for årstall.

Tabell 3: Beskrivelse av variablene som inngår i Formel 4. Indeks "t" står for årstall.

Symbol	Beskrivelse
DV_{t-2}	Drifts- og vedlikeholdskostnader som inkluderer utbetalinger til kunder for svært lange avbrudd og individuelle KILE-avtaler.
$KILE_{t-2}$	KILE-beløp utenom det som knyttes til individuelle avtaler.
KPI_t	Konsumprisindeksen
NT_{t-2}	Overføringstap
P_t	Referansepris på kraft
AVS_{t-2}	Årlige avskrivninger
AKG_{t-2}	Avkastningsgrunnlag (inkludert 1% for arbeidskapital)
r_{NVE}	NVE's referanserente

Som man ser av Tabell 3 er alle variablene i Formel 4 knyttet til økonomi. Den andre faktoren, kostnadsnormen (K_t^*) bestemmes ut fra sammenligningsanalyser og tar i bruk faktorer knyttet til geografi og nettets oppbygging. Disse analysene følger en DEA-modell (dataomhyllingsanalyse) for å sette opp kostnadsnormen til hvert enkelt selskap. Denne

metoden er i korte trekk forklart i "Planleggingsbok for kraftnett" [9] som: *DEA-metoden sammenlikner hvert nettselskap med resten av bransjen, og nettselskap som har lav ressursinnsats i forhold til utførte tjenester brukes til å avsløre andres manglende effektivitet. Ved å vurdere det som leveres (produktaspekter) opp mot de innsatsfaktorer som brukes, kan man derfor studere effektivitet i en verdikjede uten å ha kjennskap til de prosessene som foregår innenfor bedriften.* [9]

Siden oppgaven skal handle om feilstatistikk og ikke økonomiske analyser går det ikke videre i detalj på denne metoden. Som avrundning av temaet vises beregningen for tillatt inntekt i Formel 5.

$$TI_t = IR_t + KON_t + E_t - KILE_t + (AVS_t - AVS_{t-2}) + (AKG_t - AKG_{t-2}) \times r_{NVE}$$

Formel 5: Beregning av tillatt inntekt. Indeks "t" står for årstall.

Tabell 4: Viktige variabler som inngår i Formel 5. Indeks "t" står for årstall.

Symbol	Beskrivelse
KON_t	Kostnader selskapet har i overliggende nett
E_t	Eiendomsskatt
IR_t	Inntektsramme
$KILE_t$	KILE-kostnader

Kort oppsummert er det er mange faktorer som påvirker den tillatte inntekten konsesjonæren kan ha. Kostnader knyttet til feil (KILE) inngår både i beregning av kostnadsgrunnlaget og tillatt inntekt. KILE-tall for to år tilbake inngår i Formel 4, mens årets KILE-tall inngår i Formel 5. Siden KILE⁵ kan variere mye fra år til år, f eks som følge av enkelthendelser som ekstremvær⁶, kan det bety store uforutsette tap i inntekter. Informasjon som vil kunne minimere risiko for store utgifter knyttet til KILE vil derfor være ettertraktet.

3.2 GIS-analyse for å finne selskapsspesifikke rammevilkår

NVE har siden 2010/2011 samlet inn geografiske data for høyspent distribusjonsnettet. Dette vil si at man kartla alle traseer som linjer i GIS. Disse dataene ble deretter brukt som utgangspunkt for en GIS-analyse hos NVE.

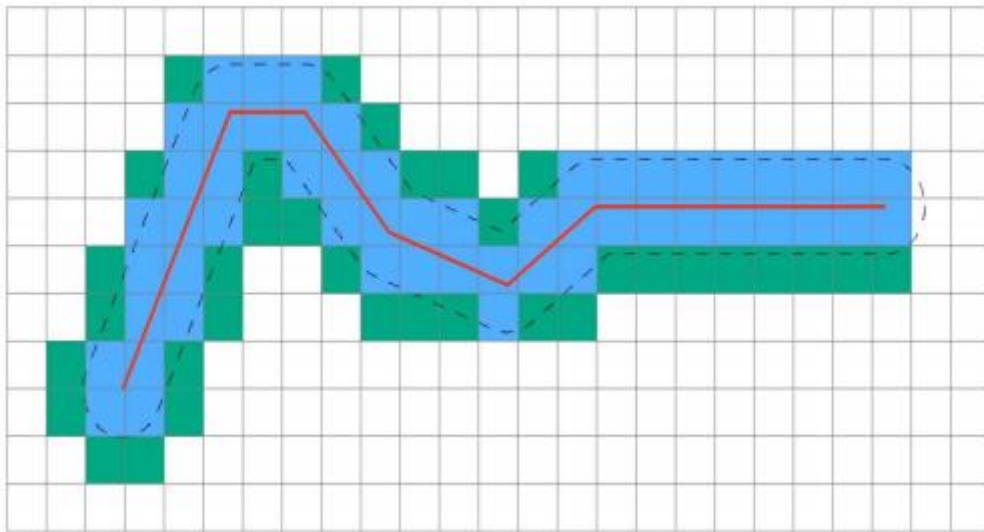
For å ha et fast rammeverk å jobbe etter etablerte NVE et rutenett på 100x100 m. Dette rutenettet korresponderer med det nasjonale rutenettet [10]. For linjene ble det laget en 100 m buffer på hver side. De rutene som havnet innenfor bufferen kan sees på som "skjelettet" i GIS-analysen. Innenfor hver av disse ble det enkelte rammevilkår tallfestet. En slik 100x100 m rute utgjør dermed "grunnenheten" i GIS-analysen.

For analysen sin del var det viktig med et tilstrekkelig antall 100x100 ruter innenfor bufferen på 100m. Siden rutenettet hadde nokså lav oppløsning i forhold til bredden på bufferen ble det tatt i bruk en litt mer GIS-teknisk avansert metode for å sikre min/maks bredde på analysen

⁵ KILE står for kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi.

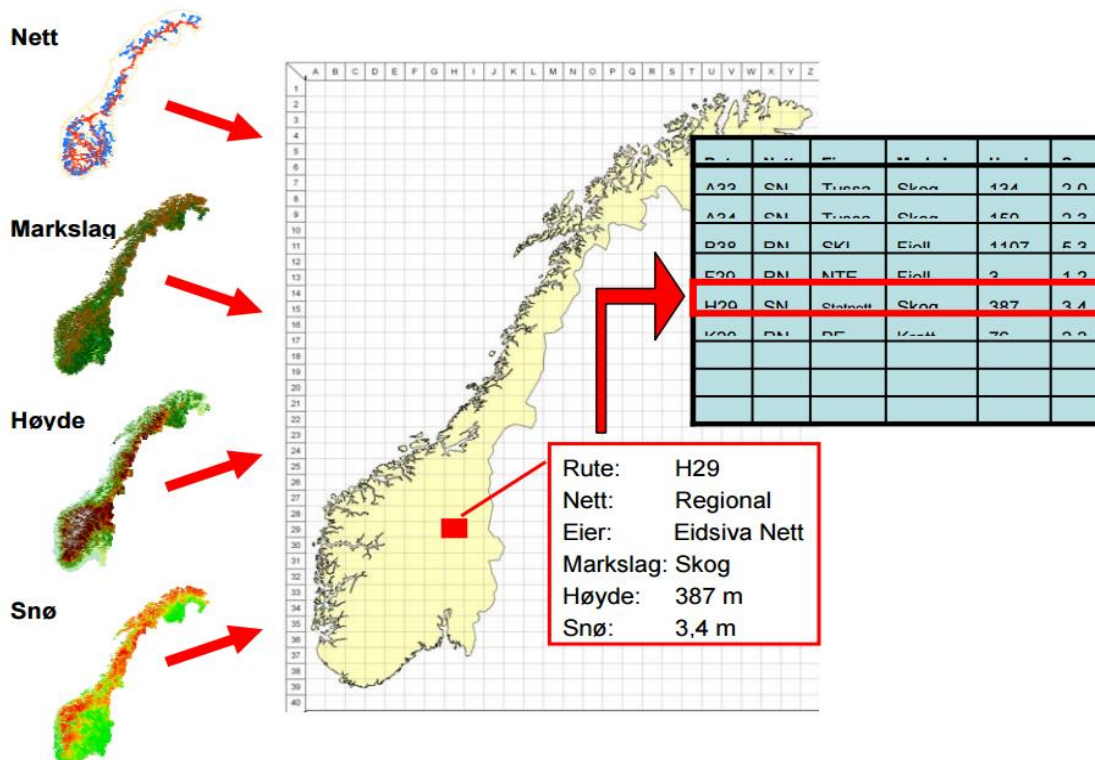
⁶ Ekstremværet Dagmar 25.-26. desember 2011 sto alene for 20% av alle driftsforstyrrelsene dette året.

langs traseen. For mer detaljert forklaring, se [11]. Etter dette steget fikk man ruter på 100x100 m langs linjene med en minimumsbredde på 2 ruter og en maksimumsbredde på 4 ruter som illustrert i Figur 6.



Figur 6: Figuren viser ruteposisjon for kartlegging av geografiske rammevilkår [11].

Etter at rutene av interesse var kartlagt samlet man inn data om de geografiske rammevilkårene. Kilden til disse var totalt sett 15 kart med data om klima, arealbruk, topografi og annen relevant informasjon [11]. I GIS-programmet ble hver rute til en rad i en egenskapstabell med verdier for de ulike rammevilkårene. Dette er vist i Figur 7. Det er ut fra en slik tabell beregnet gjennomsnittlige geografiske rammevilkår som er spesifikke for det enkelte nettselskap. Det finnes kartdata hos NVE om alle rammevilkårsvariablene med en oppløsning på 100x100m.



Figur 7: Illustrasjon av hvordan GIS-analyse blir utført hos NVE [11].

3.3 Selskapsspesifikke geografiske rammevilkårsdata

NVE definerer Geografiske rammevilkår som "Sammenhengen mellom klimatiske, topografiske og arealmessige egenskaper i nettets aktuelle område". Disse er ment å reflektere de faktiske forholdene hvert nettselskap må ta høyde for i sin daglige drift. For eksempel vil et nettselskap med mye produktiv skog rundt kraftledningene sine ha høyere kostnader knyttet til skogrydding enn et med lite produktiv skog. I tillegg til geografiske rammevilkårsvariabler definerer NVE strukturelle rammevilkår i DEA-analysen. Strukturelle rammevilkår er knyttet opp mot egenskaper ved nettet og tilhørende etterspørselsforhold. Hensikten med disse er ifølge NVE å få en "god representasjon av distribusjonsnettets oppgaver knyttet til kjernevirksomheten".

Abonnenter

NVE-navn	Gjennomsnitt Antall abonnent Dnett snittfront
Type rammevilkår	Strukturelt
Beskrivelse	Gjennomsnitt av antall abonnenter over de 5 siste årene for distribusjonsnett
Høyeste verdi	689215 (Hafslund)
Kilde	Inntektsrammeberegningen 2017: d_dataDEA
Datakilde	Erapp

Et nettselskaps oppgave er å transportere en etterspurt mengde effekt til sluttbruker med så lite som mulig avbrudd. Variabelen "Antall abonnenter" viser hvor utfordrende dette kan være for nettselskapet [11].

Høyspent nett

NVE-navn	Gjennomsnitt Kilometer høyspent Dnett snittfront
Type rammevilkår	Strukturelt
Beskrivelse	Gjennomsnitt av km høyspent nett over de siste 5 årene for distribusjonsnett
Høyeste verdi	11781 (Hafslund)
Kilde	Inntektsrammeberegningen 2017: d_dataDEA
Datakilde	Erapp

Nettets utstrekning målt i antall km 1-22 kV sier noe om hvor vanskelig det er å drifte. Størrelsen på nettet forteller også noe om kundenes plassering i forhold til hverandre, og innmatingspunkter [11].

Nettstasjoner

NVE-navn	Gjnsnitt Antall nettstasjoner Dnett snittfront
Type rammevilkår	Strukturelt
Beskrivelse	Gjennomsnitt antall nettstasjoner over de 5 siste årene for distribusjonsnett
Høyeste verdi	17940 (Hafslund)
Kilde	Inntektsrammeberegningen 2017: d_dataDEA
Datakilde	Erapp

Antall nettstasjoner sier noe om de kostnader nettselskapet har til drift av andre anleggsdeler enn kraftledning. Flere nettstasjoner krever mer vedlikehold [11].

Andel høyspent jordkabel

NVE-navn	dr_hsjordand, andel høyspent jordkabel
Type rammevilkår	Geografisk
Beskrivelse	Selskapets andel jordkabler. Finnes ved å dele km høyspente jordkabler på km total høyspent nett.
Høyeste verdi	0,89041 (Jæren Everk)
Kilde	Inntektsrammeberegningen 2017: d_grunnlagsdata_trinn2
Kartdata	NVEs DN-database, Vektor, 2012 [11]

Jordkabel er kostnadsdrivende, fordi det krever gravearbeid i forbindelse med oppretting av feil. Jordkabel legges ofte i samme grøft som annen viktig infrastruktur eller under veinettet. Dette fører igjen til at det er mange hensyn og strenge regler som må overholdes før arbeid på kablet kan iverksettes. Ekstra ressurser til tid og planlegging må derfor påkostes [11].

Fordelen med å bruke jordkabel er at det krever mindre vedlikehold. Ulempen er at det ved feil vil koste mer for nettselskapet.

Barskog

NVE-navn	dr_s4, barskog
Type rammevilkår	Geografisk
Beskrivelse	Andel anlegg i barskog med høy og særs høy bonitet.
Høyeste verdi	0,40368 (SKL Nett)
Kilde	Inntektsrammeberegningen 2017: d_grunnlagsdata_trinn2
Kartdata	Norsk institutt for skog og landskap, Vektor, 1:50 000, 2011 [11]

Skogsareal er definert som areal med minst 6 trær per dekar som er eller kan bli fem meter høye. Barskog er definert som skogsareal der mer enn 50% er dekket av barskog. Bonitet sier noe om produksjonsevne og skogens høyde ved 40 års alder.

Høy verdi av barskogvariabelen tilsier høye kostnader knyttet til hogst av bartrær langs traseen som vokser hurtig. Denne kostnaden anses som en av de viktigste av NVE [11]. Barskog er mer utsatt for å falle over ledninger i kombinasjon med snøfall og vind.

Helning

NVE-navn	dr_he1, gjsn. helning
Type rammevilkår	Geografisk
Beskrivelse	Gjennomsnittlig helning i området hvor selskapet har nettverkskomponenter.
Høyeste verdi	22,215 (Aurland Energiverk)
Kilde	Inntektsrammeberegningen 2017: d_grunnlagsdata_trinn2
Kartdata	Statens kartverk, raster, 25x25 m oppløsning [12]

Helningen i terrenget påvirker nettselskapets tilgjengelighet til eget anlegg. Dårlig fremkommelighet fører til økt tidsbruk, og kan føre til at man trenger dyrere transportmidler for å nå fram. Områder med bratt terreng er mer utsatt for snø-, stein- og jordras. Dette kan føre til skade på anleggene og vil i tillegg påvirke dets tekniske levetid, øke vedlikeholdsbehovet og øke sannsynligheten for avbrudd. Ras i bratt terreng kan også blokkere veiforbindelser, noe som vil påvirke tiden det tar å rette opp i en feil [12].

Installert ytelse småkraft

NVE-navn	dr_skysz, installert ytelse småkraft størrelsesuavhengig
Type rammevilkår	Geografisk
Beskrivelse	Installert ytelse småkraft i distribusjonsnett, innmating fra småkraftverk med installert effekt under 10 MW.
Høyeste verdi	0,0031358 (Stranda Energi)
Kilde	Inntektsrammeberegningen 2017: d_grunnlagsdata_trinn2
Datakilde	Erapp

Det enkeltstående rammevilkåret som er mest kostnadsdrivende ifølge NVE er "Installert ytelse småkraft" [11].

I byggingen av distribusjonsnett har man som oftest optimalisert med tanke på innmating fra overliggende nett. Derfor finner man ofte innmatingspunktene ganske nærme lasttyngdepunktet i området. Siden småkraftanlegg i distribusjonsnettet har evne til å endre kraftflyten vesentlig, kan de forårsake økning i overføringstapene. Økning av overføringskapasiteten er kostbart [12].

Løvskog

NVE-navn	dr_s7, løvskog
Type rammevilkår	Geografisk
Beskrivelse	Andel anlegg i løvskog med høy og særs høy bonitet.
Høyeste verdi	0,30541 (Aurland Energiverk)
Kilde	Inntektsrammeberegningen 2017: d_grunnlagsdata_trinn2
Kartdata	Norsk institutt for skog og landskap, Vektor, 1:50 000, 2011 [11]

Skogsareal er definert som areal med minst 6 trær per dekar som er eller kan bli fem meter høye. Løvskog er definert som skogsareal der mindre enn 20% er dekket av barskog. Bonitet sier noe om områdets produksjonsevne og trærnes høyde ved 40 års alder.

Under kraftledningene er det som oftest tilvekst av løvskog. Dette gjelder også i skog definert som barskog. Løvskogvariabelen kan kobles til vedlikeholdskostnader for skogrydding i selve traseen [12].

Antall forsynte øyer

NVE-navn	dr_aoey1, forsyning til øy >1km fastland/øy, størrelsesuavhengig
Type rammevilkår	Geografisk
Beskrivelse	Antall øyer selskapet forsyner som ligger mer enn 1 km fra fastlandet eller fra nærmeste forsynte øy, størrelseskorrigert.
Høyeste verdi	0,0011120 (Fitjar kraftlag)
Kilde	Inntektsrammeberegningen 2017: d_grunnlagsdata_trinn2
Datakilde	Erapp

Det anses som dyrere å forsyne anlegg uten fastlandsforbindelse. Dette fordi tidsbruk og transportkostnader som må gjøres i forbindelse med vedlikehold eller feilretting blir høyere. Utbygging på øyer koster også mer sammenlignet med fastlandet [12].

Vind

NVE-navn	dr_vr
Type rammevilkår	Geografisk
Beskrivelse	Gjennomsnittlig referansevind.
Høyeste verdi	31 (Sandøy Energi)
Kilde	Inntektsrammeberegningen 2017: d_grunnlagsdata_trinn2
Kartdata	Kjeller Vindteknikk, Raster, 1000x1000 m, 2010 [11]

Vind gir store kostnader for nettselskapene. Ved trefall må man for eksempel sende ut mannskaper og eventuelle avbrudd vil gi KILE-kostnader. Valg av vindvariabelen er bestemt til å være midlere vindbelastning 50 m over bakken. Denne type vindvariabel får fram de lokale variasjonene man kan ha i vinden [11].

Avstand til kyst

NVE-navn	dr_k2lukk, avstand til kyst
Type rammevilkår	Geografisk
Beskrivelse	Gjennomsnittlig avstand til kystlinje med lukkede fjorder (åpne i Finnmark).
Høyeste verdi	196426,2 (Gudbrandsdal Energi)
Kilde	Inntektsrammeberegningen 2017: d_grunnlagsdata_trinn2
Kartdata	Statens kartverk/NVE, Vektor, 1:50 000, 2011 [11]

"Avstand til kyst" er kostnadsdrivende, fordi nettselskaper nær kysten får større problemer med salt på anleggene. Denne variabelen er viktig for å ta hensyn til nettselskap som har utfordringer med korrosjon og salt, men som kanskje ikke har noe særlig sjøkabel (som er et annet rammevilkår) [11].

Kystklima

NVE-navn	dr_vr2_k2lukk, kystklimavariabel
Type rammevilkår	Geografisk
Beskrivelse	Kystklimavariabel: kvadrert gjennomsnittlig referansevind dividert på kystavstand (dr_k2lukk).
Høyeste verdi	4,7445 (Sandøy Energi)
Kilde	Inntektsrammeberegningen 2017: d_grunnlagsdata_trinn2
Kartdata	Kombinasjon av "Avstand til kyst" og "Vind" [11]

Denne variabelen fanger opp utfordringer for nettselskap som drifter nett inne i fjordene [11]. Høyt saltinnhold i luften langs kysten senker anleggenes levetid som følge av korrosjon. Dette setter krav til høyere kostnader knyttet til vedlikehold og rengjøring av anleggene, siden salt er strømførende og kan gi kortslutninger og feil i anlegg. Vinden påvirker hvor langt inn i landet saltet føres. Mye nedbør kan redusere faren for at det hoper seg opp salt. Kraftledninger er særlig utsatt for denne type slitasje, mens jordkabel påvirkes lite [12].

Andel høyspent sjøkabel

NVE-navn	dr_hssjoand, andel høyspent sjøkabel
Type rammevilkår	Geografisk
Beskrivelse	Selskapets andel sjøkabler. Finnes ved å dele km høyspent sjøkabel på km total høyspent nett.
Høyeste verdi	0,36206 (Sandøy Energi)
Kilde	Inntektsrammeberegningen 2017: d_grunnlagsdata_trinn2
Kartdata	NVEs DN-database, Vektor, 2012 [11]

Noen øysamfunn ligger så langt fra fastlandet at de må forsynes ved hjelp av sjøkabler. Sammenlignet med jordkabel er det mye dyrere å drifte denne typen kabel (med samme dimensjon). Det er kostnader både for kabel og ilandføringsanlegg [12].

Breddegrad

NVE-navn	dr_brgrad_gjsn
Type rammevilkår	Geografisk
Beskrivelse	Gjennomsnittlig breddegrad i området hvor selskapet har nettverkskomponenter.
Høyeste verdi	70,346 (Nordkyn Kraftlag)
Kilde	Inntektsrammeberegningen 2017: d_grunnlagsdata_trinn2
Kartdata	NVE, Raster, 100x100 m, 2011 [11]

Denne variabelen brukes for å måle nettselskaperens kostnader knyttet til mørketid. Mørketid fører til at arbeid og feilretting tar lengere tid enn normalt. En del oppgaver krever dagslys for å kunne gjennomføres på en forsvarlig måte. Merkostnaden kan være sterkt knyttet til bestemte situasjoner som kan oppstå [13].

Islast

NVE-navn	dr_is_gjsn
Type rammevilkår	Geografisk
Beskrivelse	Gjennomsnittlig islast, måles i antall timer per år med isingsrate større enn 10 g/time for en standardsylinder.
Høyeste verdi	168,82 (Nordkyn Kraftlag)
Kilde	Inntektsrammeberegningen 2017: d_grunnlagsdata_trinn2
Kartdata	Kjeller Vindteknikk, Raster, 1000x1000 m, 2010 [11]

I områder med mye islast vil det være behov for sterkere master. Dette fører til at nettselskapet får høyere kapitalkostnader. Islast setter også krav til bedre vedlikehold og fører til større sannsynlighet for avbrudd som følge av mastehavari og linjebrudd. De faktorene som spiller inn på islastproblemer er temperaturer rundt 0 grader i kombinasjon med nedbør. Problemene er ofte lokale og forsterkes ved mye vind [13].

Snødybde

NVE-navn	dr_snog
Type rammevilkår	Geografisk
Beskrivelse	Gjennomsnittlig daglig snødybde målt i snøens vannekvivalent siste 30 år. Nedbør ansees å ha falt som snø de dager der døgnmiddeltemperaturen er lavere enn 0,5 grader.
Høyeste verdi	649,50 (Nordkyn Kraftlag)
Kilde	Inntektsrammeberegningen 2017: d_grunnlagsdata_trinn2
Kartdata	Meteorologisk institutt/NVE, Raster, 1000x1000 m, 2011 [11]

Mye snø gjør det utfordrende for nettselskapene å utføre vedlikehold-, feilrettings- og bygningsarbeid. Økt tidsforbruk medfører økte kostnader [13].

Temperatur

NVE-navn	dr_temp
Type rammevilkår	Geografisk
Beskrivelse	Gjennomsnittstemperatur siste 30 år (1985-2015).
Høyeste verdi	7,9585 (Finnås Kraftlag)
Kilde	Inntektsrammeberegningen 2017: d_grunnlagsdata_trinn2
Kartdata	DNMI

Denne variabelen er ment å fange opp kostnader knyttet til lave vintertemperaturer og tele i bakken. Anleggsarbeider og vedlikehold tar lengere tid som følge av lavere temperaturer. Gravearbeid blir ofte mer tidkrevende [13].

3.4 Vurdering av sammenligningsgrunnlag

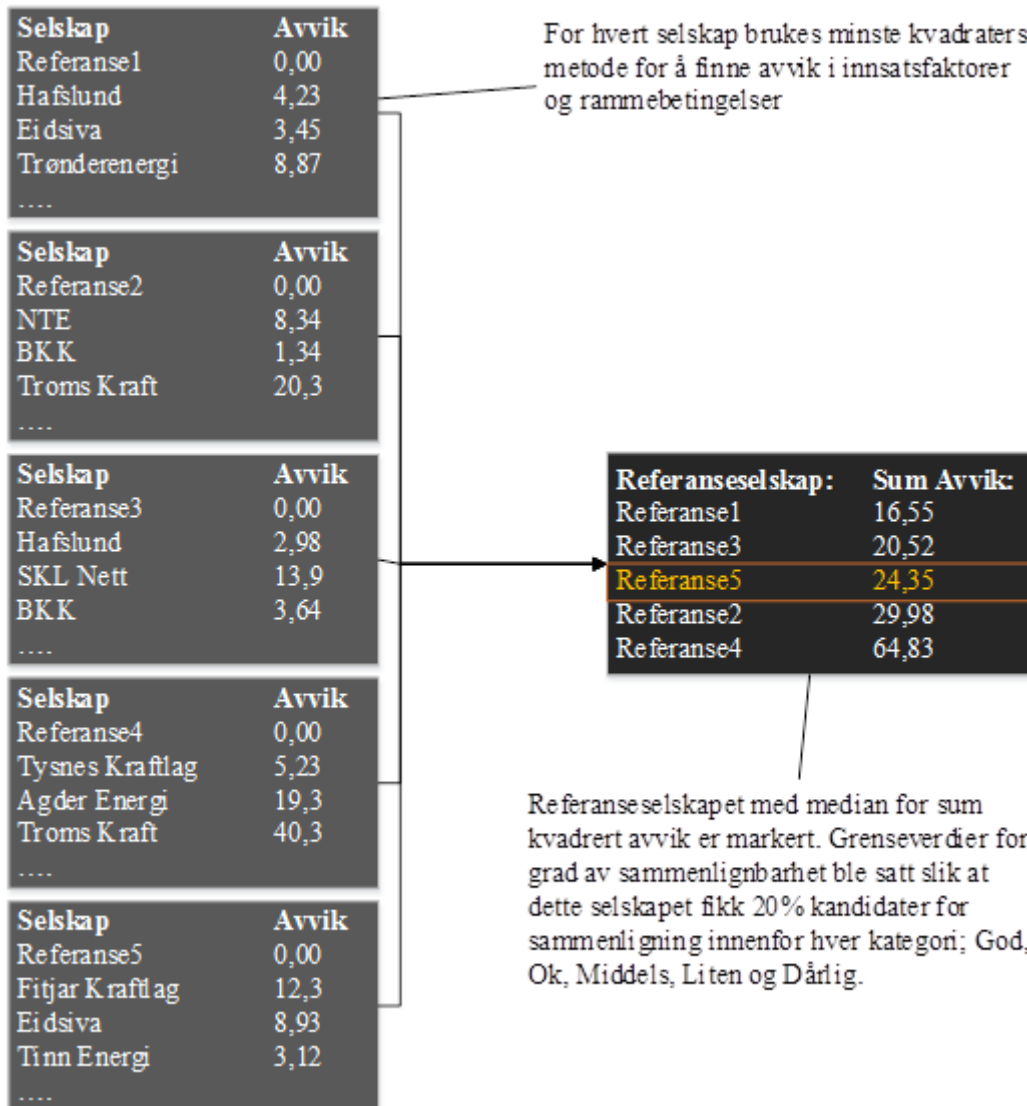
Arbeidet i prosjektoppgaven tydet på at det kunne være en sammenheng mellom grad av sammenlignbarhet og fordeling av relativ ILE. Det ble ikke arbeidet noe videre på dette i denne oppgaven.

Det er flere svakheter i en slik metode. Alle rammevilkår som for eksempel vind og helning er gjennomsnittstall pr selskap. Siden flest feil skjer som følge av omgivelsesårsaker som vegetasjon og vind under ekstreme forhold, og aller hyppigst under ekstremvær er det nærliggende å hevde at faktorer som "antall dager med vind over en viss terskelverdi" vil være bedre å bygge en slik sammenligning på.

Dersom man hadde at stedfestet alle feil vil man kunne koble denne opp mot riktig posisjon i kartdataene beskrevet under kapittel 3.3. Her vil det kanskje finnes et stort potensiale for å avdekke nye sammenhenger og forståelse av faktorer som påvirker feilraten.

3.5 Sammenlignbare nettselskap

For å beregne sammenlignbarhet for hvert nettselskap opp mot andre nettselskaper ble metoden som utviklet i [4] implementert. Framgangsmåten i denne metoden er vist i Figur 8. Metoden går ut på å summere opp rammevilkårsavvik, for senere å velge ut en median av nettselskapene. Når medianselskapet er funnet blir grenser for sammenlignbarhet trukket basert på inspeksjon av kart.



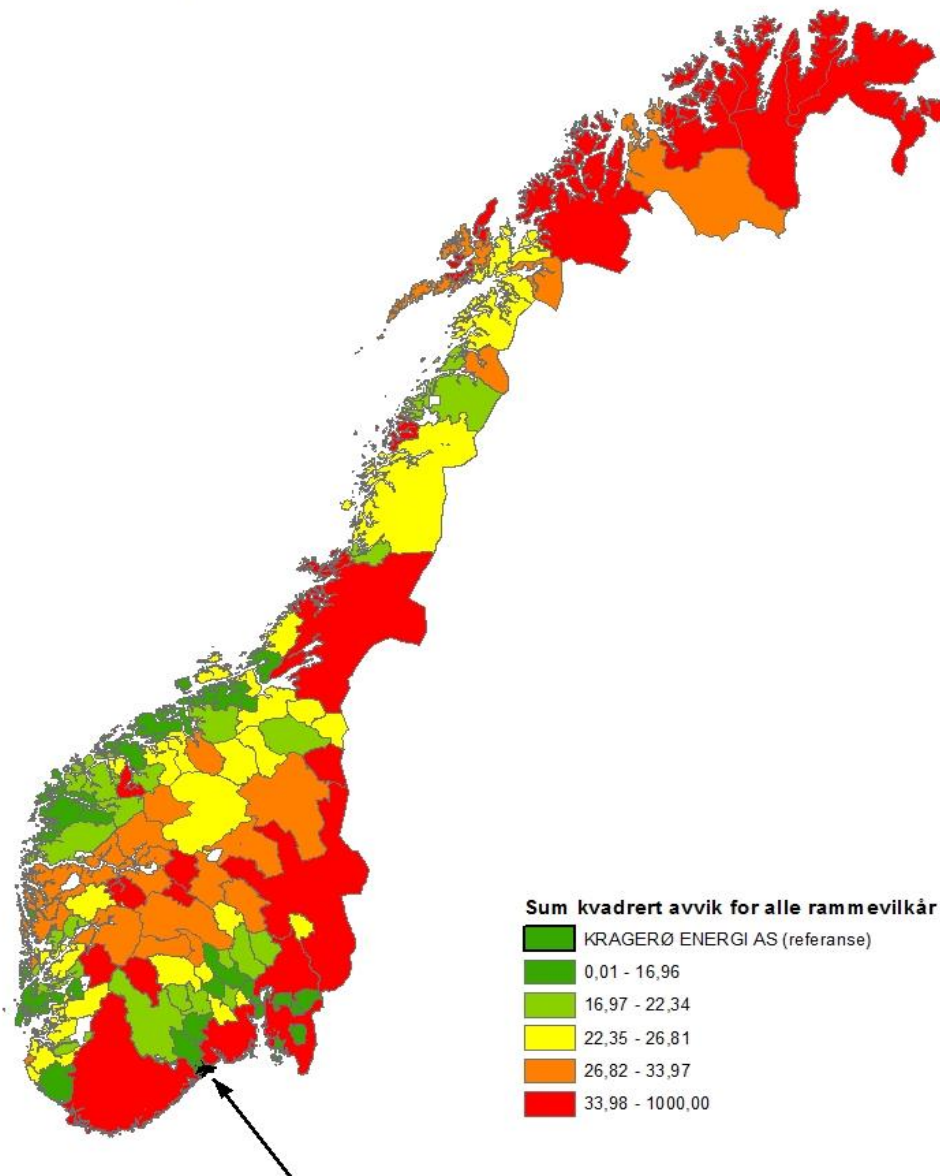
Figur 8: Eksempel for å illustrere hvordan et mediannettselskap ble valgt ut.

Siden 115 nettselskaper inngår i DEA-analysen for 2017 ble antall nettselskaper innenfor hver kategori 23.

3.5.1 Alle rammevilkår

Referansen ble funnet å være Kragerø Energi og er vist i Figur 9 med sammenlignbarhetsgrenser.

Sammenlignbarhetsgrenser: Alle rammevilkår



1:6 499 391,83

Figur 9: Kart som viser sammenlignbarhet for medianselskapet. (KRAGERØ ENERGI AS)

23 nettselskaper har fått en grønn farge (22 hvis man ser bort i fra Kragerø Energi). Antallet som er lysegrønne, gule, oransje og rød er alle 23. Grenseverdiene i sum kvadrert avvik som ga denne fordelingen av sammenlignbarhet er vist i Tabell 5 nedenfor.

Tabell 5: Tabell som viser grenser for sammenlignbarhet. Valget av grensene er gjort ved inspeksjon av kart i Figur 9.

Nivå	Farge	Egenskap	Intervall for sum av kvadrert avvik
5	Grønn	Sammenlignbarhet: God	0,000001 - 16,961135
4	Lysegrønn	Sammenlignbarhet: Ok	16,961135- 22,336049
3	Gul	Sammenlignbarhet: Middels	22,336049 - 26,805846
2	Oransje	Sammenlignbarhet: Liten	26,805846- 33,967958
1	Rød	Sammenlignbarhet: Dårlig	33,967958- 1000,00000

3.5.2 Sammenlignbarhet basert på ett og ett rammevilkår

Den samme metoden ble også testet for hvert enkelt rammevilkår hver for seg. I stedet for å bruke kategorier ble det innført nivåer som angir sammenlignbarhet mellom referansen og kandidaten. Tabell 6 viser en oppsummering av alle rammevilkårsgrenser.

Tabell 6: Tabell som viser nivåer for sammenlignbarhet for analyse av hvert enkelt rammevilkår. Grenseverdiene ble satt ut fra kart vist i Vedlegg 3, Vedlegg 4, Vedlegg 5, Vedlegg 6, Vedlegg 7, Vedlegg 8, Vedlegg 9, Vedlegg 10, Vedlegg 11, Vedlegg 12, Vedlegg 13, Vedlegg 14, Vedlegg 15, Vedlegg 16, Vedlegg 17 og Vedlegg 18.

Rammevilkår	Nivå	Intervall for sum av kvadrert avvik
Antall abonnenter	5	0,000001 - 0,000401
	4	0,000401 - 0,001387
	3	0,001387 - 0,003634
	2	0,003634 - 0,034957
	1	0,034957 - 1000
Antall km høyspent nett	5	0,00000001 - 0,0010185
	4	0,0010185 - 0,005023
	3	0,005023 - 0,019913
	2	0,019913 - 0,211949
	1	0,211949 - 1000
Antall stasjoner	5	0,00000001 - 0,000380
	4	0,000380 - 0,003124
	3	0,003124 - 0,01171
	2	0,01171 - 0,137254
	1	0,137254 - 1000
Andel høyspent jordkabel	5	0,000001 - 0,031661
	4	0,031661 - 0,305805
	3	0,305805 - 0,784268
	2	0,784268 - 2,280564
	1	2,280564 - 1000
Barskog	5	0,000001 - 0,067418
	4	0,067418 - 0,179196
	3	0,179196 - 1,223558
	2	1,223558 - 3,04908
	1	3,04908 - 1000

Installert ytelse småkraft	5	0,000001 - 0,380427
	4	0,380427 - 0,905352
	3	0,905352 - 1,364684
	2	1,364684 - 1,807602
	1	1,807602 - 1000
Helning	5	0,000001 - 0,10611
	4	0,10611 - 0,473037
	3	0,473037 - 1,13394
	2	1,13394 - 2,176440
	1	2,176440 - 1000
Løvskog	5	0,000001 - 0,004222
	4	0,004222 - 0,016552
	3	0,016552 - 0,43486
	2	0,43486 - 3,481406
	1	3,481406 - 1000
Antall forsynte øyer	5	0,000001 - 0,023163
	4	0,023163 - 0,067544
	3	0,067544 - 0,245786
	2	0,245786 - 0,620665
	1	0,620665 - 1000
Vind	5	0,000001 - 0,173983
	4	0,173983 - 0,368214
	3	0,368214 - 0,993130
	2	0,993130 - 3,231510
	1	3,231510 - 1000
Avstand til kyst	5	0,000001 - 0,014762
	4	0,014762 - 0,03241
	3	0,03241 - 0,562776
	2	0,562776 - 3,091423
	1	3,091423 - 1000
Kystklima	5	0,000001 - 0,000042
	4	0,000042 - 0,000097
	3	0,000097 - 0,002162
	2	0,002162 - 0,041494
	1	0,041494 - 1000
Andel høyspent sjøkabel	5	0,000001 - 0,004265
	4	0,004265 - 0,088406
	3	0,088406 - 0,23414
	2	0,23414 - 0,673120
	1	0,673120 - 1000
Breddegrad	5	0,000001 - 0,013978
	4	0,013978 - 0,029966
	3	0,029966 - 0,298617
	2	0,298617 - 2,639999
	1	2,639999 - 1000

Islast	5	0,000001 - 0,178268
	4	0,178268 - 0,74315
	3	0,74315 - 1,376676
	2	1,376676 - 2,195763
	1	2,195763 - 1000
Snødybde	5	0,000001 - 0,072994
	4	0,072994 - 0,444232
	3	0,444232 - 0,94300
	2	0,94300 - 1,576268
	1	1,576268 - 1000
Temperatur	5	0,000001 - 0,11256
	4	0,11256 - 0,477386
	3	0,477386 - 1,06195
	2	1,06195 - 3,419600
	1	3,419600 - 1000

4. KART SOM PRESENTASJONSVERKTØY

En database som holder koordinater for lengde- og breddegrad kan sies å være den enkleste formen for GIS. Kart har en mye lenger historie enn datamaskiner. Det er når GIS tar i bruk det beste begge disse "teknologiene" at det blir et nyttig verktøy som kan bidra til mer kostnadseffektiv drift og analyse.

4.1 Kartografi

Kartografi beskriver anvendelsen av symboler som farge, form og størrelse for å formidle geografisk informasjon, og kan også sies å handle om å velge riktige visuelle effekter i forhold til ønsket formidling av den geografiske informasjonen. Målsetningen med kartografien er altså at brukeren intuitivt skal kunne gjenkjenne budskapet i kartet [14]. Et eksempel på dette fra turkart er at det ofte brukes trekant for å symbolisere varder og kors for å symbolisere kirker. Slike logiske symboler er enkle og intuitive å forstå. Hvis man lager en slik fremstilling for alle de ulike objektene i kartet vil derimot resultatet likevel ikke bli særlig godt. Dette fordi det ikke er hver grafisk effekt eller symbol for seg selv som er viktig, men er det måten variablene fremstår sammen som er av betydning [2]. Det er derfor nærliggende å hevde at en god kartframstilling er nødt til å ta i bruk forenklinger. Forenklinger fører igjen til at man mister informasjon. Hvordan man håndterer denne problemstillingen vil alltid være sentral for om resultatet blir vellykket eller ikke. Hvordan man presenterer feilstatistikk i kart på en vellykket måte blir derfor en avveining mellom å gjøre forenklinger for brukeren, samtidig som man beholder budskapet i dataene objektivt.

4.2 Muligheter

I kart har man tre geometriske representasjonsmuligheter å fremstille virkeligheten på; punkt-, linje- og polygon-shapefiler. Hvilke objekter som burde fremstilles som punkter, linjer eller polygoner vurderes subjektivt ut fra hensikt.

Det finnes i alt seks ulike kartografiske virkemidler. Disse er størrelse, tetthet, farge, form, tekstur og retning. Farger kan generelt sies å være godt egnet for å vise skille mellom ulike kvalitative fenomener [2]. Virkemiddelet *form* er også best egnet for å vise kvalitative forskjeller.

4.3 Styrker og svakheter

Resultatet av prosjektoppgaven viste at kart kan være et kraftig verktøy for presentasjon av statistikk. Det gjør det mye lettere for interessenter, med kanskje ellers lite kunnskap om et fagfelt, til å forstå meningen bak tallene.

Det som burde vises i et GIS er informasjon med geografisk avgrensning. Her er GIS et kraftig verktøy. For å få fram variasjoner i data over bestemte egenskaper eller tid, vil et GIS fort bli lite lesbart. Det anbefales derfor at det tas i bruk diagrammer ved siden av kartet for dette formålet. Bruk av farger og symboler i kartet bør være så intuitivt at brukeren ikke behøver å lese seg opp på hvordan GIS-løsningen fungerer. Det medfører at kun fysiske objekter eller avgrensninger bør være synlig i et kart. En hendelse som "feil" eller "driftsforstyrrelse" burde ikke visualiseres. Feilrater er derimot er en egenskap hos et fysisk objekt som burde kunne vises på en intuitiv måte og egne seg godt i et GIS.

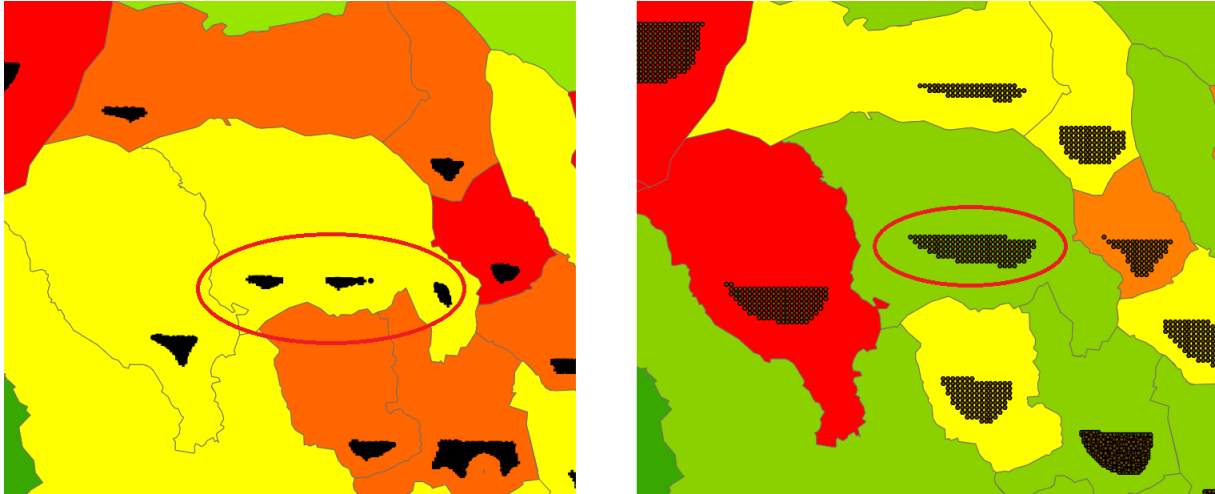
4.4 Eksisterende kartverktøy hos nettselskapene i dag

De fleste nettselskap benytter et nettinformasjonssystem (NIS). Det systemet som er mest utbredt kommer fra Powel og heter NetBas. I dette programmet kan konsesjonæren analysere eget nett i en kartvisning. Kartet inneholder alt av anleggsmasse som for eksempel kraftledninger, transformatorer, kunder osv. Programmet er utviklet for å gi konsesjonæren full oversikt over driftssituasjonen. I tillegg er programmet godkjent for FASIT-rapportering, hvilket betyr at konsesjonæren kan registrere avbrudd direkte i programmet. En av mulighetene i programmet er å høyreklikke på komponenten med feil slik at FASIT-rapporten kobles til en geografisk posisjon i NetBas. Feilen vi da være knyttet til en anleggsdel som igjen er plassert i et GIS. Denne informasjonen blir lagret i NetBas, men kommer ikke med i FASIT-rapporten som sendes inn til Statnett.

Noen anleggsdeler, slik som kraftledning, har en stor geografisk utstrekning. Dette gjør at feildata i NetBas ikke kan stedfestes. Feil på kraftledning skjer som oftest som følge av omgivelsesårsaker og av den grunn kan man anta at nøyaktig geografisk posisjon for feil på denne anleggsdelen vil å ha størst nytteverdi. Powel utvikler egne dashbord for visning av statistikk, og antas å ha interesse av tilgang til å vise mer detaljert geografisk informasjon.

4.5 Visning av feilstatistikk

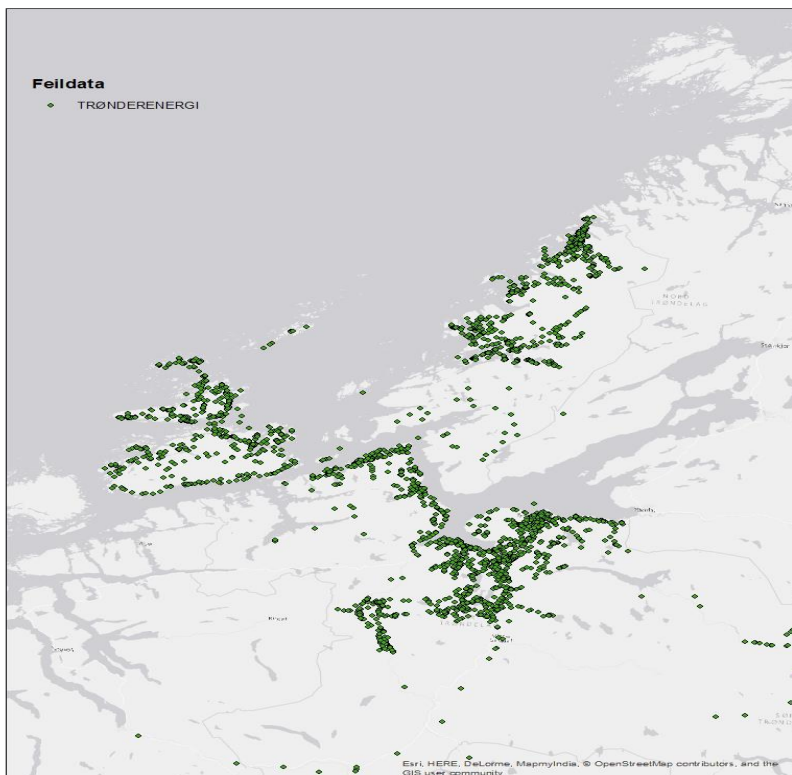
Det ble i oppgaven forsøkt å finne alternative visninger av feildata i kart. På grunn av tekniske utfordringer knyttet til programvare ble det ikke laget en ny visning i forhold til prosjektoppgaven [4]. I stedet ble løsningen fra prosjektoppgaven videreutviklet basert på tilbakemeldinger på prosjektoppgaven. Visningen av feildata ble en punktvisning, der punktene ligger i kronologisk rekkefølge. Forbedringen fra tidligere arbeid er at alle feilene pr konsesjonær nå ligger samlet i motsetning til i prosjektoppgaven der konsesjonærområdets form påvirket presentasjonen. Dette er illustrert i Figur 10.



Figur 10: Sammenligning med prosjektoppgaven (til venstre). I den nye visningen til høyre er feildataen plassert samlet pr konsesjonær. Fargene (sammenlignbarhet i forhold til Trønderenergi) har også endret seg. Dette kommer av at tall for inntektsramme 2017 ble brukt, i motsetning til i prosjektoppgaven som brukte tall fra 2016.

I prosjektoppgaven fikk alle feil egne symbol på bakgrunn av anleggstypen der feilen hadde skjedd. Dette gjorde at brukeren for eksempel raskt kunne skille mellom feil på for eksempel kraftledningsanlegg og transformatoranlegg. Denne type visning ble ikke videreført i oppgaven, fordi det var ønskelig med en visning uten punkter for feil. Det viste seg senere at for å få lastet data inn i programmet måtte feilene bli synlig som punkter. I oppgaven ble derfor alle feil tegnet med fargede sirkler i kartet som vist i Figur 11.

4.5.1 Geografiske data for Trønderenergi



Figur 11: Posisjonerte feil hos Trønderenergi i perioden 2008-2017 representert som punkter.

For å få en kobling mot geografi i oppgaven ble det etter kontakt med Trønderenergi skaffet geografisk posisjon til en del av feilene deres i tidsperioden 2008-2017. Disse er vist i Figur 11 og ble forøkt samkjørt med feildataunderlaget fra Statnett. Dette resulterte i at en stor del av feilene som inngikk i dashbordet kunne vises geografisk. Feil hos Trønderenergi uten posisjonering ble plassert utenfor kartbildet for å holde visningen oversiktlig.

4.5.2 Visning av feilrate i kart

Ut fra anleggsdata fra eRapp ble forenklete feilrater for perioden 2009-2016 forsøkt beregnet. Siden det kun ble funnet data om kraftledning, kabel og transformator var det bare mulig å beregne feilrate for disse tre.

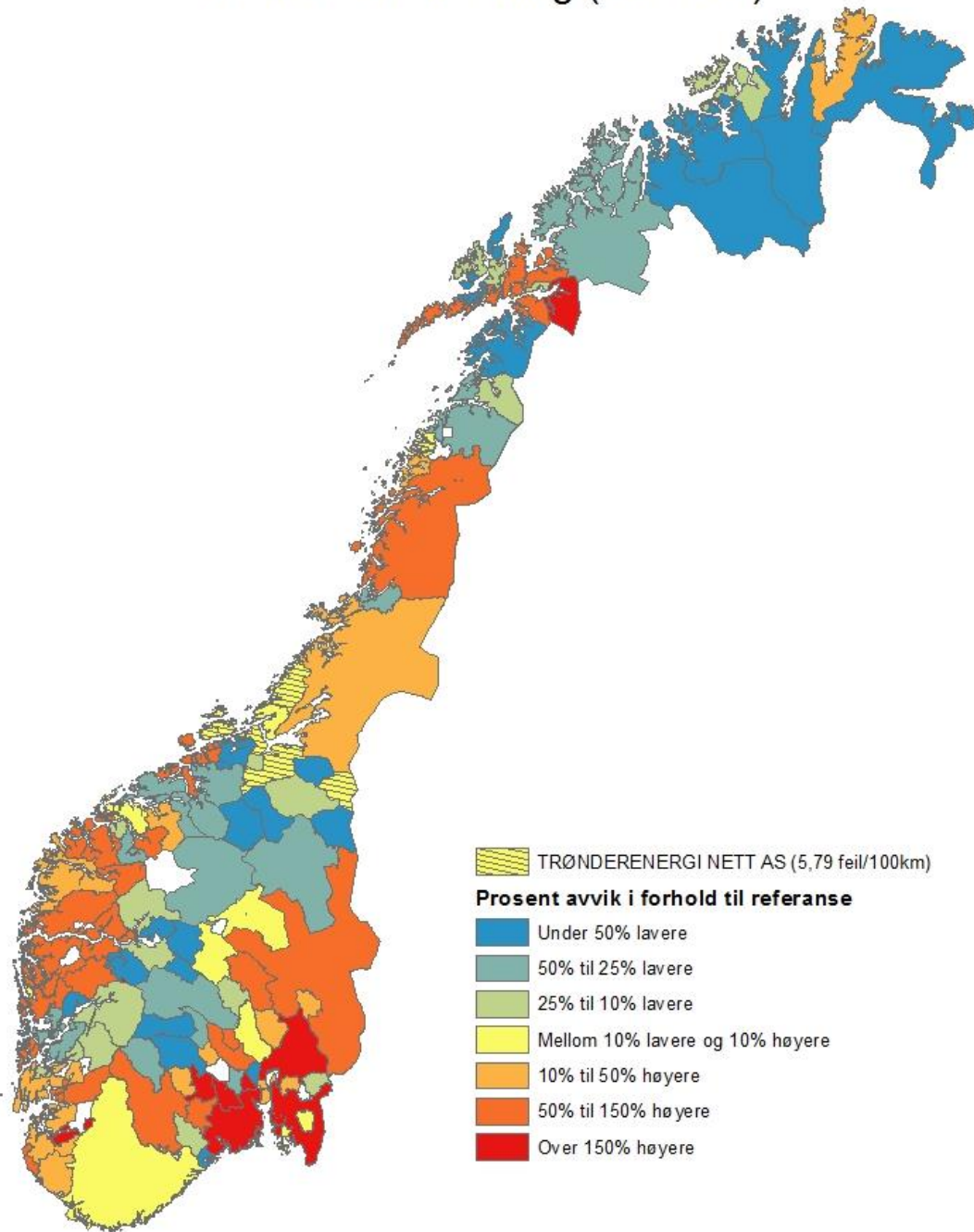
Figur 12 viser hvilke nettselskaper som har en høyere eller lavere feilrate sammenlignet med Trønderenergi på 11-22kV kraftledning. Feilraten for Trønderenergi ble beregnet til å være 5,79 feil/100km. Dette er lavere enn landsgjennomsnittet, men ut fra kartet kan man se at mange av nettselskapene i Midt-Norge har like lav feilrate eller lavere. Helgeland Kraft som ble funnet å være mest sammenlignbar med Trønderenergi ut fra metoden beskrevet i 3.5 hadde en feilrate på 11,54 feil/100km.

Tilsvarende kart sammenligning av feilrater 11-22kV kabel er vist i Figur 13. Her ser det ut til at Trønderenergi har noe lavere feilrater enn andre store nettselskap, men høyere enn de små. Dette kan komme av at de store nettselskapene har flere km ledninger/kabler og at det dermed er mer sannsynlig at feil inntreffer.

Figur 14 viser feilrate på 1-22kV transformator for Trønderenergi sammenlignet med andre nettselskap. Figuren viser at Trønderenergi er et av nettselskapene med lavest feilrate. Dette er også synlig om man setter gjennomsnittlig feilrate for alle konsesjonærene som referanse (0,64 feil/100trafo) som vist i Figur 15.

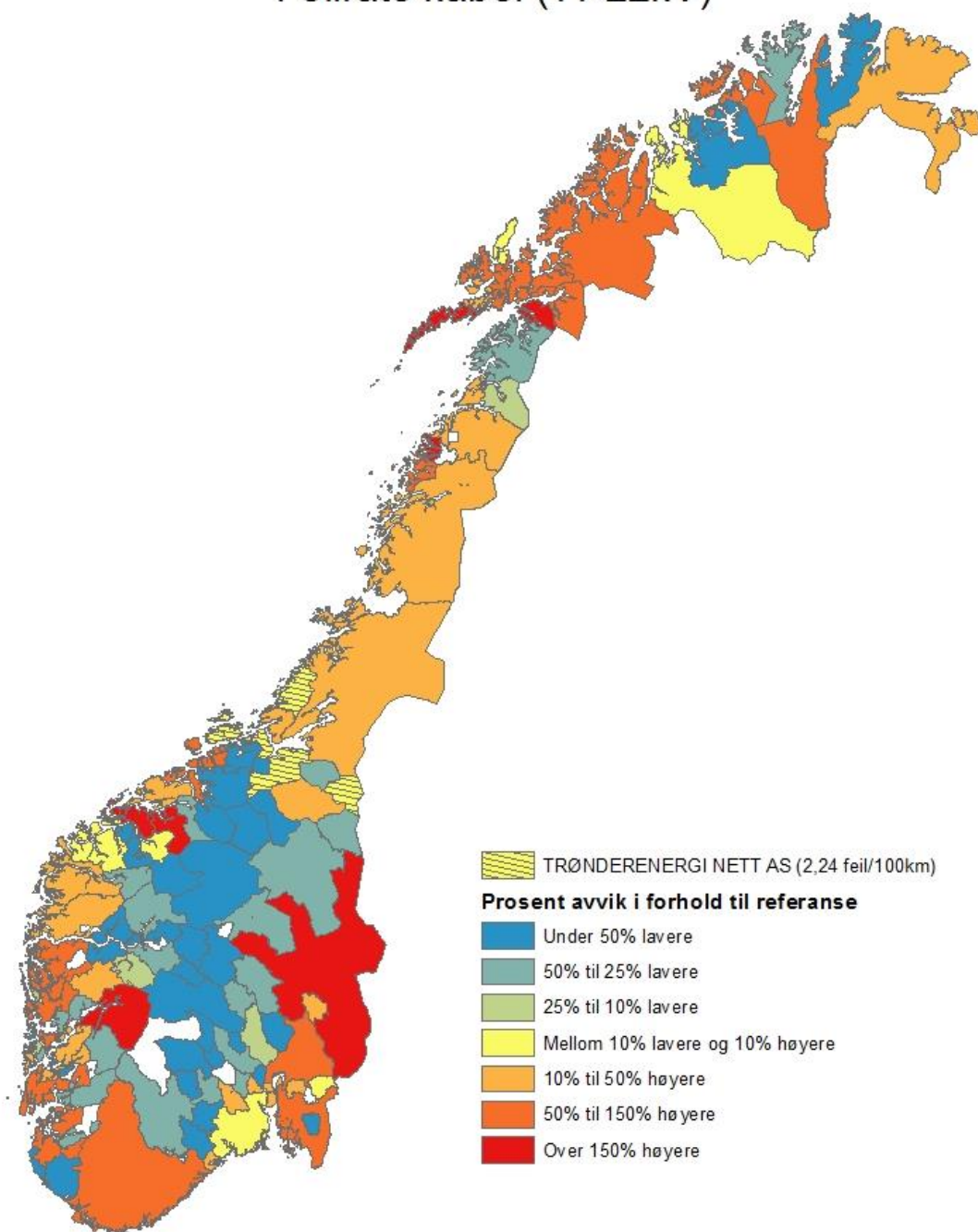
Mangler i datagrunnlag for enten antall feil eller anleggsdata vil forvrengte bildet. Anleggsdata for 2015 ble for eksempel brukt for alle årene i perioden. Verdiene bør derfor tas med et visst forbehold.

Feilrate kraftledning (11-22kV)



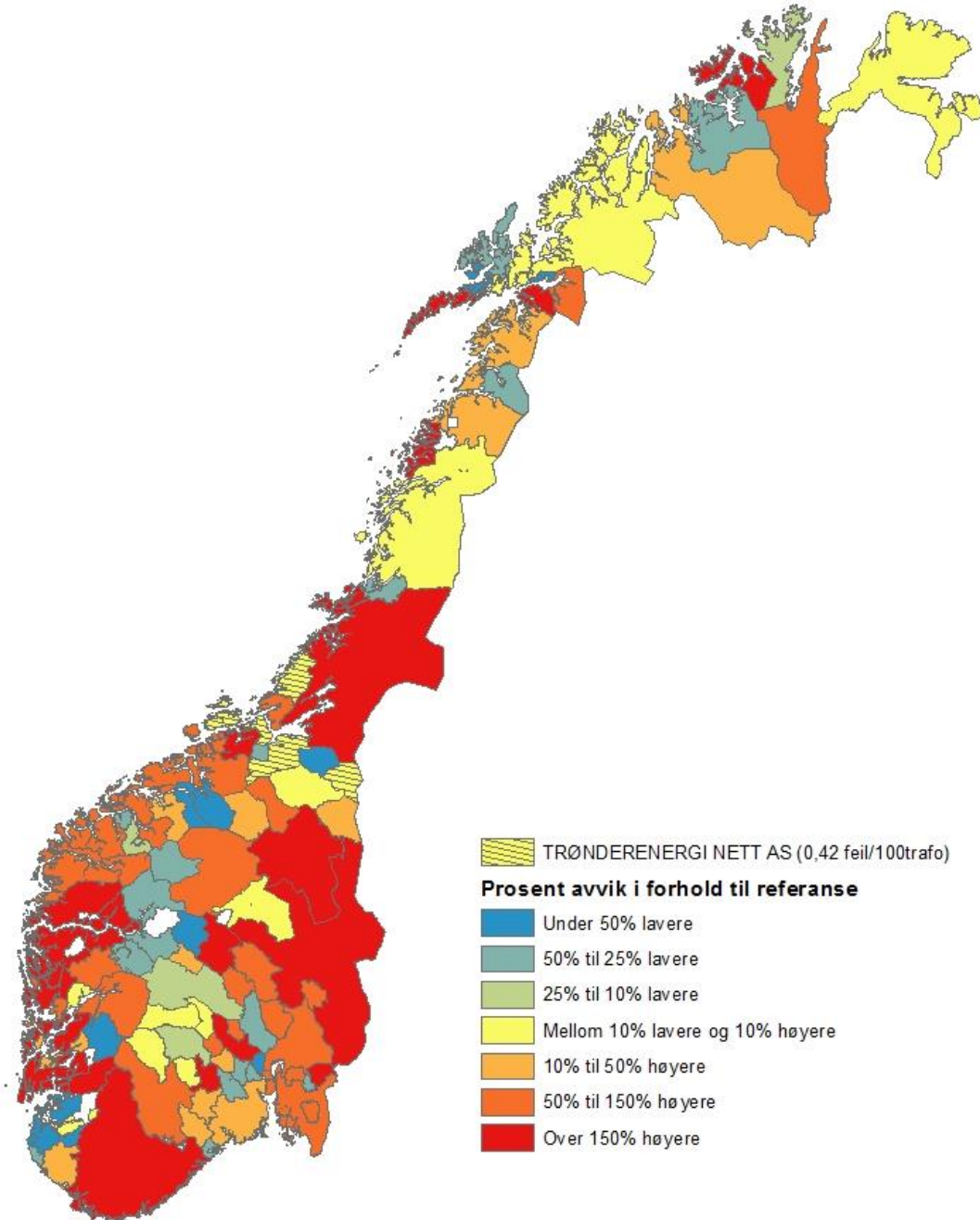
Figur 12: Sammenligning av feilrate på kraftledning med Trønderenergi som referanse.

Feilrate kabel (11-22kV)



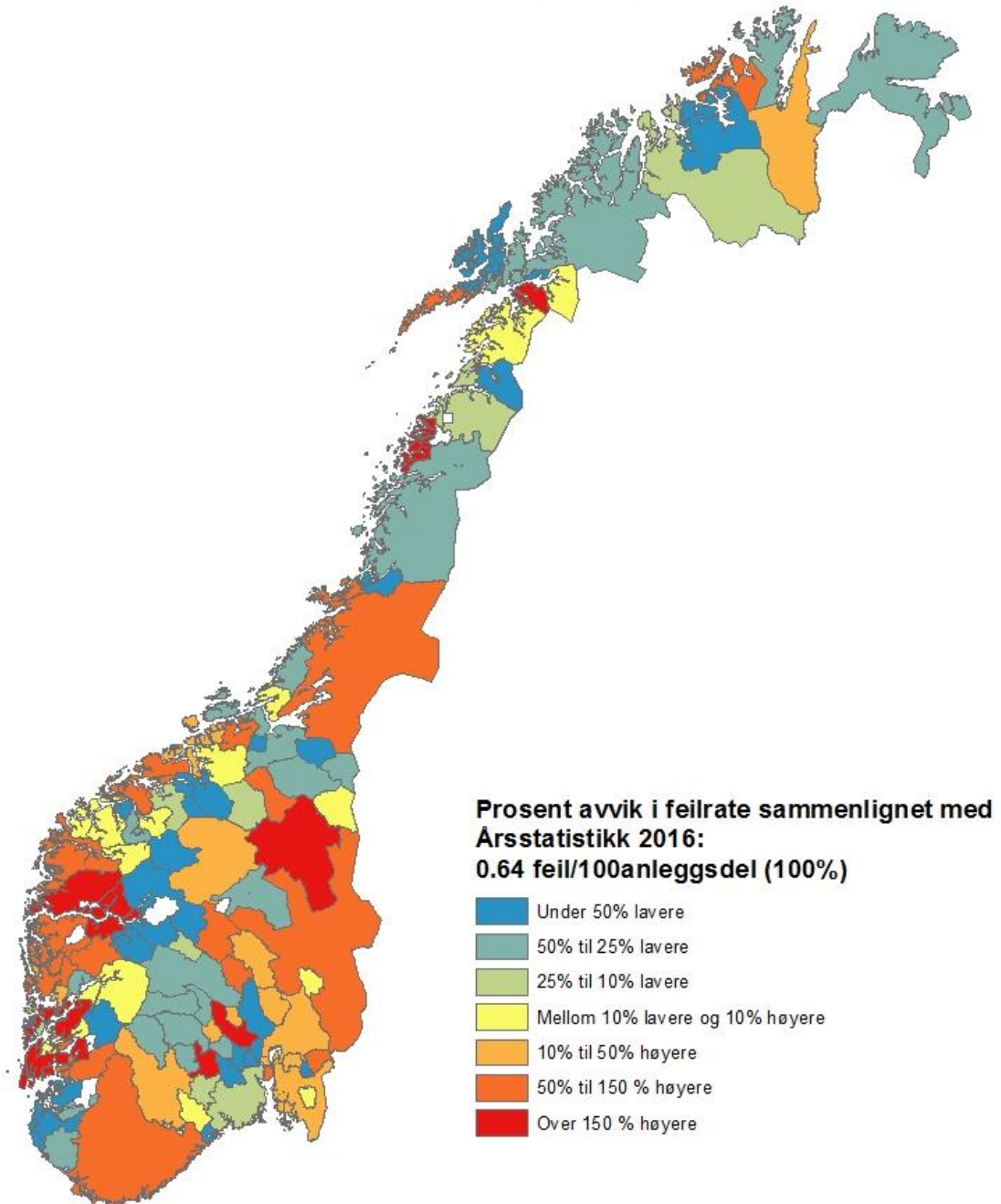
Figur 13: Sammenligning av feilrate på kabel med Trønderenergi som referanse.

Feilrate transformator (1-22kV)



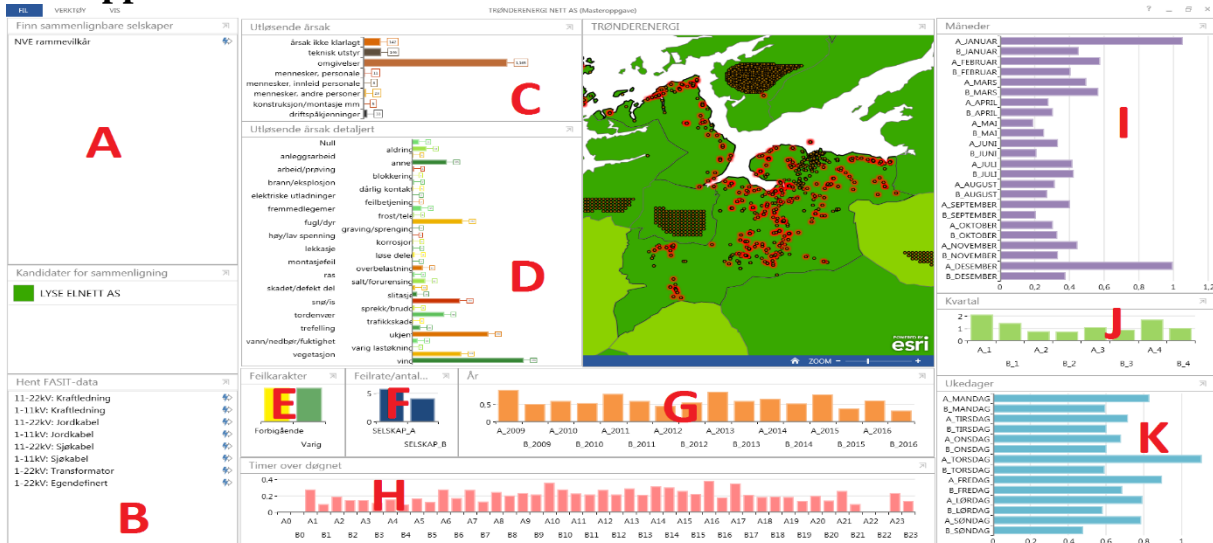
Figur 14: Sammenligning av feilrate på transformator med Trønderenergi som referanse.

Feilrate transformator



Figur 15: Feilrate for transformator sammenlignet med landsgjennomsnitt.

4.6. Oppsett av GIS-dashbord

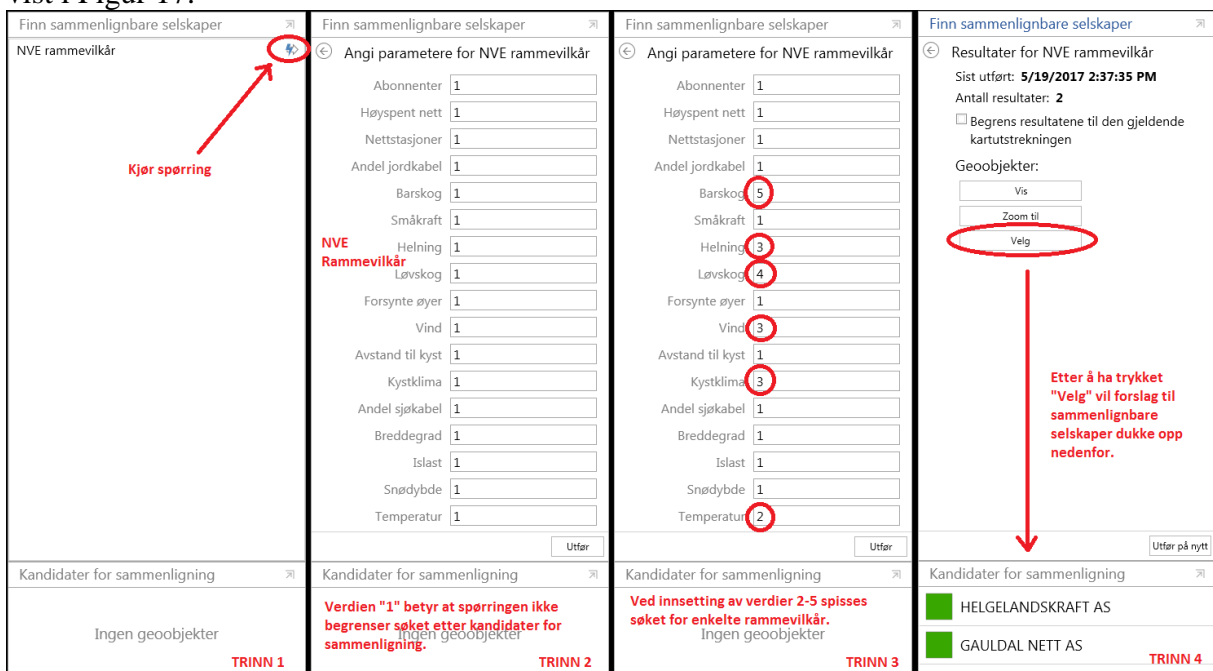


Figur 16: Oppsett av nytt dashboard i oppgaven med fokus på sammenligning av selskaper.

En ny dashboardvisning ble utviklet i oppgaven. I motsetning til prosjektoppgaven ble sammenligning mellom nettselskaper prioritert. Sammenligning av feilrater for selskaper vises i diagram F på Figur 16. Diagrammene G, H, I, J og K viser hvordan bestanddeler av denne feilraten fordeler seg med tidspunkt på døgnet, ukedag og over året. Diagrammene C, D og E viser totalt antall pr årsak og feilkarakter for begge selskaper. Ved å klikke på stolpene i disse tre diagrammene kan man velge å analysere statistikk innenfor en bestemt feilkarakter eller årsak. Dette kan for eksempel være statistikk for varige feil som følge av tordenvær.

4.6.1 Søk etter sammenlignbare selskap

Felt A i Figur 16 er ment for å hjelpe brukeren til å finne et sammenlignbart selskap. Her kan man spørre mot sammenlignbarhetsgrensene i Tabell 6 for å justere søket. Dersom man ønsker å sammenligne feilstatistikk for trefall vil det kanskje være naturlig å framheve "Barskog" og/eller "Løvsog". Prosessen for hvordan dette i praksis kan gjøres i løsningen er vist i Figur 17.



Figur 17: Stegvis prosedyre for å finne sammenlignbart selskap ved spørring i rammevilkårsdata.

I eksempelet i Figur 17 fokuseres det på rammevilkår som kan knyttes til blant annet skog og vind. Resultatet er en liste over to selskaper som oppfyller kriteriene for spørringen. Fargene ved siden av selskapsnavnet forteller hvor sammenlignbart selskapet er ut fra nivåene i Tabell 5 som vurderer alle rammevilkår likt. Kandidatene i listen er sortert stigende ut fra beregning av sammenlignbarhet på alle rammevilkår.

4.6.2 Hente ut feildata for sammenligning

Felt B i Figur 16 gir brukeren mulighet til å hente feildata for eget selskap og et sammenlignbart for ulike anleggsdeler. Siden det oppgaven kun ble beregnet feilrater for kraftledning, jordkabel, sjøkabel og transformator ligger disse inne med ferdige spørringer. Framgangsmåten for henting av FASIT-data er beskrevet i Figur 18.

TRINN 1

Hent FASIT-data

- 11-22 kV: Kraftledning
- 1-11 kV: Kraftledning
- 11-22 kV: Jordkabel
- 1-11 kV: Jordkabel
- 11-22 kV: Sjøkabel
- 1-11 kV: Sjøkabel
- 1-22 kV: Transformator
- 1-22 kV: Egendefinert

Velg anleggsdel og systemspenning

Kjør spørring

TRINN 2

Hent FASIT-data

Angi parametere for 11-22 kV: Kraftledning

Selskap B: NTE

Skriv inn navn på selskap for sammenligning. Statistikk for dette selskapet vises i alle søyler som som begynner på "B".

Søk etter feildata hos eget selskap og "Selskap B".

Utfør

TRINN 3

Hent FASIT-data

Resultater for 11-22 kV: Kraftledning

Sist utført: 5/9/2017 2:42:19 PM

Antall resultater: 3120

Begrens resultatene til den gjeldende kartutstrekningen

Geoobjekter:

Vis

Zoom til

Velg

Velger ut feildata i kart og fyller diagrammene med statistikk.

Utfør på nytt

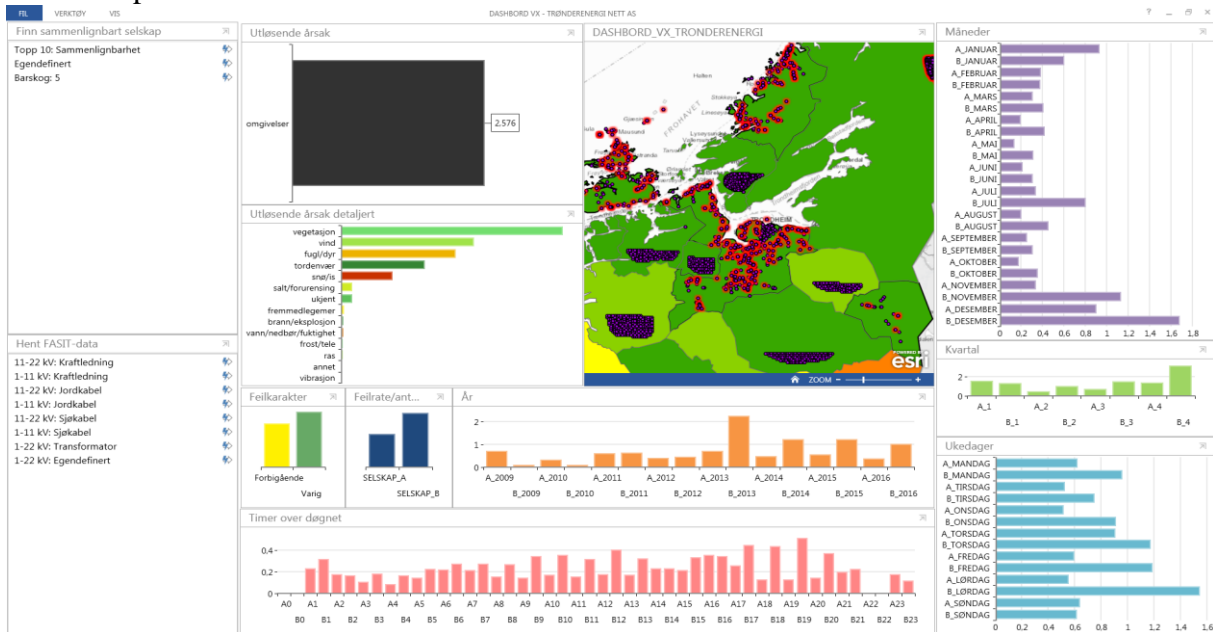
Figur 18: Stegvis gjennomgang av hvordan man laster inn feildata i dashbordet.

Dersom man kjører en av spørringene i Figur 18 blir man bedt om å skrive inn navn eller del av navn på selskap man vil sammenligne seg med. Navnet må være skrevet på samme måte som vist i kartet. Dersom man velger å se på andre anleggsdeler enn de fire som står spesifisert under TRINN 1 kjører man spørringen som heter "1-22 kV: Egendefinert". For disse anleggsdelene får man ikke opp feilrater i diagrammene, men antall feil. Navn på anleggsdel må skrives med små bokstaver.

5. RESULTAT: EGENUTVIKLET GIS FOR FEILSTATISTIKK

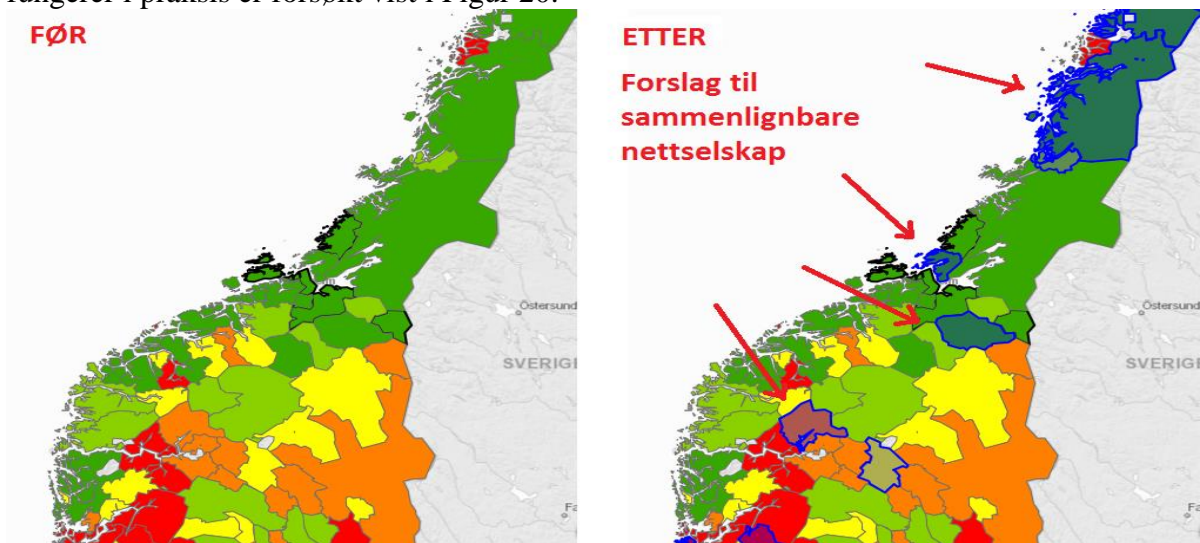
5.1 Brukergrensesnitt i dashboard

Hovedresultatet av oppgaven er en forbedret visning for feilstatistikk i kart. Figur 19 viser et skjermbilde av løsningen der statistikk fra Trønderenergi sammenlignes med et annet nettselskap.



Figur 19: Sammenligning feilstatistikk på 11-22 kV kraftledning hos Trønderenergi og et annet nettselskap. Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er det er det nettselskapet som brukeren har valgt å sammenligne med.

Øverst i venstre hjørne av Figur 19 kan man kjøre spørringer for å finne ut hvilke selskaper man vil sammenligne seg med. Resultatet av spørringen presenteres i kartet slik at brukeren enkelt får oversikt over hvilke alternativer for sammenligning som finnes. Hvordan dette fungerer i praksis er forsøkt vist i Figur 20.



Figur 20: Kartet til venstre viser grad av sammenlignbarhet i forhold til Trønderenergi der alle rammevilkår inngår. Til høyre vises resultat av spørring der rammevilkåret "Barskog" er prioritert. Selskaper med blått omriss er sammenlignbare i forhold til Trønderenergi dersom man kun ser denne faktoren.

Denne type spørring kan kjøres på flere rammevilkår samtidig der grad av sammenlignbarhet bestemmes av brukeren ved å sette et heltall mellom 1 og 5 vist i Figur 21.

Parameter	Verdi
Abonnenter	1
Høyspent nett	1
Nettstasjoner	1
Andel jordkabel	1
Barskog	5
Småkraft	1
Helning	1
Løvskog	1
Forsynte øyer	1
Vind	1
Avstand til kyst	1
Kystklima	1
Andel sjøkabel	1
Breddegrad	1
Islast	1
Snødybde	1
Temperatur	1

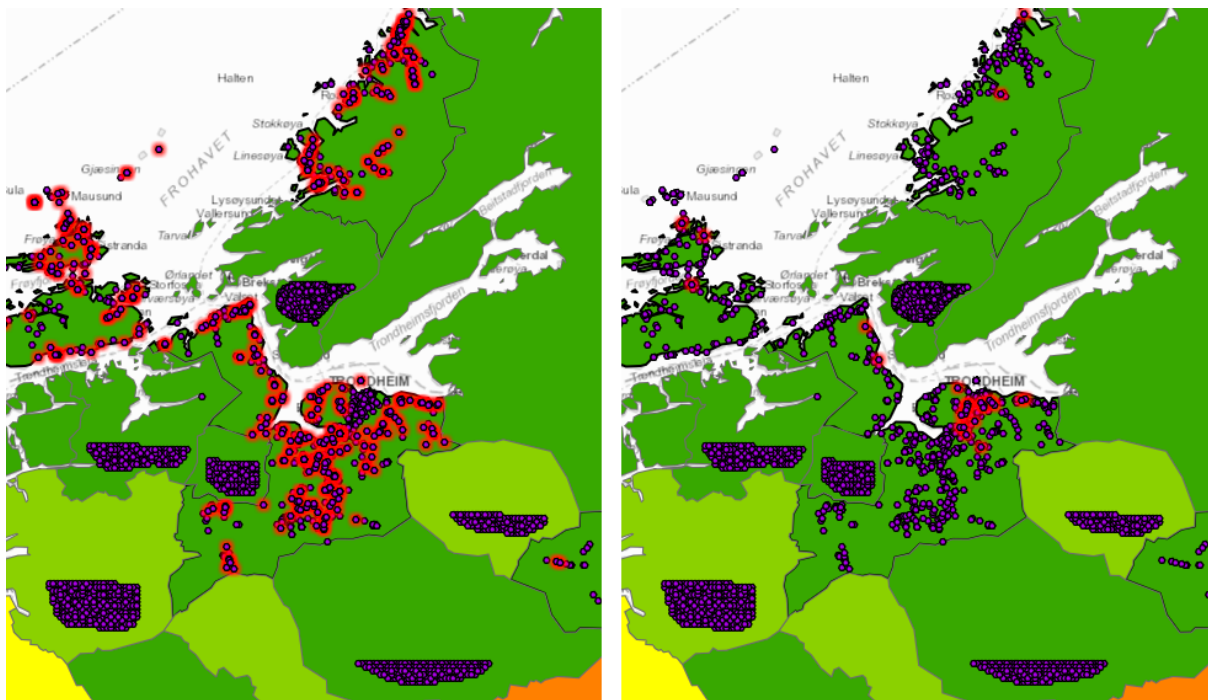
Figur 21: Meny der brukeren kan velge blant ulike faktorer for å finne et nettselskap egnet for sammenligning. Her har kun rammevilkåret "Barskog" fått prioritet.

Når brukeren har notert seg navnet på selskapet det skal sammenlignes mot, kan spørringen nederst i venstre hjørne brukes til å hente FASIT-data om dette selskapet. FASIT-data for eget selskap blir hentet automatisk. Det er her mulig for brukeren å sammenligne feilrater på fire ulike anleggsdeler; kraftledning, jordkabel, sjøkabel og transformator. For de tre første er det et skille på om systemspenningen er større eller lik 11 kV eller under 11 kV. Dette kommer av måten NVE samler anleggsdata i eRapp på.

Etter at denne spørringen er kjørt vil løsningen vise feilstatistikk i de ulike diagrammene. Diagrammene "Utløsende årsak", "Utløsende årsak detaljert" og "Feilkarakter" i Figur 19 er ment for å snevre inn søket. Det er i Figur 19 valgt å vise statistikk for "Utløsende årsak = Omgivelser".

Feilraten for perioden 2009-2016 er vist i diagram med mørkeblå søyler i Figur 19. Her kan man se at Trønderenergi har en lavere feilrate enn selskapet det her sammenlignes med. For de resterende diagrammene vises det hvordan denne feilraten fordeler seg på ulike tidsskala; År, kvartal, måned, ukedager og timer over døgnet. For diagrammet "Timer over døgnet" i Figur 19 betyr søyle "A0" feilrate for perioden 2009-2016 hos Trønderenergi mellom klokkeslett 00:00 og 01:00.

Kartet viser de tilhørende koordinatene til feildata som ligger i dataunderlaget. Dette får fram det geografiske ulikhetene som det for eksempel er på urbane og grisgrendte strøk, noe som er illustrert i Figur 22.



Figur 22: Kart til venstre viser feil på kraftledning, mens feil på kabel er vist til høyre. De ulike geografiske fordelingene av feil kommer av at kabel er mer brukt i byer som Trondheim enn i distriktene.

Det er kun feil hos Trønderenergi som er kartfestet. Feil hos de andre nettselskapene ligger samlet innenfor tilhørende konsesjonærrområde. Noen sammenligning av den geografiske fordelingen av feil innad i hvert nettselskap var derfor ikke mulig.

5.2 Statistikk i dashboard

Det ble fokusert på feilrate og hvordan denne fordeler seg over døgn, uke, måneder, kvartal og år. Feilrate er enklere å forstå enn ikke levert energi. Energi i seg selv er et begrep som kan være vanskelig å få noe forhold til og ILE kan ikke sies å være noe lettere. Selskap A i alle visninger er eget selskap, mens selskap B er kandidat for sammenligning.

5.2.1 Feilrate

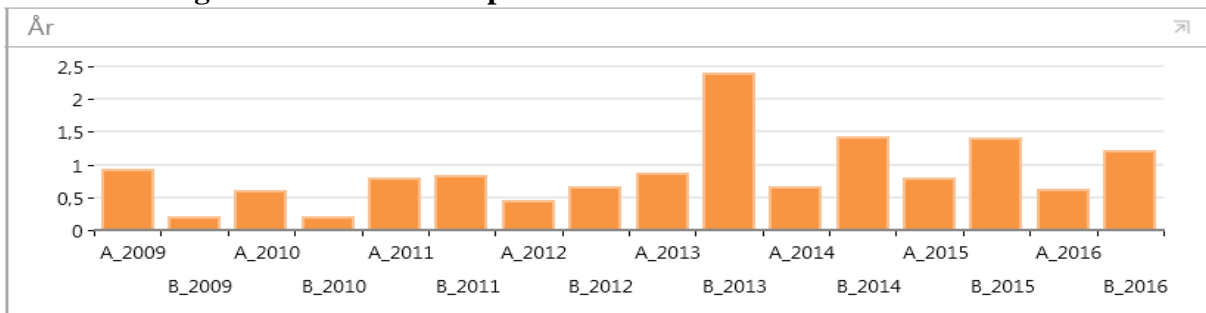


Figur 23: Sammenligning av feilrate for perioden 2009-2016. (Y-akse: antall feil/100km)

Den beregnede feilraten for perioden ble vist med mørkeblå søyler. Denne forteller brukeren hvor ofte man kan forvente feil for en gitt anleggsdel ved en gitt systemspenning. Enheten til feilraten vil være antall feil/100km. For transformatorer vil den være antall feil/100 transformator. Det er hittil ikke mulig å vise enhetene for diagrammene i dashboardet.

Feilratene i Figur 23 er åtteårige feilrater. I de resterende diagrammene (H-K i Figur 16) blir disse åtteårige feilratene fordelt på år, kvartal, måned, ukedag og time.

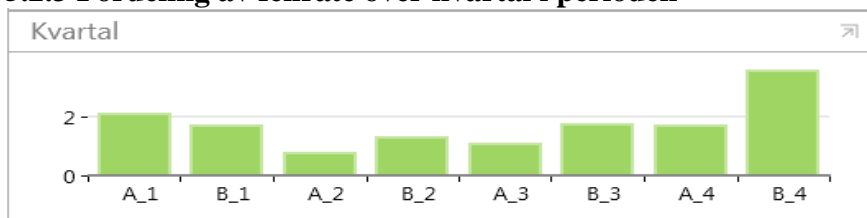
5.2.2 Fordeling av feilrate over år i perioden



Figur 24: Sammenligning av fordelt 2009-2016-feilrate over år. (Y-akse: antall feil/100km)

Figur 24 viser hvordan åtteårig feilrate kan presenteres for årene i perioden. Her kan brukeren få et innblikk i langsiktige trender i egen feilstatistikk sammenlignet med et annet nettselskap.

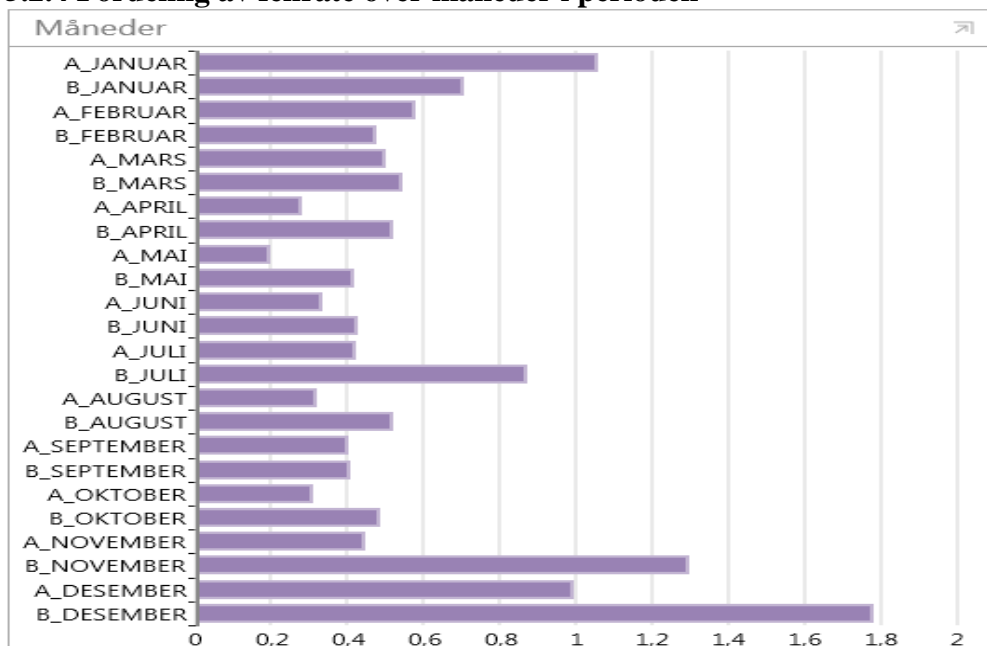
5.2.3 Fordeling av feilrate over kvartal i perioden



Figur 25: Sammenligning av fordelt 2009-2016-feilrate for kvartal. (Y-akse: antall feil/100km)

Figur 25 viser hvordan åtteårig feilrate kan presenteres for kvartalene i perioden. Noen feilårsaker er mer dominerende i enkelte kvartal. Dette kan være av interesse for eksempel for ansatte i nettselskap som jobber med vedlikehold og drift.

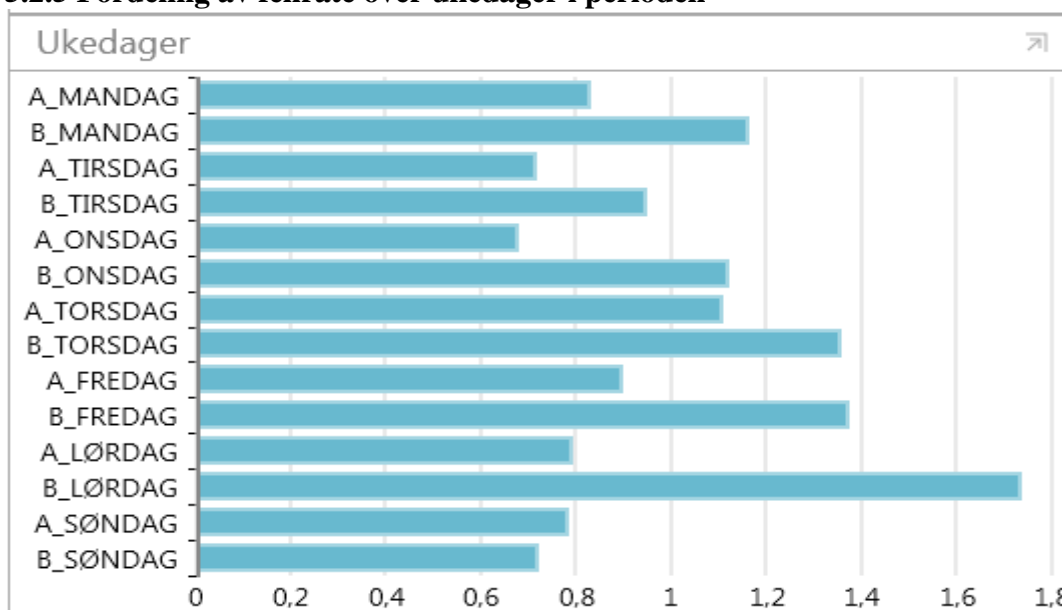
5.2.4 Fordeling av feilrate over måneder i perioden



Figur 26: Sammenligning av fordelt 2009-2016-feilrate for måned. (Y-akse: antall feil/100km)

Figur 26 viser hvordan åtteårig feilrate kan presenteres for månedene i perioden. Fordeling av feil over månedene vil i likhet med kvartalene (vist i Figur 25) være av interesse for drift og vedlikehold.

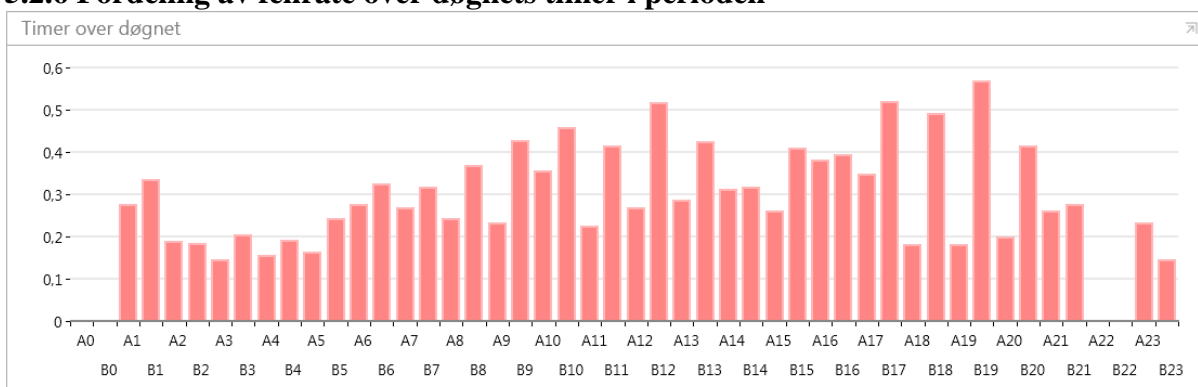
5.2.5 Fordeling av feilrate over ukedager i perioden



Figur 27: Sammenligning av fordelt 2009-2016-feilrate for ukedag. (Y-akse: antall feil/100km)

Figur 27 viser hvordan åtteårig feilrate kan presenteres for ukedagene i perioden. Siden en normal arbeidsuke består av fem arbeidsdager (mandag-fredag) og to fridager (lørdag og søndag) kan man det oppstå interessante variasjoner. For eksempel som følge av lav bemanning i helger.

5.2.6 Fordeling av feilrate over døgnet timer i perioden



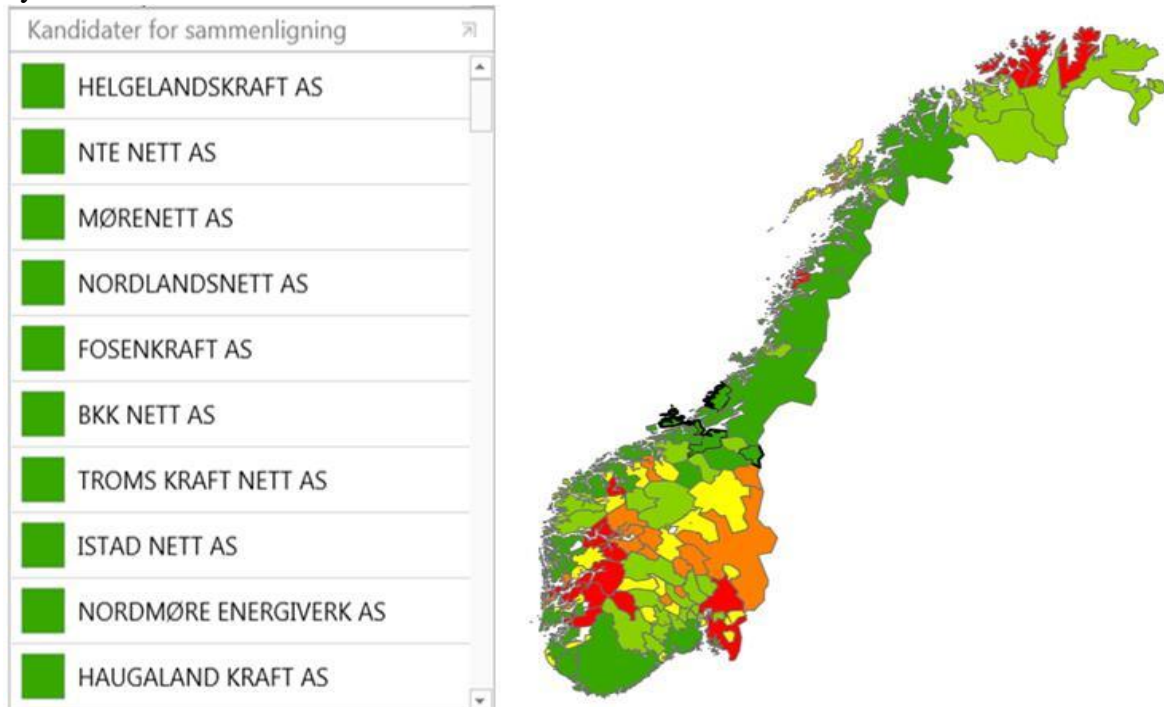
Figur 28: Sammenligning av fordelt 2009-2016-feilrate for time. (Y-akse: antall feil/100km)

Figur 28 viser hvordan åtteårig feilrate kan presenteres fordelt på timer for perioden. Forståelse av når på dagen sannsynligheten for visse typer feil er størst kan være av interesse for ulike grupper innenfor nettselskap. Time A0 betyr mellom kl 00.00 og kl 01.00 på natta.

I de neste kapitelene er det forsøkt foretatt noen sammenligninger av feilstatistikk for Trønderenergi, Tinn Energi og Sunnfjord Energi. Dashbordvisning for de samme selskapene ble også presentert i prosjektoppgaven [4]. Det ble gjort mest mulig detaljerte sammenligninger ut fra anleggsdel, systemspenning og utløsende årsak.

5.3 Eksempel: TRØNDERENERGI

Ut fra metoden beskrevet i kapittel 3.5 ble grad av sammenlignbarhet for Trønderenergi kartlagt som vist i Figur 29. Figuren viser også "Topp 10" kandidater for sammenligning. Ut fra kartet i Figur 29 kan man se at de fleste av de mest sammenlignbare selskapene er relativt kystnære.



Figur 29: Rangert liste over topp ti sammenlignbare nettselskap for Trønderenergi.

Videre blir feilstatistikk forsøkt analysert for ulike anleggsdeler og utløsende årsaker. De anleggsdelene med flest registrerte feil, slik som for eksempel kraftledning, ble valgt for å få et stort nok datamateriale å analysere på.

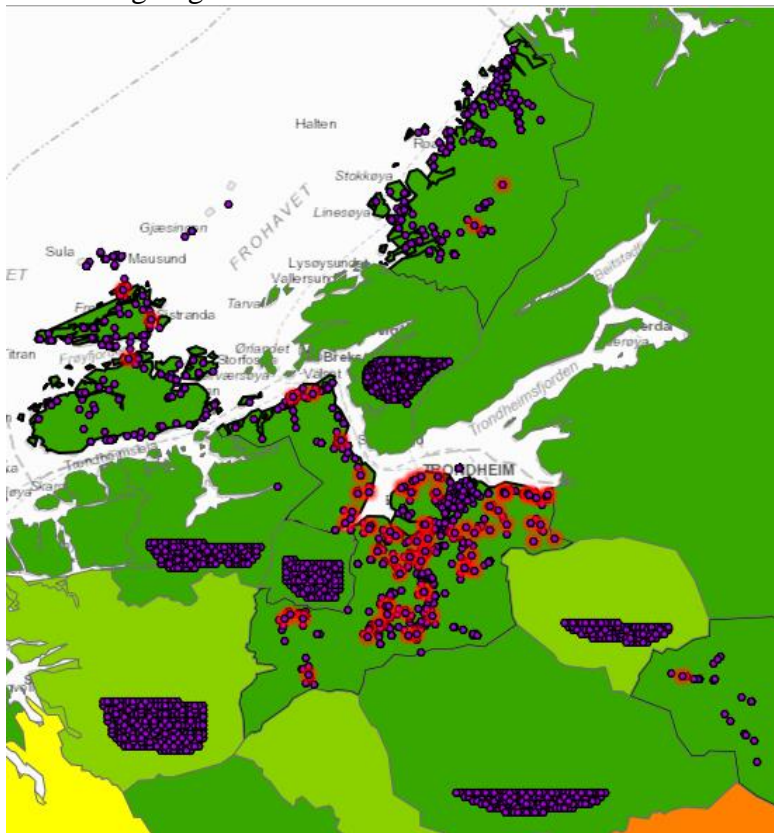
5.3.1 11-22 kV Kraftledning: Vegetasjon

Finn sammenlignbare	
Angi parametere for Alle rammevilkår	
Antall abonnenter	<input type="text" value="1"/>
Antall km høyspent	<input type="text" value="1"/>
Barskog	<input type="text" value="5"/>
Andel høyspent jordkabel	<input type="text" value="1"/>
Antall stasjoner	<input type="text" value="1"/>
Installert ytelse småkraft	<input type="text" value="1"/>
Helning	<input type="text" value="5"/>
Løvskog	<input type="text" value="5"/>
Antall forsynte øyer	<input type="text" value="1"/>
Vind	<input type="text" value="5"/>
Avstand til kyst	<input type="text" value="1"/>
<input type="button" value="Utfør"/>	

Figur 30: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på kraftledning med utløsende årsak "vegetasjon".

For å finne et sammenlignbart selskap for feil forårsaket av vegetasjon ble det fokusert på fire rammevilkår; Barskog, helning, løvskog og vind. Prioriteringen er vist i Figur 30. Mye skog

langs linjene, enten det er barskog eller løvskog, antas å spille en rolle. Helning i terrenget påvirker hvor værutsatt et område kan være, mens vind er den vanligste årsaken til trefall. Med prioriteringen som vist i Figur 30 ble Helgelandskraft funnet som eneste kandidat for sammenligning.



Figur 31: Utbredelse av feil som følge av vegetasjon hos Trønderenergi.

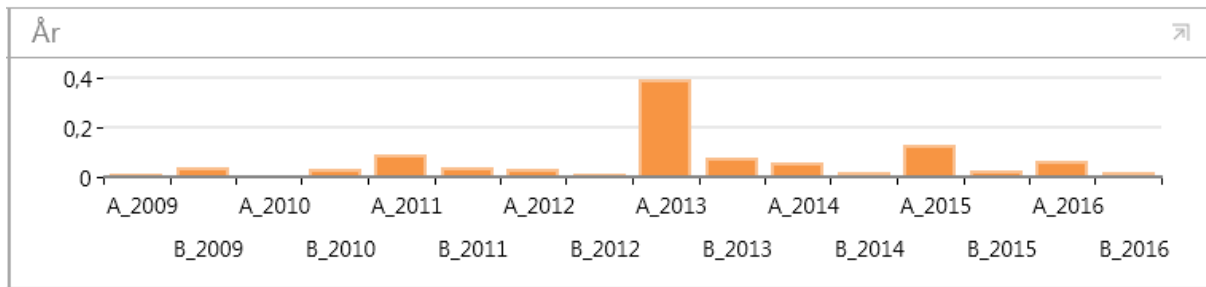
Figur 31 viser at feil som følge av vegetasjon skjer hyppigst i områder der det er mer skog, slik som Bymarka, Estenstadmarka eller områder sør for Trondheim. Man ser at områdene helt ute ved kysten har lite feil som følge av vegetasjon. Dette kan forklares med at det er lavere og mindre vegetasjon ved kysten.



Figur 32: Sammenligning av feilrate for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vegetasjon" i perioden 2009-2016. Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Helgeland Kraft.

Sammenlignet med Helgeland Kraft har Trønderenergi en over dobbelt så høy feilrate, se Figur 32. Ut fra rammevilkårsdataene var det tydelig at Trønderenergi har mye større høyspent distribusjonsnett enn Helgelandskraft. Det kan antas at denne faktoren ikke blir veid tungt nok i sammenlignbarhetsanalysen. Et selskap med stort nett vil få andre utfordringer enn

de med små som følge av for eksempel ekstremvær. Feillokalisering vil være lettere for små selskaper i slike situasjoner.



Figur 33: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vegetasjon". Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Helgeland Kraft.

Figur 33 viser hvordan denne feilraten fordeler seg på årene i perioden. Her kan man se at Trønderenergi hadde mye feil i 2013. November og desember 2013 hadde man to ekstremvær i Midt-Norge; Ivar og Hilde [15]. Både Trønderenergi og Helgelandskraft ble rammet av disse, men konsekvensen ble størst for Trønderenergi.

Størrelsen på nettet har ikke vært tatt i betraktning for denne analysen og vil nok kunne bety mye. Andre mulige forklaringer på forskjeller kan være vindretning eller at de to selskapene har ulik praksis når det kommer til skogrydding.

5.3.2 11-22 kV Kraftledning: Vind

Finn sammenlignbare

Angi parametere for Alle rammevilkår

Antall abonnenter:

Antall km høyspent:

Barskog:

Andel høyspent jordkabel:

Antall stasjoner:

Installert ytelse småkraft:

Helning:

Løvsskog:

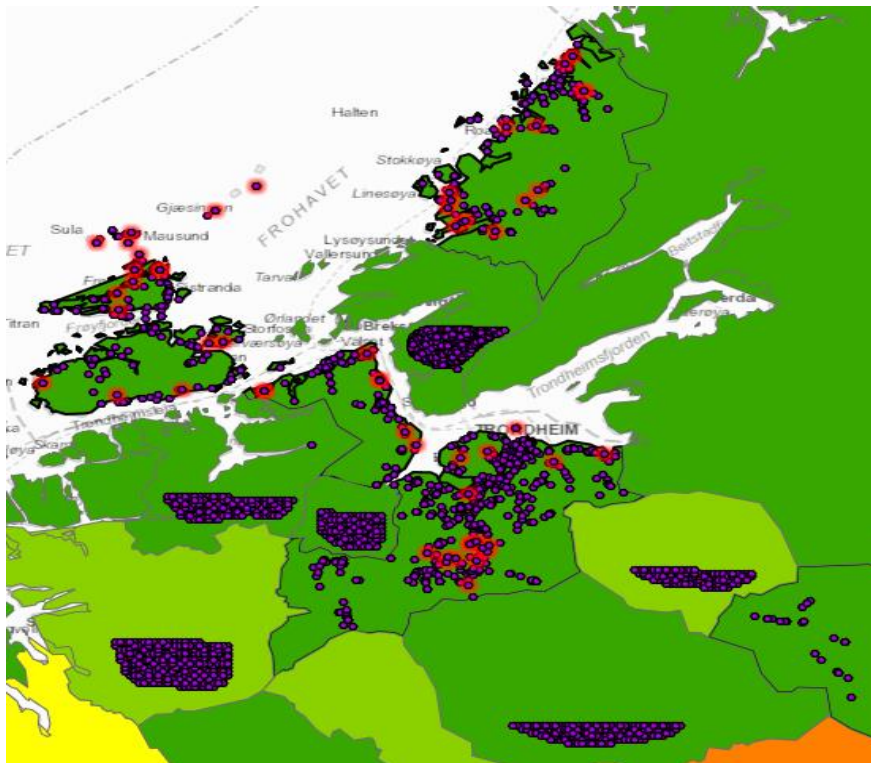
Antall forsynte øyer:

Vind:

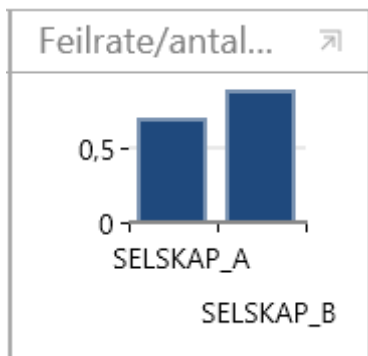
Avstand til kyst:

Figur 34: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på kraftledning med utløsende årsak "vind".

Vind er en av de viktigste årsakene til feil i kraftsystemet. Vind kan blant annet føre til at ledninger slår sammen eller at master havarerer. Ut fra prioriteringen av geografiske rammevilkår vist i Figur 34 ble Lyse Elnett funnet som et mulig godt sammenligningsalternativ. I denne analysen ble det fokusert på varige feil som følge av vind.

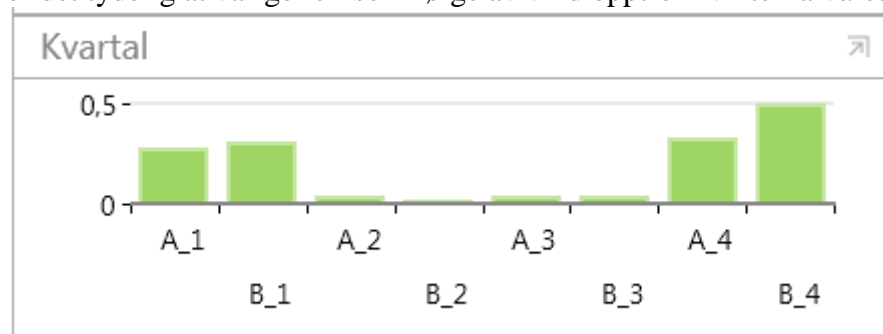


Figur 35: De fleste varige feil som følge av vind skjer ute ved kysten, eller i et vindutsatt område sør for Trondheim.



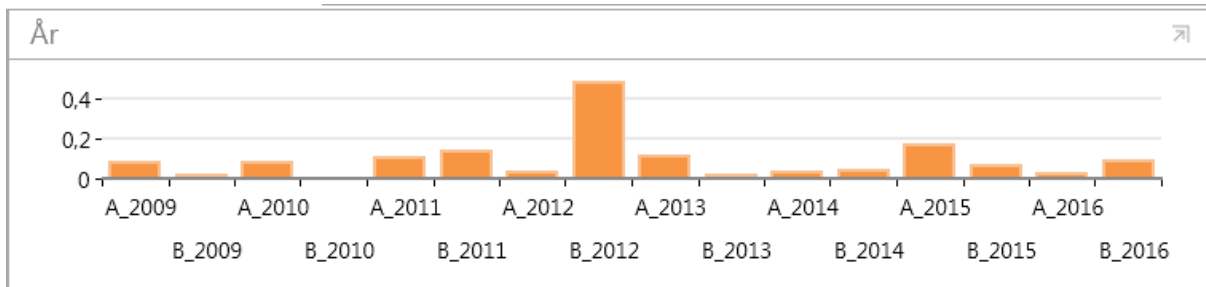
Figur 36: Sammenligning av feilrate for varige feil på 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vind" i perioden 2009-2016. Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Lyse Elnett.

Som man kan se av Figur 36 har Lyse Elnett flere feil i sitt distribusjonsnett enn Trønderenergi som følge av vind. Ser man på fordelingen av feil over kvartal, vist i Figur 37, er det tydelig at varige feil som følge av vind opptrer i vinterhalvåret.



Figur 37: Sammenligning av fordelt feilrate over kvartal i perioden (2009-2016) for varige feil på 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vind". Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Lyse Elnett.

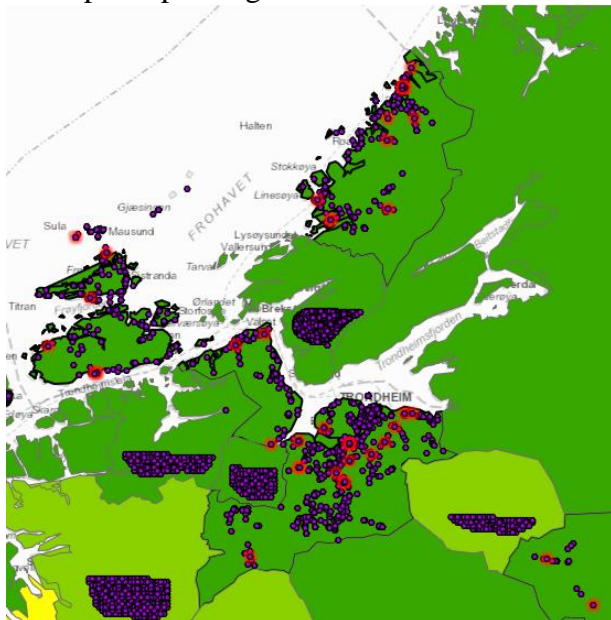
Fordelingen av disse feilratene over året er vist i Figur 38 og forteller at det for Lyse Elnett var et toppår i 2012. Trønderenergi har en mer jevn fordeling.



Figur 38: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for varige feil på 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vind". Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Lyse Elnett.

5.3.3 11-22 kV Kraftledning: Fugl/dyr

For å analysere feil som følge av årsaken fugl/dyr, ble alle rammevilkår prioritert like høyt. Dette pekte på Helgeland Kraft som beste selskap for sammenligning.



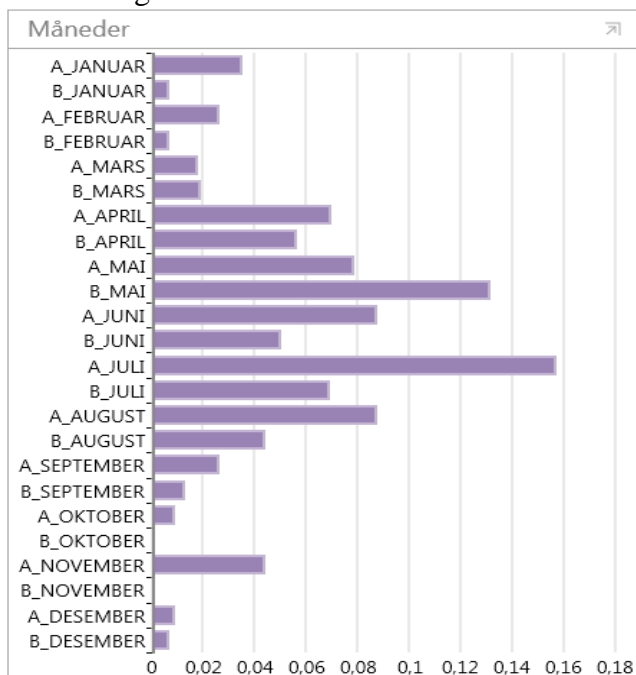
Figur 39: Posisjon til feil som følge av fugl/dyr hos Trønderenergi.

Som man kan se av Figur 39 skjer feil som følge av fugl/dyr overalt i gravgrendte strøk. De fleste av disse feilene er forbigående og vil derfor ikke gi avbrudd for sluttbruker.



Figur 40: Sammenligning av feilrate for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "fugl/dyr" i perioden 2009-2016. Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Helgeland Kraft.

I Figur 41 er det vises hvordan feilraten for de to selskapene fordeler som over månedene i perioden. Her ser man at feilene som følge av fugl/dyr skjer oftest fra april til september. Dette henger sammen med at fugler og dyr er mer aktive i sommerhalvåret og et stort innslag av trekkfugler.



Figur 41: Sammenligning av fordelt feilrate utover måned i perioden (2009-2016) for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "fugl/dyr". Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Helgeland Kraft.

5.3.4 11-22 kV Kraftledning: Tordenvær

Finn sammenlignbare

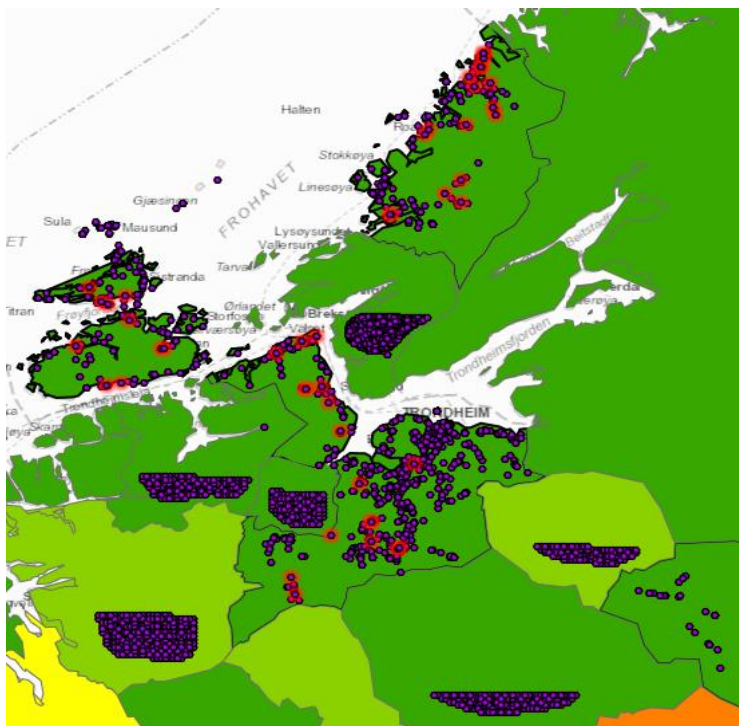
Angi parametere for Alle rammevilkår

- Antall abonnenter:
- Antall km høyspent:
- Barskog:
- Andel høyspent jordkabel:
- Antall stasjoner:
- Installert ytelse småkraft:
- Helning:
- Løvsskog:
- Antall forsynte øyer:
- Vind:
- Avstand til kyst:

Utfør

Figur 42: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på kraftledning med utløsende årsak "tordenvær".

Tordenvær fører til mange feil i distribusjonsnettet. Av rammevilkårene ble det fokusert på variablene "antall km høyspent" og "helning" for finne en egnet kandidat for sammenligning. Større nett vil gi større sannsynlighet for at lyn slår ned i kraftledning. Hvis terrenget er bratt vil dette kunne gjøre at kraftledningene blir mer eller mindre utsatt. Prioriteringen som ble brukt er vist i Figur 42.

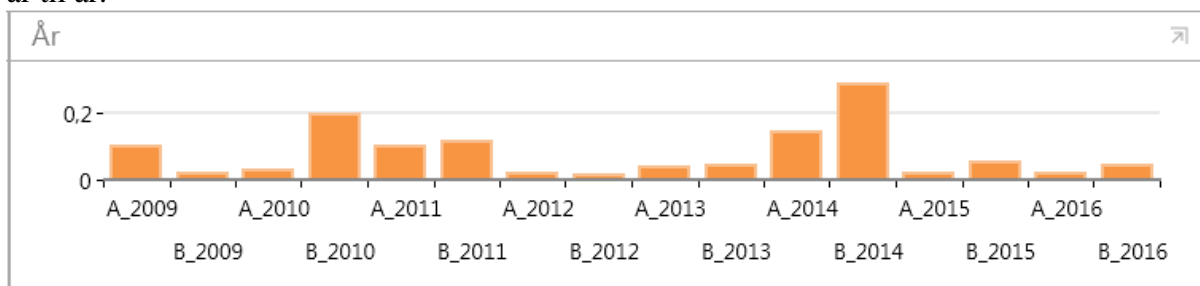


Figur 43: Kart som viser posisjonerte feil hos Trønderenergi med utløsende årsak "tordenvær".



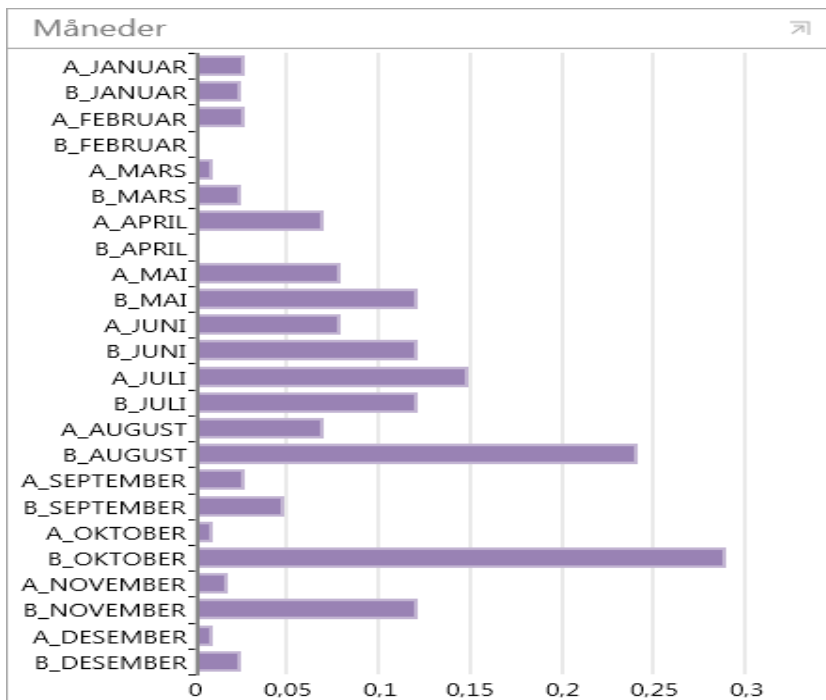
Figur 44: Sammenligning av feilrate for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "tordenvær" i perioden 2009-2016. Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Helgeland Kraft.

Den beregnede feilraten for de to selskapene var størst hos Helgeland Kraft. Ser man på fordelingen over årene i Figur 45 går det fram at tordenvær er en årsak som varierer sterkt fra år til år.



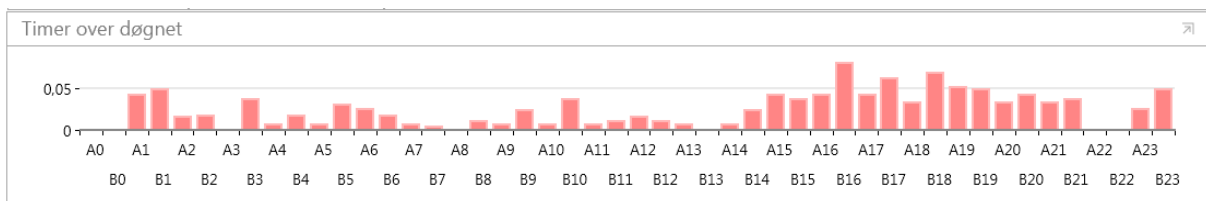
Figur 45: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "tordenvær". Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Helgeland Kraft.

Om man ser nærmere på fordelingen av feilrate på månedsbasis, vist i Figur 46, ser man at tordenvær er mest framtrødende i sommerhalvåret. Figuren viser også at Helgeland Kraft noe uventet har flest feil i oktober.



Figur 46: Sammenligning av fordelt feilrate utover måneder i perioden (2009-2016) for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "tordenvær". Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Helgeland Kraft.

Fordelingen av feilrate over time på døgnet, vist i Figur 47, forteller at begge nettselskap har flest feil som følge av lyn på ettermiddagen.



Figur 47: Sammenligning av fordelt feilrate utover timer i perioden (2009-2016) for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "tordenvær". Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Helgeland Kraft.

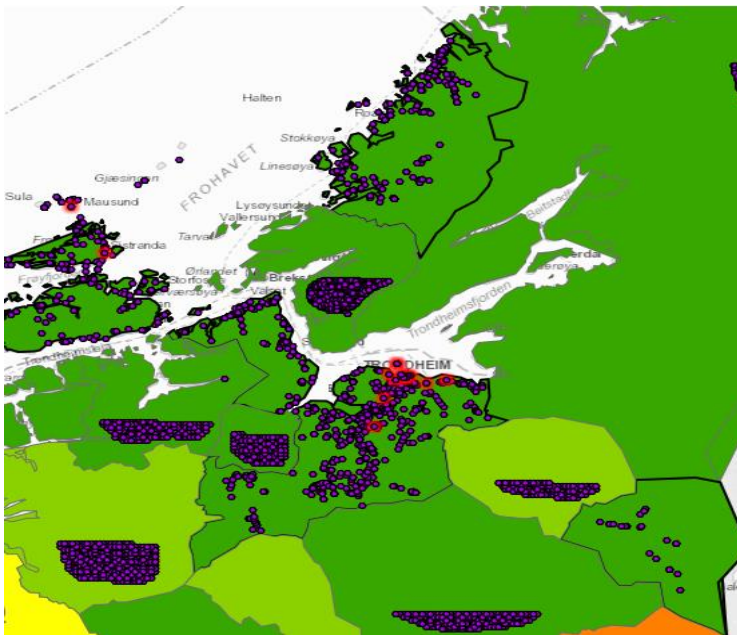
5.3.5 11-22 kV Kabel: Aldring

Siden kabler ligger under bakken er de mer beskyttet med hensyn til klimatiske forhold.

Finn sammenlignbare	
Angi parametere for Alle rammevilkår	
Antall abonnenter	<input type="text" value="1"/>
Antall km høyspent	<input type="text" value="1"/>
Barskog	<input type="text" value="1"/>
Andel høyspent jordkabel	<input type="text" value="5"/>
Antall stasjoner	<input type="text" value="1"/>
Installert ytelse småkraft	<input type="text" value="1"/>
Helning	<input type="text" value="1"/>
Løvsog	<input type="text" value="1"/>
Antall forsynte øyer	<input type="text" value="1"/>
Vind	<input type="text" value="1"/>
Avstand til kyst	<input type="text" value="1"/>
<input type="button" value="Utfør"/>	

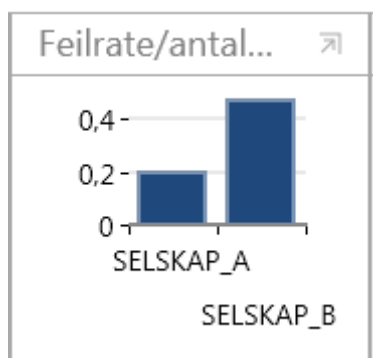
Figur 48: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på kabel med utløsende årsak "aldring".

I denne analysen ble rammevilkåret "Andel høyspent jordkabel" fremhevet for å finne ønsket kandidat for sammenligning. Dette resulterte i valget av Mørenett for sammenligning.



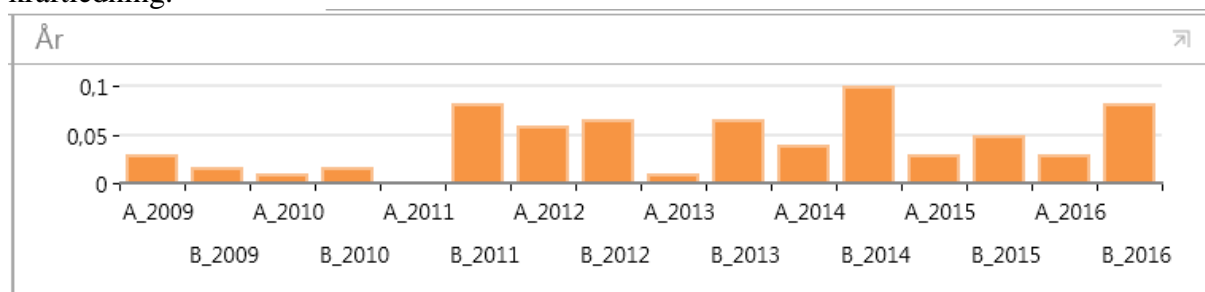
Figur 49: Geografisk posisjon på feil hos Trønderenergi på 11-22 kV jordkabel.

Feil som følge av aldring på kabel forutsetter at det finnes kabel som er bygget en viss periode tilbake. For løsningen i denne oppgaven ble det ikke tatt med når anlegg ble bygget.



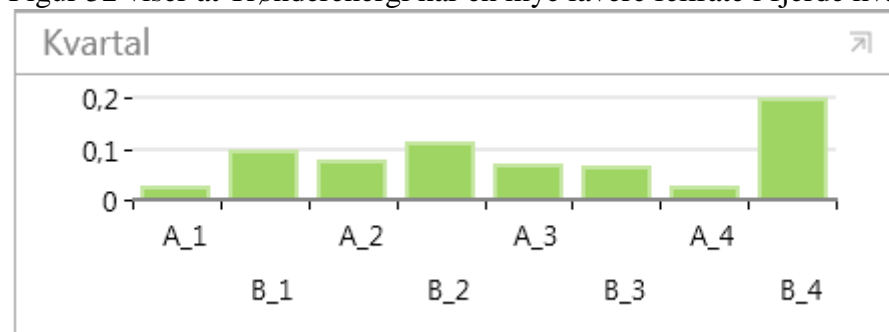
Figur 50: Sammenligning av feilrate for 11-22kV kabel der utløsende årsak er "aldring" i perioden 2009-2016. Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Mørenett.

Ser man på fordelingen over år, som er vist i Figur 51, ser man at det for begge selskaper har vært en økning i denne typen feil gjennom perioden. Mørenett (Selskap B) ligger jevnt over høyere enn Trønderenergi, men feilratene er lave sammenlignet med feilrater på for eksempel kraftledning.



Figur 51: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for 11-22kV kabel der utløsende årsak er "aldring". Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Mørenett.

Figur 52 viser at Trønderenergi har en mye lavere feilrate i fjerde kvartal enn Mørenett.



Figur 52: Sammenligning av fordelt feilrate over kvartal i perioden (2009-2016) for 11-22kV kabel der utløsende årsak er "aldring". Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Mørenett.

5.3.6 1-22 kV Transformator: Tordenvær

Den viktigste årsaken til havari av transformatorer i distribusjonsnettet er tordenvær. Årsaken til dette er at transformatorer er isolert med olje som lett kan antennes av lyn.

Finn sammenlignbare

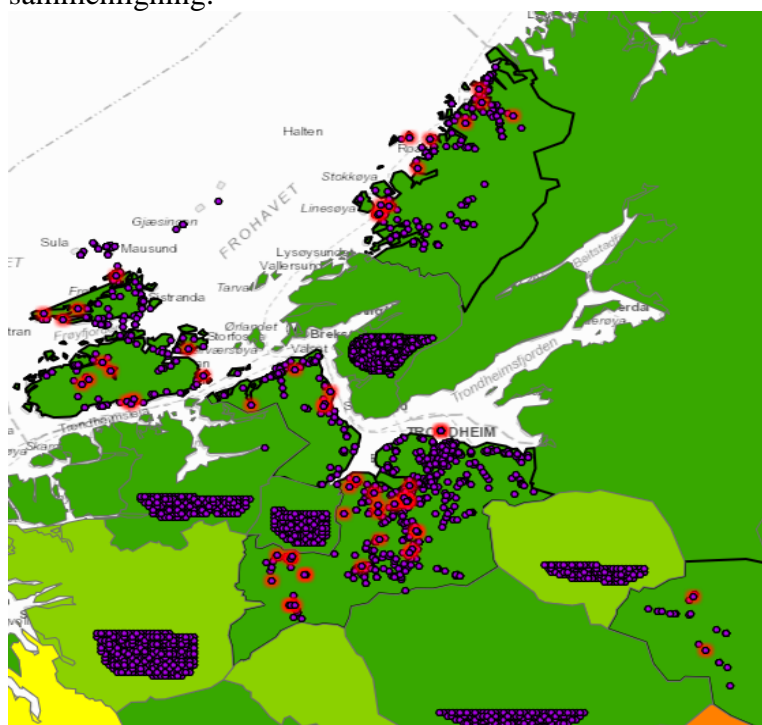
Angi parametere for Alle rammevilkår

Antall abonnenter	<input type="text" value="5"/>
Antall km høyspent	<input type="text" value="1"/>
Barskog	<input type="text" value="1"/>
Andel høyspent jordkabel	<input type="text" value="1"/>
Antall stasjoner	<input type="text" value="2"/>
Installert ytelse småkraft	<input type="text" value="1"/>
Helning	<input type="text" value="1"/>
Løvskog	<input type="text" value="1"/>
Antall forsynte øyer	<input type="text" value="1"/>
Vind	<input type="text" value="1"/>
Avstand til kyst	<input type="text" value="1"/>

Utfør

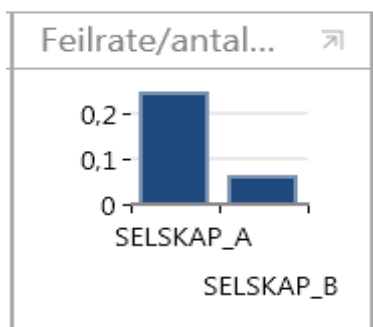
Figur 53: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på transformator med utløsende årsak "tordenvær".

For å finne en sammenligningskandidat til Trønderenergi på feil med årsaken "tordenvær" ble det fokusert på to rammevilkår; Antall abonnenter og antall stasjoner. Denne prioriteringen ble valgt, fordi det var ønskelig å finne et nettselskap med omtrentlig like mange transformatorer. Resultatet av spørringen ble Lyse Elnett som best egnede kandidaten for sammenligning.



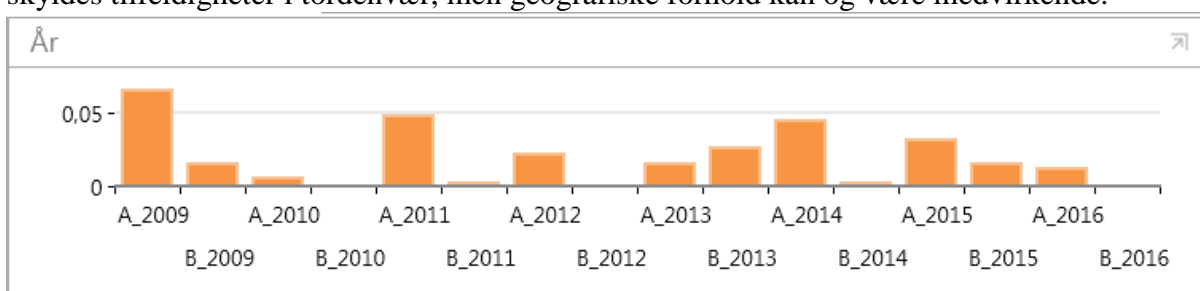
Figur 54: GPS-plasserte feil på transformator som følge av tordenvær hos Trønderenergi.

Feilsteder der transformatorhavari har skjedd i distribusjonsnettet til Trønderenergi er vist i Figur 54. Slike feil er begrenset til forekomst av transformatorer.



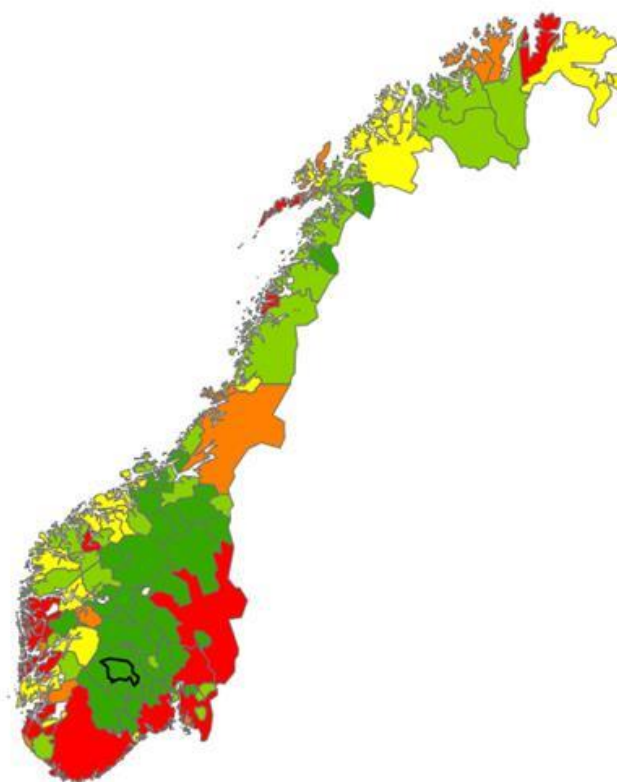
Figur 55: Sammenligning av feilrate for 11-22kV transformator der utløsende årsak er "tordenvær" i perioden 2009-2016. Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Lyse Elnett.

Analysen i dashbordet viste at Trønderenergi hadde en tydelig høyere feilrate enn Lyse Elnett. Figur 56 viser hvordan denne feilraten fordeler seg over årene i perioden. Forskjellene kan skyldes tilfeldigheter i tordenvær, men geografiske forhold kan og være medvirkende.



Figur 56: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for 11-22kV transformator der utløsende årsak er "tordenvær". Selskap A er Trønderenergi, mens selskap B er Lyse Elnett.

5.4 Eksempel: TINN ENERGI



Figur 57: Rangert liste over topp ti sammenlignbare nettselskap for Tinn Energi.

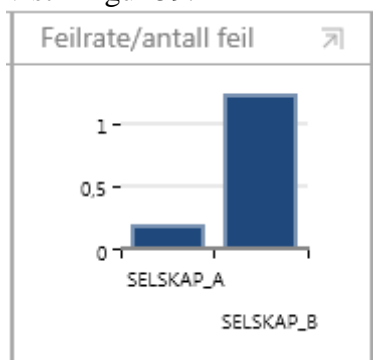
De beste kandidatene for sammenligning av feilstatistikk for Tinn Energi er vist i Figur 57. Disse selskapene hører tilhører en stor gruppe av mindre nettselskap på Østlandet. Nesten alle de sammenlignbare selskapene ligger langt fra kysten. Det ble ikke gjort like mange analyser for dette selskapet, siden dataunderlaget var mangelfullt.

5.4.1 11-22 kV Kraftledning: Vegetasjon

Finn sammenlignbare	
Angi parametere for NVE rammevilkår	
Abonnenter	1
Høyspent nett	1
Nettstasjoner	1
Andel jordkabel	1
Barskog	5
Småkraft	1
Helning	4
Løvskog	3
Forsynte øyer	1
Vind	5
Avstand til kyst	1
Kystklima	1
Andel sjøkabel	1
Breddegrad	1
Islast	1
Snødybde	1
Temperatur	1
Utfør	

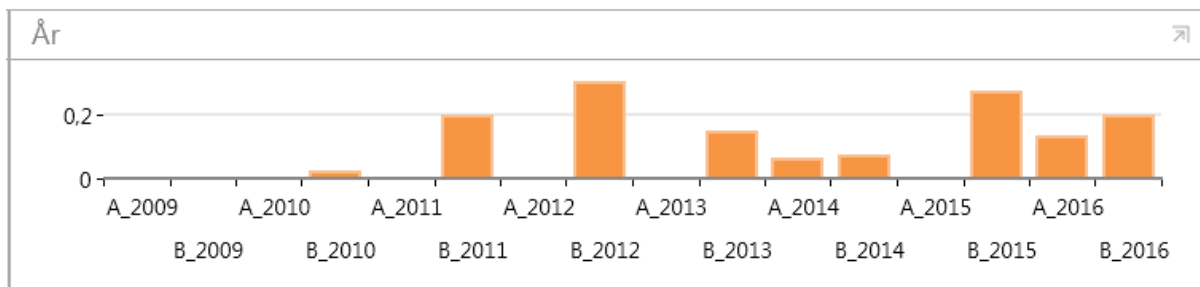
Figur 58: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på kraftledning med utløsende årsak "vegetasjon".

Resultatet av spørringen i Figur 58 foreslo sammenligning av feilstatistikk mot Hallingdal Kraftnett. Sammenligning av feilrate mellom disse to selskapene for perioden 2009-2016 er vist i Figur 59.



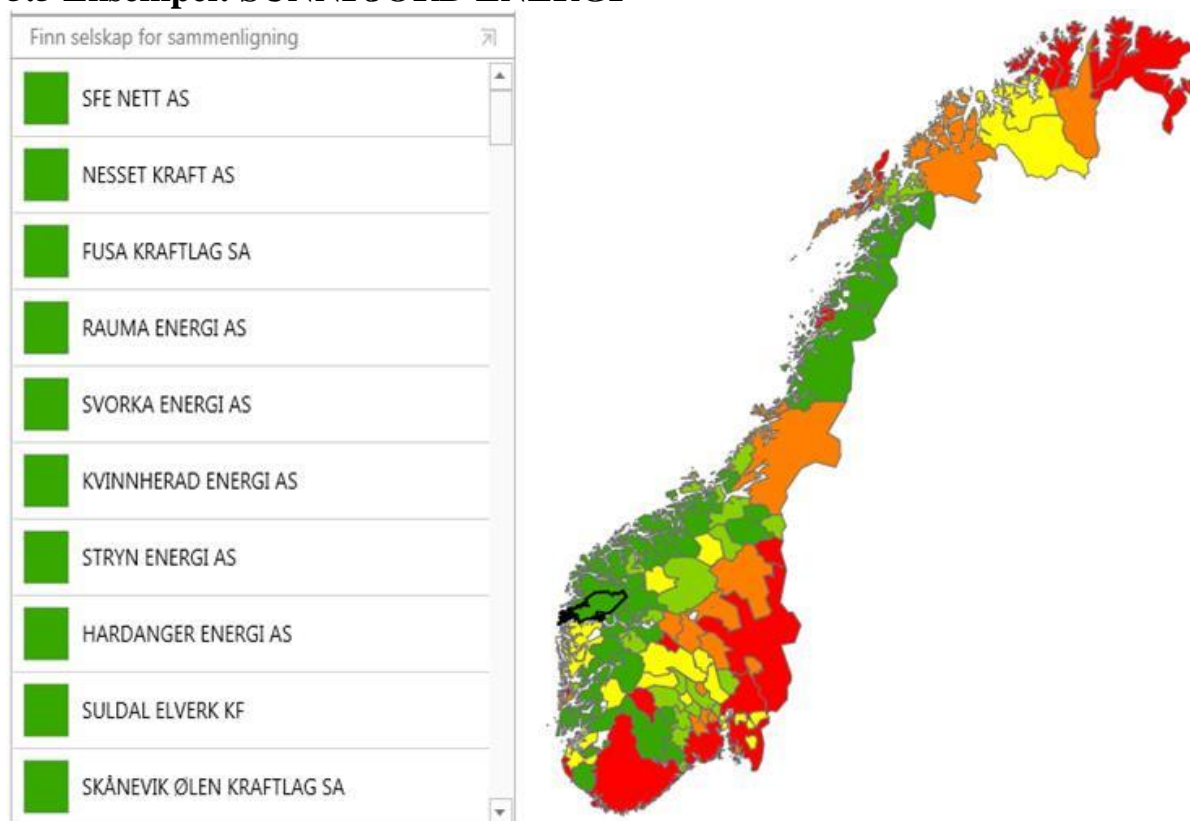
Figur 59: Sammenligning av feilrate for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vegetasjon" i perioden 2009-2016. Selskap A er Tinn Energi, mens selskap B er Hallingdal Kraft.

Resultatet i Figur 59 tilsier at Tinn Energi har en svært lav feilrate for denne nokså vanlige feilårsaken. Dersom man ser nærmere på hvordan denne feilraten fordeler seg på de ulike årene i perioden, som vist i Figur 60, er det tydelig at datagrunnlaget bakover i tid mangler. Det kan være flere ulike forklaringer på dette. Da både Tinn Energi og Hallingdal Kraftnett er relativt små konsesjonærer vil de ha få feil å rapportere årlig.



Figur 60: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vegetasjon". Selskap A er Tinn Energi, mens selskap B er Hallingdal Kraft.

5.5 Eksempel: SUNNFJORD ENERGI



Figur 61: Rangert liste over topp ti sammenlignbare nettselskap for Sunnfjord Energi.

Ut fra kartet i Figur 61 ser man at nettselskaper langs kysten er mest sammenlignbare i forhold til Sunnfjord Energi. Figuren viser også navn på de ti beste selskapene for sammenligning av feilstatistikk.

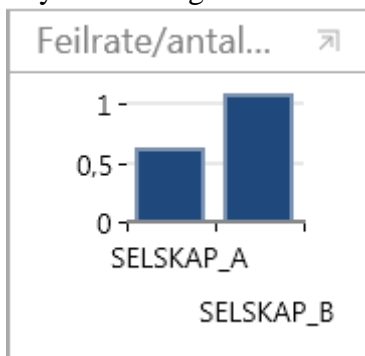
5.5.1 11-22 kV Kraftledning: Vegetasjon

For å finne de nettselskapene som er utsatt for feil som følge av trefall ble spørringen vist i Figur 62 kjørt på rammevilkårsvariablene.

Parameter	Verdi
Abonnenter	1
Høyspent nett	5
Nettstasjoner	1
Andel jordkabel	1
Barskog	5
Småkraft	1
Helning	1
Løvsog	3
Forsynte øyer	1
Vind	2
Avstand til kyst	1
Kystklima	1
Andel sjøkabel	1
Breddegrad	1
Islast	1
Snødybde	1
Temperatur	1

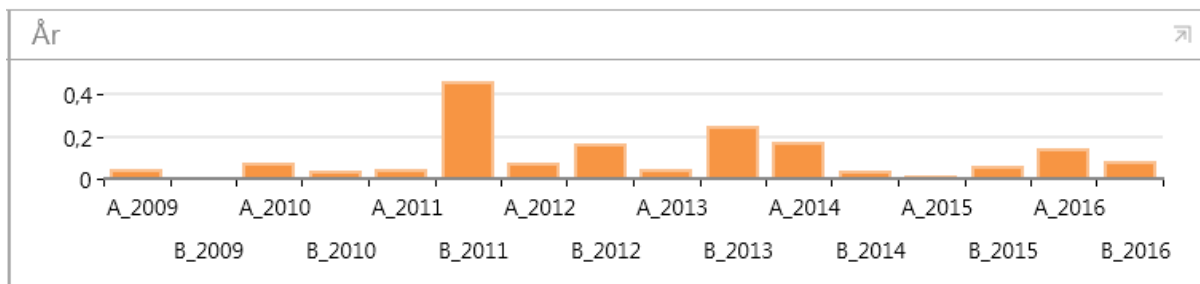
Figur 62: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på kraftledning med utløsende årsak "vegetasjon".

Det ble i spørringen i Figur 62 fokusert på rammevilkårene høyspent nett, barskog, løvsog og vind. Resultatet av spørringen oppga Istad Nett som beste kandidat for sammenligning. Mest mulig sammenlignbarhet på disse fire rammevilkårene burde bety lik eksponering for feil som følge av vegetasjon ut fra en subjektiv vurdering. I statistikken videre vises kun data knyttet til varige feil.



Figur 63: Sammenligning av feilrate for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vegetasjon" i perioden 2009-2016. Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er Istad Nett.

Figur 63 viser at Sunnfjord Energi har mindre feil som følge av trefall enn Istad Nett. Det kan tenkes at Istad Nett som ligger lenger ute på Mørkekysten ligger mer utsatt for vind og har traseer i brattere terreng enn Sunnfjord Energi og at dette driver opp feilraten i forhold til Sunnfjord Energi. En annen mulig teori er at større hendelser fører til forskjeller. Figur 64 viser at Istad Nett hadde langt flere feil for denne feilårsaken i 2011. Denne forskjellen kan mest sannsynlig forklares med ekstremværene Berit og Dagmar. 2011 kan ikke sees på som et "normalår" ifølge Årsstatistikk 2011 [16].



Figur 64: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vegetasjon". Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er Istad Nett.

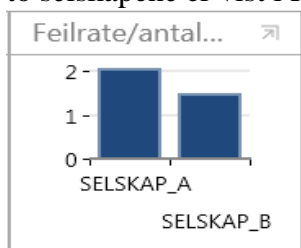
5.5.2 11-22 kV Kraftledning: Vind

For å finne sammenlignbare nettselskaper for feil med utløsende årsak vind ble vektingen av rammevilkårene vist som i Figur 65.

Parameter	Verdi
Abbonenter	1
Høyspent nett	4
Nettstasjoner	1
Andel jordkabel	1
Barskog	1
Småkraft	1
Helning	1
Løvsog	1
Forsynte øyer	1
Vind	3
Avstand til kyst	1
Kystklima	1
Andel sjøkabel	1
Breddegrad	1
Islast	1
Snødybde	1
Temperatur	1

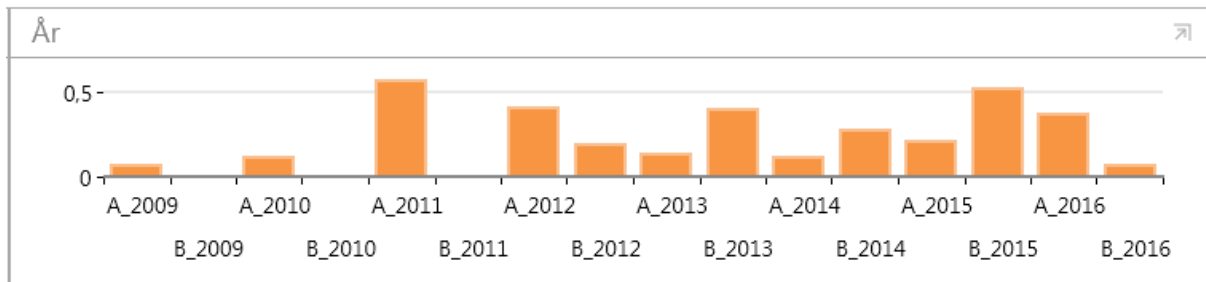
Figur 65: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskaper for feil på kraftledning med utløsende årsak "vind".

Denne vektingen foreslo Nordlandsnett for sammenligning av feilstatistikk. Feilrate for disse to selskapene er vist i Figur 66.



Figur 66: Sammenligning av feilrate for varige feil på 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vind" i perioden 2009-2016. Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er Nordlandsnett.

Sunnfjord Energi har ut fra Figur 66 en høyere feilrate enn Nordlandsnett som følge av vind på 11-22kV kraftledning. Om man ser på årene i perioden, som vist i Figur 67, ser man at denne differansen kan skyldes manglende dataunderlag for Nordlandsnett for årene 2009, 2010 og 2011. En mulig forklaring er at det kan være sammenslåinger eller ulike navn bakover i tid som er årsaken til dette.



Figur 67: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for varige feil på 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "vind". Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er Nordlandsnett.

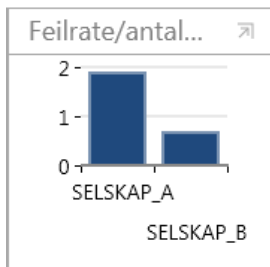
5.5.3 11-22 kV Kraftledning: Is/snø

Is/snø som legger seg på kraftledningsanlegg kan føre til store problemer for nettselskap inne i fjordene. Mye vind og temperatursvingninger rundt null sees ofte i sammenheng med denne typen feil.

Finn sammenlignbare	
Angi parametere for NVE rammevilkår	
Høyspent nett	2
Nettstasjoner	1
Andel jordkabel	1
Barskog	1
Småkraft	1
Helning	1
Løvskog	1
Forsynte øyer	1
Vind	1
Avstand til kyst	1
Kystklima	1
Andel sjøkabel	1
Breddegrad	1
Islast	5
Snødybde	5
Temperatur	1
Utfør	

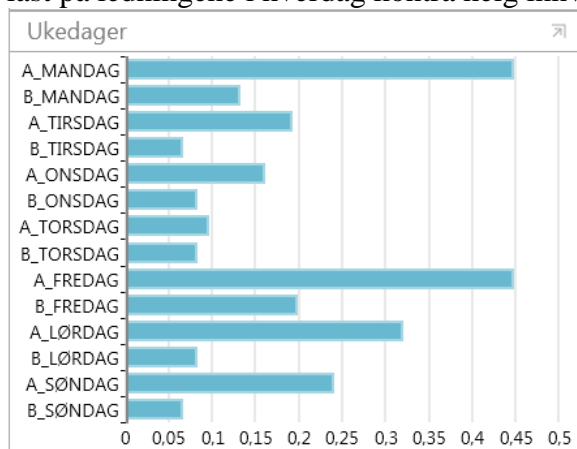
Figur 68: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på kraftledning med utløsende årsak "snø/is".

Figur 68 viser den subjektive vektningen av rammevilkårsvariablene som ble foretatt i denne analysen som resulterte i at Mørenett ble plukket ut som sammenlignbart selskap. Feilrate for Sunnfjord Energi sammenlignet med Mørenett for feil med utløsende årsak "snø/is" er vist i Figur 69.



Figur 69: Sammenligning av feilrate for varige feil på 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er " snø/is " i perioden 2009-2016. Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er Mørenett.

Grunnen til at Sunnfjord kommer dårligere ut enn Mørenett har mest sannsynlig å gjøre med at Mørenett ble opprettet i 2014 da Tussa Nett og Tafjord Kraftnett fusjonerte. Figur 70 viser hvordan feilraten fordeler seg på ukedagene i perioden. For Sunnfjord Energi kan man se at flest feil inntreffer Fredag-Mandag. Dette kan henge sammen med helgeavvikling eller at ulik last på ledningene i hverdag kontra helg innvirker på statistikken for feil som skyldes snø/is.



Figur 70: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for varige feil på 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "snø/is". Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er Mørenett.

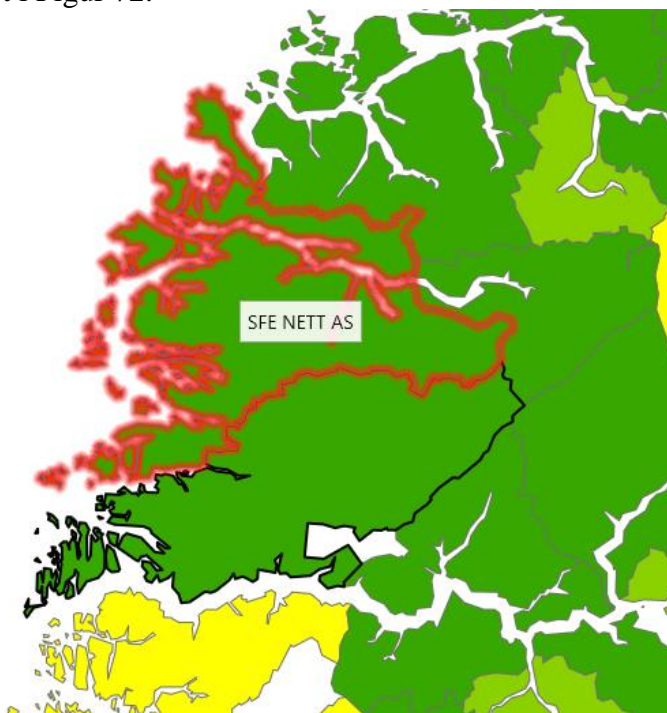
5.5.4 11-22 kV Kraftledning: Tordenvær

For å finne et sammenlignbart selskap til Sunnfjord Energi for feil som følge av tordenvær på kraftledning ble kombinasjonen av rammevilkårene i Figur 71. Begrunnelsen for de valgte verdiene bygger på en rekke subjektive antagelser.

Finn sammenlignbare	
Angi parametere for NVE rammevilkår	
Abonnenter	2
Høyspent nett	2
Nettstasjoner	2
Andel jordkabel	1
Barskog	1
Småkraft	1
Helning	1
Løvsog	1
Forsynte øyer	1
Vind	1
Avstand til kyst	2
Kystklima	3
Andel sjøkabel	1
Breddegrad	4
Islast	1
Snødybde	1
Temperatur	4
Utfør	

Figur 71: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på kraftledning med utløsende årsak "tordenvær".

Høy verdi for breddegradsfaktoren fjerner nettselskaper som ligger langt nord eller sør for Sunnfjord Energi. Prioritering av kystklima og kystavstand utelukker selskaper i innlandet. Likhet i temperatur antas å ha noe å si for hvor mye det tordner, siden det gjerne torden ofte forekommer på ettermiddagene når sola har varmet opp bakken. Valgene av verdier i Figur 71 ga SFE Nett som sammenlignbart selskap. SFE Nett ligger rett nord for Sunnfjord Energi som vist i Figur 72.



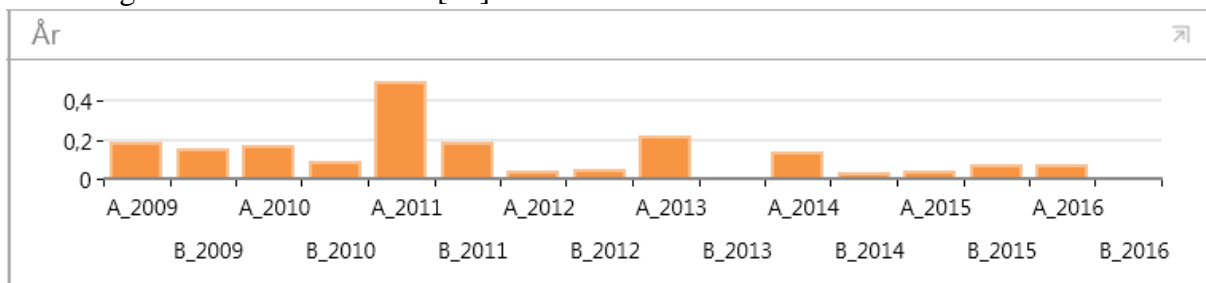
Figur 72: Konesjonærområdet til SFE Nett ligger rett nord for Sunnfjord Energi.

Feilraten til de to selskapene er vist i Figur 73. Sunnfjord Energi har tydelig hatt større problemer med tordenvær enn SFE Nett.

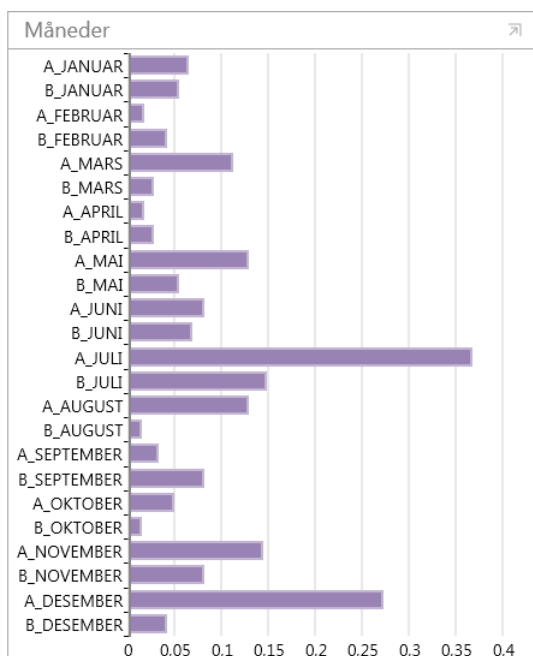


Figur 73: Sammenligning av feilrate for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "tordenvær" i perioden 2009-2016. Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er SFE Nett.

Fordelingen av feilrate på årene i perioden er vist i Figur 74. Her ser man at Sunnfjord Energi har større variasjoner enn SFE Nett. Dette kan muligens henge sammen med enkelte stormer og hvor eksponert anleggene er for torden i forbindelse med uvær. Figur 75 viser at Sunnfjord Energi har merkbart flere feil som følge av tordenvær i desember. Orkanen Dagmar fra 2011 traff Norge i slutten av desember [16].



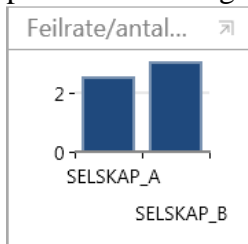
Figur 74: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "tordenvær". Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er SFE Nett.



Figur 75: Sammenligning av fordelt feilrate utover måneder i perioden (2009-2016) for 11-22kV kraftledning der utløsende årsak er "tordenvær". Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er SFE Nett.

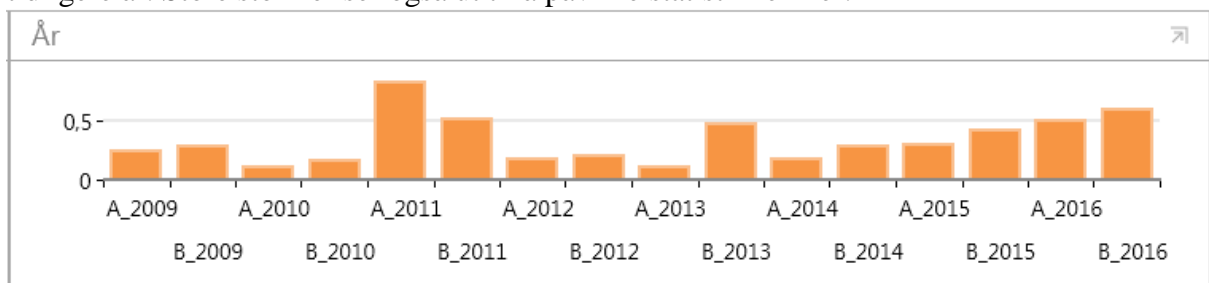
5.5.5 11-22 kV Kabel: Alle årsaker

I denne analysen ble rammevilkåret "andel høyspent jordkabel" gitt prioritet for å finne egnet nettselskap for å sammenligne feilrate på kabel. Dette resulterte i at SFE Nett på nytt ble plukket ut som egnet kandidat for sammenligning.



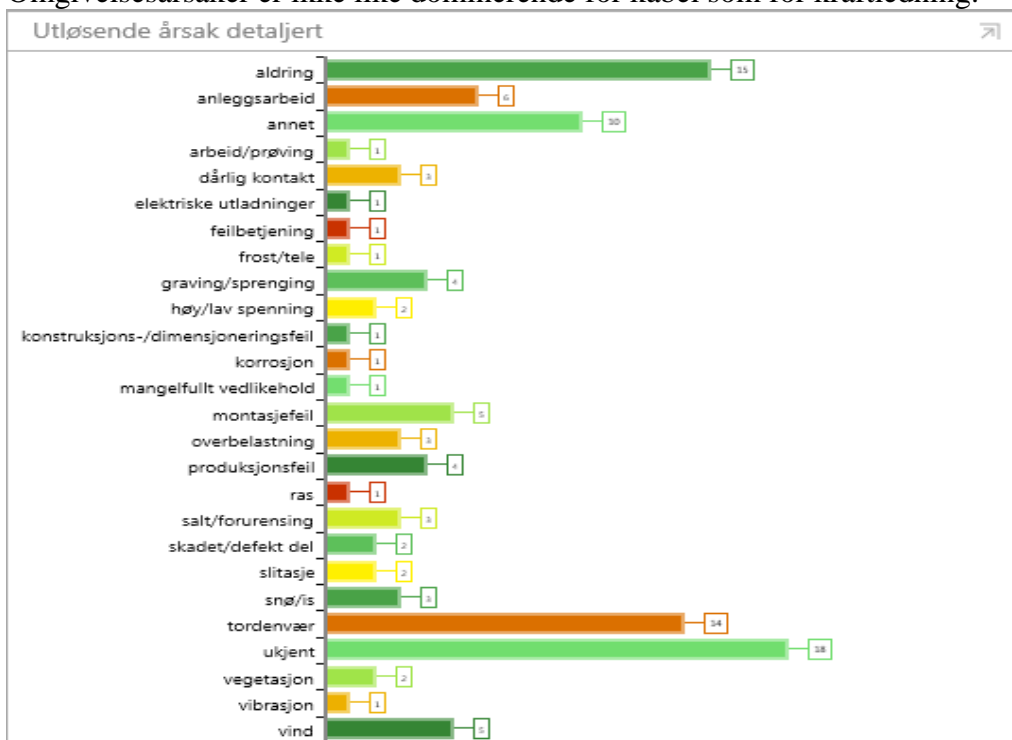
Figur 76: Sammenligning av feilrate for 11-22kV kabel i perioden 2009-2016. Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er SFE Nett.

Figur 76 viser at SFE Nett har noe høyere feilrate enn Sunnfjord Energi for feil på kabel. Ut fra fordeling pr år i Figur 77 kan det se ut til å være en stigende trend i statistikken for de siste tre årene. Årsaken til dette kan være bedre rapportering eller at det blir bygget mer kabel enn tidligere år. Store stormer ser også ut til å påvirke statistikken her.



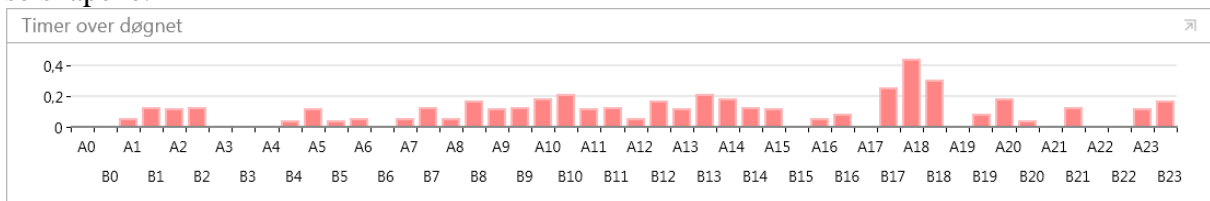
Figur 77: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for 11-22kV kabel der utløsende årsak er "aldring". Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er SFE Nett.

Registrerte årsaker for feilene som inngår i denne statistikken er vist i Figur 78. Omgivelsesårsaker er ikke like dominerende for kabel som for kraftledning.



Figur 78: Feilårsaker i analyse av feilstatistikk på kabel.

Når på døgnet feilene skjer synes ut fra diagram i Figur 79 å være nokså likt hos begge selskapene.



Figur 79: Sammenligning av fordelt feilrate utover timer i perioden (2009-2016) for 11-22kV kabel. Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er SFE Nett

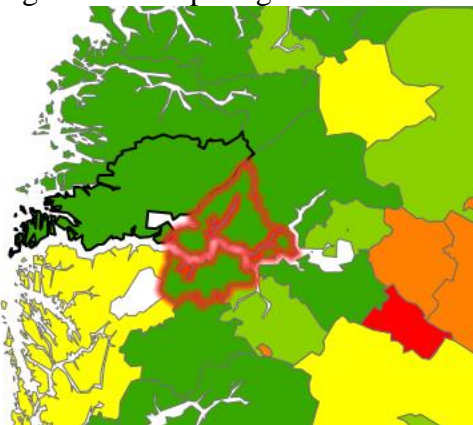
5.5.6 1-22 kV Transformator: Tordenvær

For å finne et tilsvarende nettselskap for sammenligning av feilstatistikk på transformator som følge av tordenvær ble det i denne analysen ble prioriteringen av rammevilkårsvariable som vist i Figur 80 valgt.

Parameter	Value
Abonnenter	1
Høyspent nett	1
Nettstasjoner	1
Andel jordkabel	1
Barskog	1
Småkraft	1
Helning	1
Løvsskog	1
Forsynte øyer	1
Vind	1
Avstand til kyst	2
Kystklima	1
Andel sjøkabel	1
Breddegrad	5
Islast	1
Snødybde	1
Temperatur	5

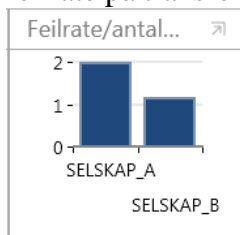
Figur 80: Forslag til inputparametere for å finne sammenlignbare selskap for feil på transformator med utløsende årsak "tordenvær".

Igjen ble temperatur prioritert, fordi dette antas å være en viktig faktor for lysintensiteten. Rammebetingelsene breddegrad og avstand til kyst ble brukt til å finne et nettselskap i nærheten Sunnfjord Energi. Disse valgene førte til at Sognekraft ble valgt som sammenlignbart selskap. Sognekraft befinner seg rett sør for Sunnfjord Energi.

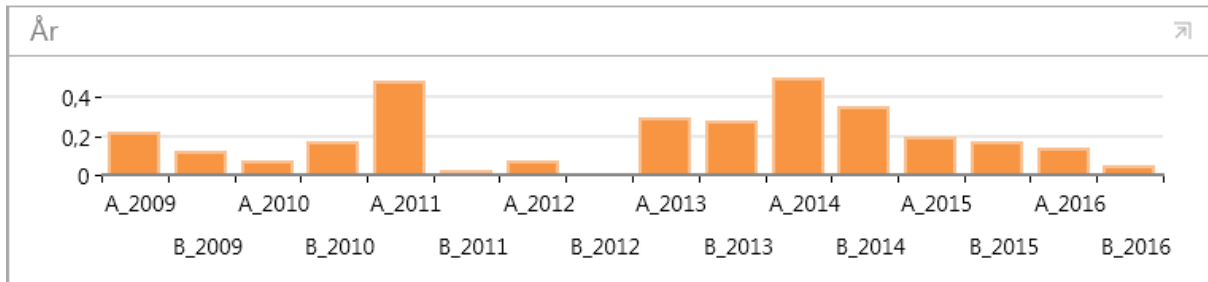


Figur 81: Konesjonærrområder til Sognekraft ligger like i nærheten av Sunnfjord Energi.

Feilrate for de to selskapene er vist i Figur 82. Sunnfjord Energi ser ut til å ha en høyere feilrate på transformator som følge av lyn enn Sognekraft.

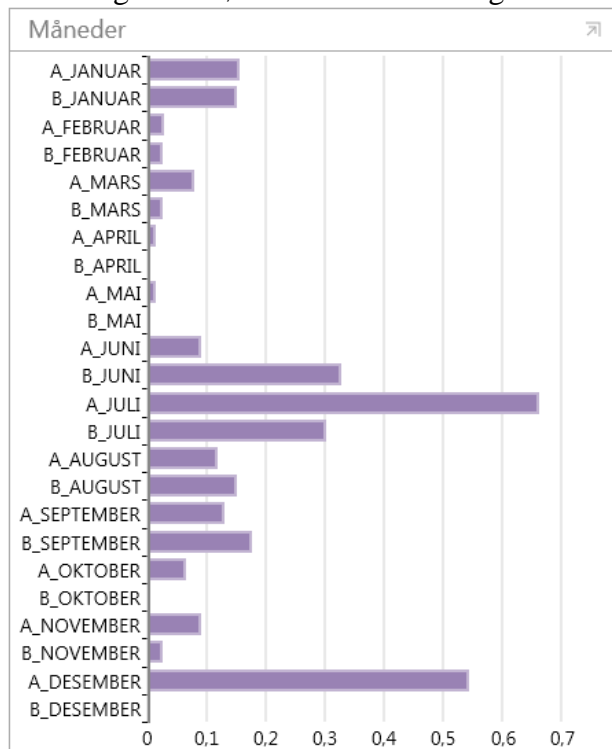


Figur 82: Sammenligning av feilrate for 11-22kV transformator der utløsende årsak er "tordenvær" i perioden 2009-2016. Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er Sognekraft.



Figur 83: Sammenligning av fordelt feilrate utover årene i perioden (2009-2016) for 11-22kV transformator der utløsende årsak er "tordenvær". Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er Sognekraft.

Figur 83 avslører noe av forklaringen på hvorfor feilratene er så ulike. I 2011 hadde Sunnfjord Energi en god del feil på transformator som følge av lyn, mens Sognekraft hadde nesten ingen. Dette kan nok mest sannsynlig spores tilbake til ekstremværet Dagmar i desember 2011. Figur 84 støtter denne forklaringen.

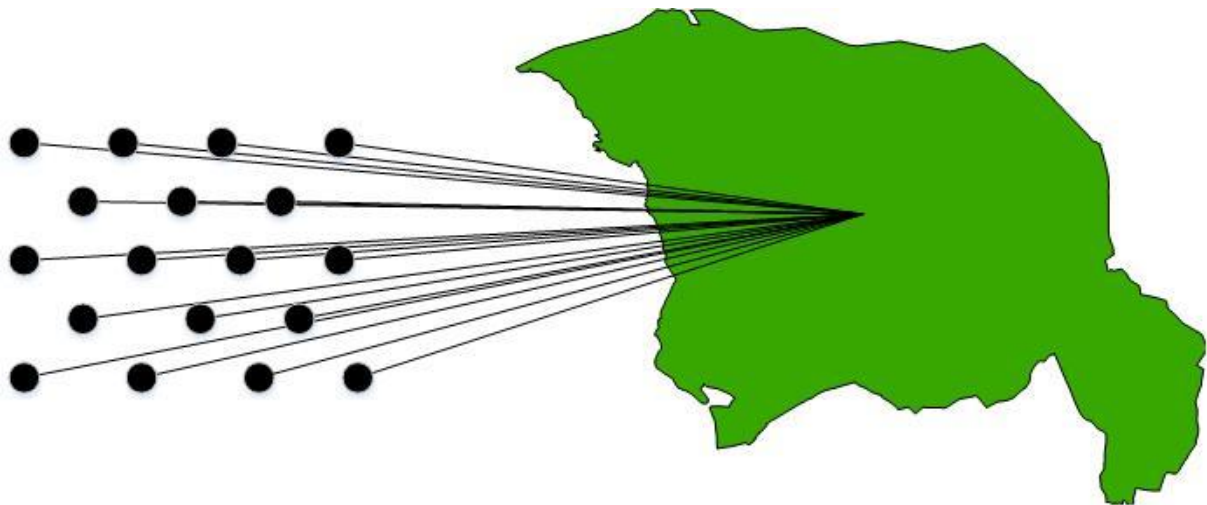


Figur 84: Sammenligning av fordelt feilrate utover måneder i perioden (2009-2016) for 11-22kV transformator der utløsende årsak er "tordenvær". Selskap A er Sunnfjord Energi, mens selskap B er Sognekraft.

6. DISKUSJON

6.1 Vurdering av brukervennlighet

Visningen av feilstatistikk som ble utviklet i oppgaven gjør det mulig å ta i bruk kartfestede data til å analysere sammenlignbarhet i forhold til andre nettselskap. Ved hjelp av manuell inntasting av selskapsnavnet på det selskapet man ønsker å sammenligne seg med får man ut en sammenligning av feilrate for kraftledning, kabel og transformator med utvalg på feilkarakter og årsaker. Utseendemessig kunne løsningen åpenbart vært gjort bedre om man hadde programmert selv i stedet for å ta i bruk et ferdigutviklet presentasjonsverktøy. En helt åpenbar forbedring hadde vært om man kunne valgt ut alle feil hos konsesjonær ved å trykke på konsesjonærområdet. Dette ville krevd at området var "relatert" til feilene i kartet. En slik type kobling mellom feildata og konsesjonærområde er forsøkt illustrert i Figur 85.



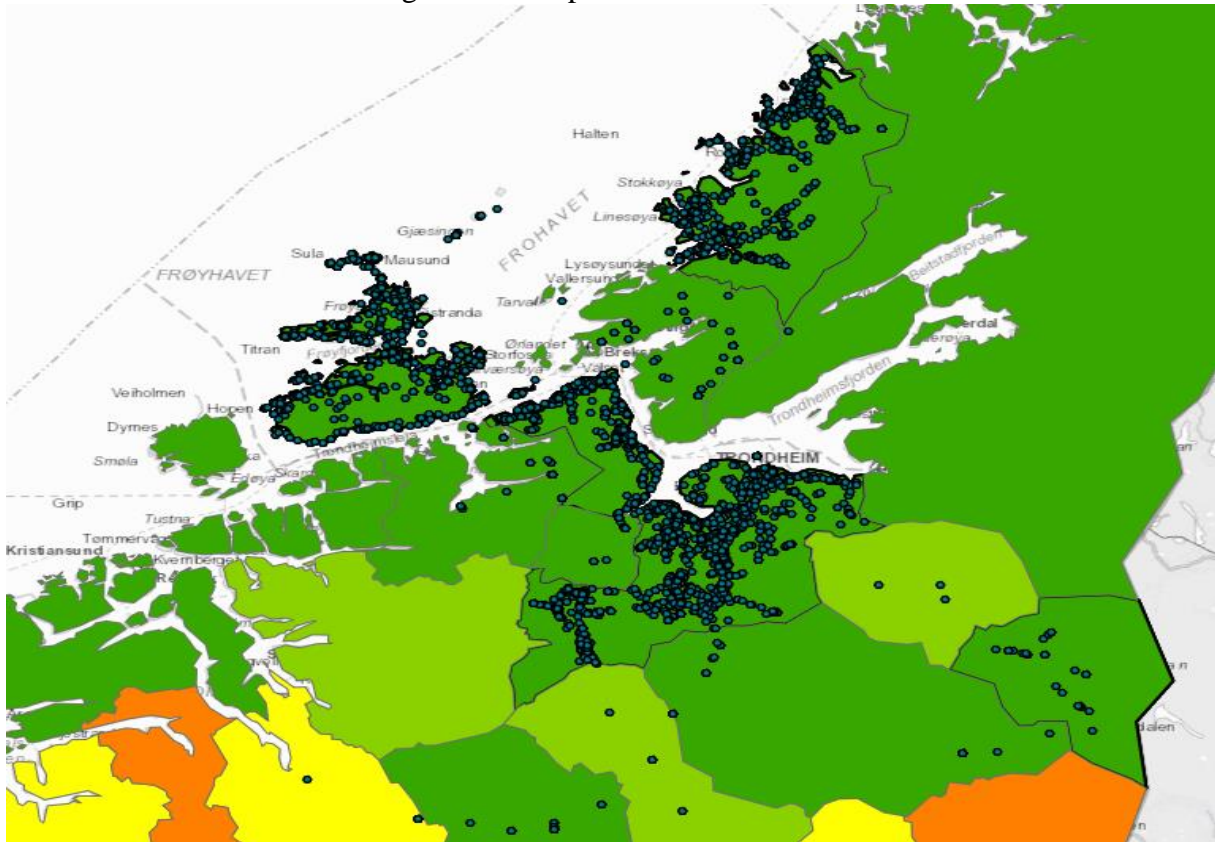
Figur 85: Illustrasjon av datarelasjon internt i løsningen som vil være nødvendig for å skape bedre brukergrensesnitt. Svarte prikker er enkeltfeil, mens et konsesjonærområde er vist i grønt.

De ferdige spørringene med funksjonene fyll inn parametere, utfør og vis/zoom til/velg fungerer greit med noe erfaring start. Man vil kunne analysere mange interessante fordelinger i statistikken slik som for eksempel hvilke anleggsdeler som til enhver tid har størst risiko for feil. I en fremtidig versjon av en slik løsning burde avhengigheten av spørringer fjernes for å bedre brukervennligheten. For prioritering av rammevilkår kan dette løses som vist i Figur 86.



Figur 86: Forslag til bedre grafikk for å finne sammenlignbart nettselskap fra rammevilkårsdata.

Kartet viser lokaliseringen av selskapene og feildataene og når spørringene kjøres kan brukeren støtte seg på kartet for å se at riktig selskap og feildata er valgt. Feildataene gir liten informasjon i seg selv dersom de ikke er plassert riktig geografisk. Grunnen til at feildata uten koordinater ble lagt inn var at det ikke ville latt seg gjøre å sette opp diagrammer dersom de ikke tilhørte det samme "kartlaget" med feilpunkter.

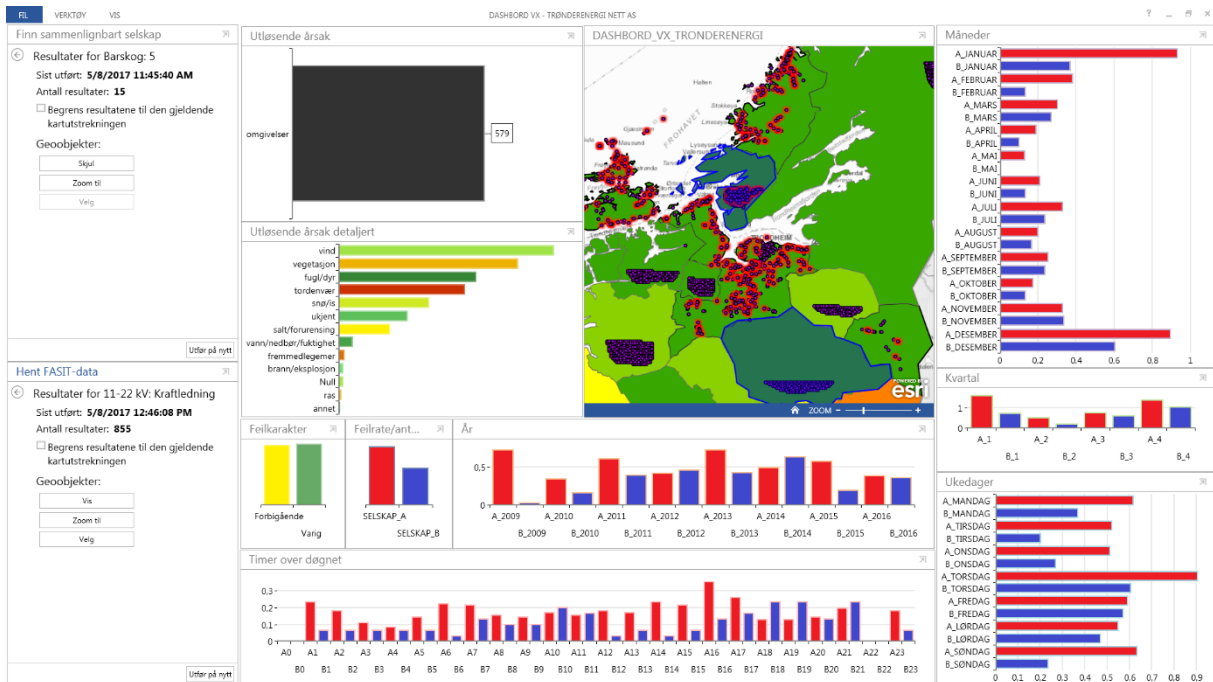


Figur 87: Kart som viser geografiske feildata fra Trønderenergi.

Hvilken nytteverdi har det å se feilstatistikk sammen med den geografiske posisjonen til feilstedet? Når man skal ta avgjørelser knyttet til drift, vedlikehold eller planlegging vil kartpresentasjon lette arbeidet og gi bedre oversikt. Med en kartvisning av feilstatistikk kan man diskutere reelle utfordringer der de er og fange opp detaljer som kan være av betydning for forebygging av feil. Geografisk kartfesting av feil vil gjøre at avanserte feilanalyser kan kobles til praktiske situasjoner som kan forstås av personell som jobber i felt. En økt kommunikasjon mellom ulike sjikt i nettselskap antas å kunne gi bedre effektivitet. Som tidligere nevnt kan kart føre feilstatistikk nærmere beslutningsprosesser.

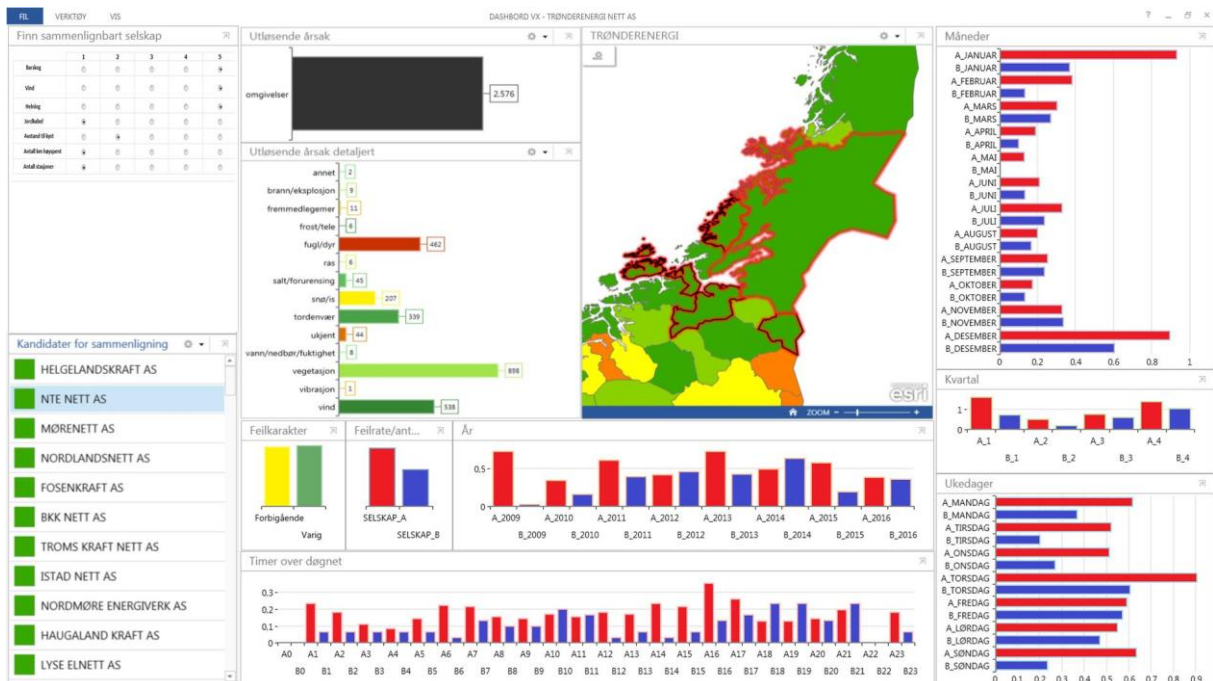
Feildata som er kartfestet vil enkelt kunne kobles mot andre kartdata som for eksempel bebyggelse, samferdsel, jordbruk og topologi. Her vil det potensielt være nye sammenhenger man kan lære av. En slik kartpresentasjon vil være kunnskapsgenererende, og bidra til å styrke arbeidet med risiko- og sårbarhetsanalyse.

Layoutmessig kunne diagrammer som viser uttrekk av data over ulike tidslinjer vært forbedret ved at Selskap A og Selskap B fikk ulik farge. Dette er illustrert i Figur 88. På grunn av begrensninger i presentasjonsverktøyet ble diagrammene i løsningen ensfargede.



Figur 88: Diagrammer der Selskap A har fått en rød farge, mens Selskap B er blå. Dette tydeliggjør at man ser på en sammenligning mellom to selskaper.

Dersom alle forbedringene nevnt ovenfor hadde vært løst kunne det vært produsert en løsning som vist Figur 89. Her ville man fått opp kandidater for sammenligning basert på utvalg i rammevilkårsfaktorer øverst i venstre hjørne. Ved å trykke på selskapet i lista eller kartet blir parvis feilstatistikk for dette selskapet og eget selskap vist i diagrammene. Egne diagrammer for utløsende årsaker og feilkarakter kan brukes for å filtrere søket dersom man kun ønsker å se statistikk for omgivelsesårsaker.



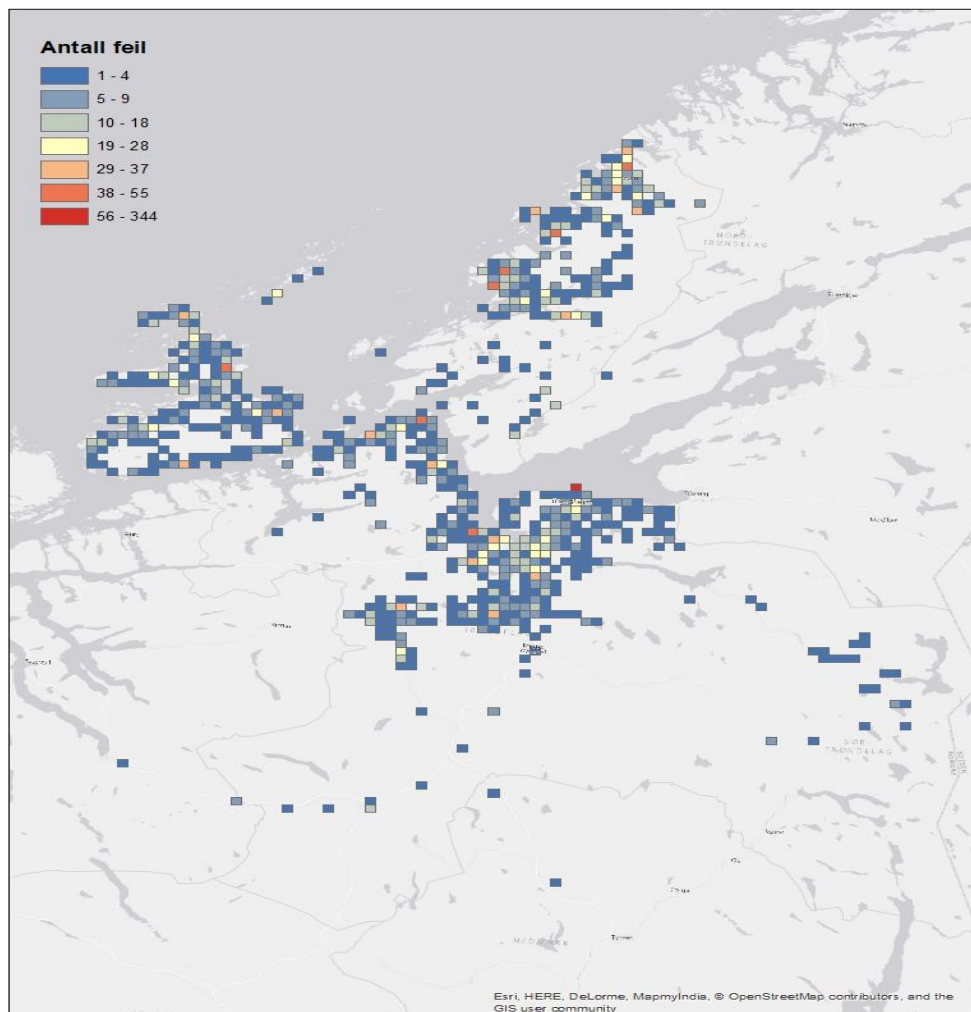
Figur 89: Forslag til fremtidig sammenlignbarhetsvisning av feilstatistikk i dashboard. Her antas det at noen datatekniske utfordringer vil kunne løses.

6.2 Praktisk nytte av denne type feilstatistikkvisning

Løsningen ble presentert for G. Solum i Trønderenergi. Han syntes det var interessant å se sammenlignbarheten til Trønderenergi opp mot andre nettselskap ut fra rammevilkårsdata. Feilstatistikk opp mot et annet nettselskap var kun middels interessant. Begrunnelsen var at ingen nettselskap er like og den praktiske nytten av å se sin egen feilstatistikk opp mot andre nettselskaper blir derfor begrenset. En gruppe som trolig vil ha mer interesse av denne type visning vil være NVE eller DSB, som arbeider med økt fokus på energiberedskap og samfunnssikkerhet [7].

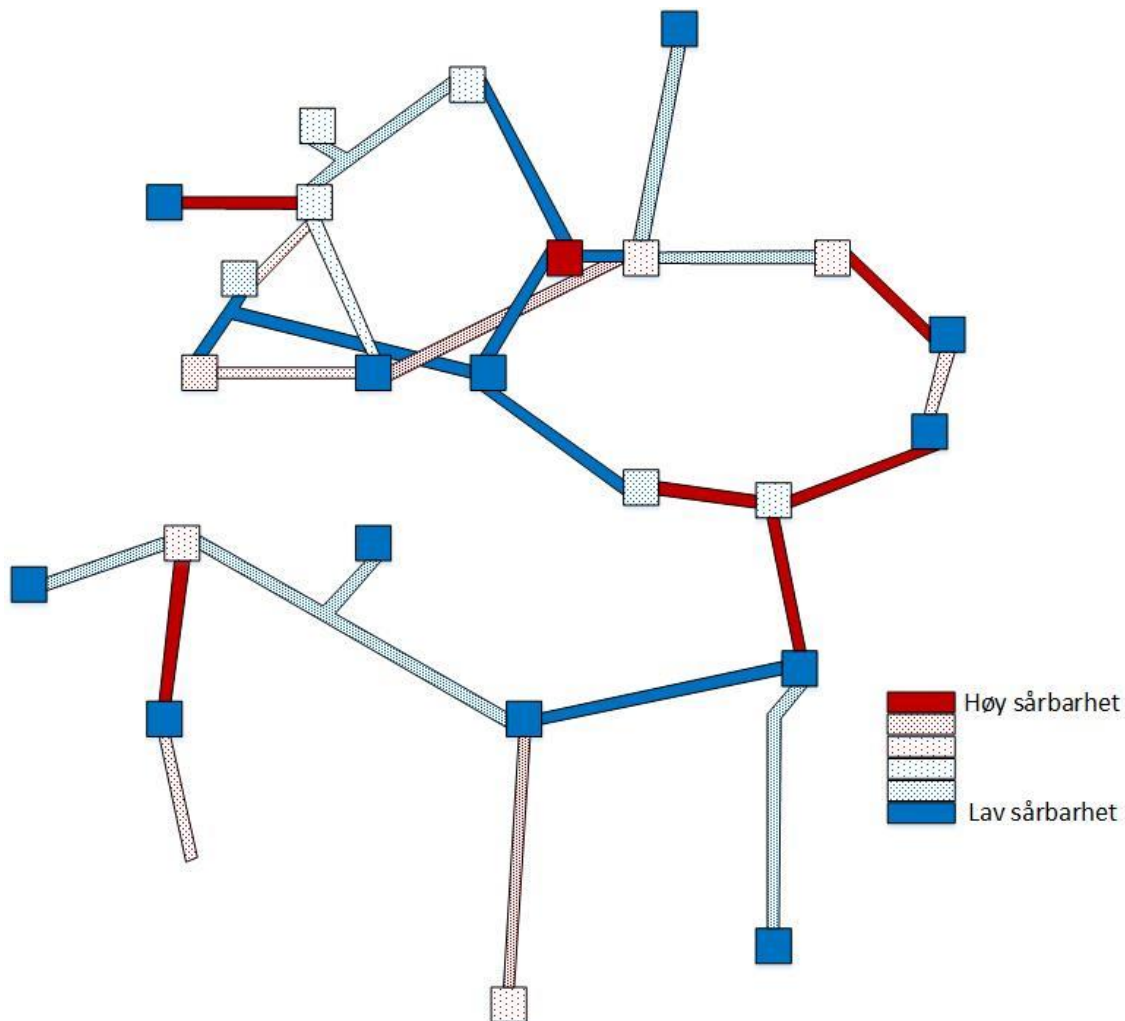
Ut fra beskrivelsen til G. Solum vil det neppe være noe marked for utvikling av dette verktøyet rettet mot nettselskapers daglige drift. Det jobbes i flere miljøer, deriblant Trønderenergi med å utvikle mer skreddersydde ArcGIS-verktøy. Ved å ta i bruk programmeringsspråk som Python kan man lage mer detaljrike visninger. I den utviklede visningen for denne oppgaven var målsetningen å vise FASIT-data i kart. Siden FASIT i dag lagrer koordinater for feil ble en enkel visning med punkter for feil valgt. Dersom jeg hadde hatt mer kunnskap om programmering og Python ved oppgavestart ville det kanskje ha ført til en mer lettlest og brukervennlig visning av feilstatistikken i kartet.

Enklere fremstilling av feildataene kan lages ved å ta i bruk "Hot spot"-analyser i GIS. Eksempel i Figur 90 viser hvordan dette blir seende ut for de geografiske dataene fra Trønderenergi. Man kan se for seg at tilsvarende analyse gjøres for ulike typer feil.



Figur 90: Kart som viser antall feil innenfor ruter på 2,2 x 2,2 km.

For at denne informasjonen skal kunne tas i bruk av nettselskapene burde den kobles opp mot anleggene. En enkel skisse av hvordan dette til slutt kan bli seende ut i kart er vist i Figur 91.



Figur 91: Eksempel på kartvisning som viser sårbarhet for linjer og stasjoner.

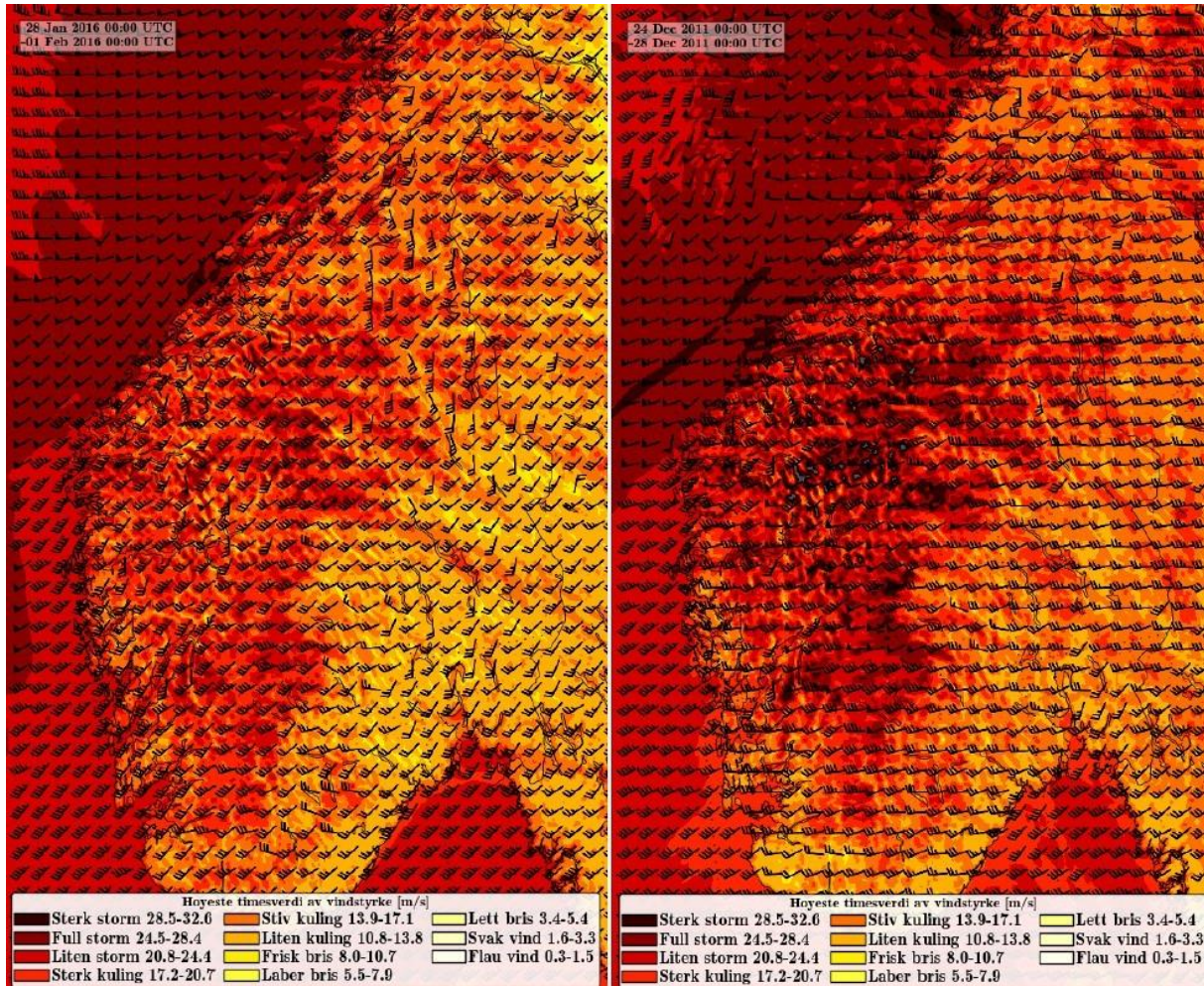
Denne typen kartvisning vil kunne egne seg godt i beslutningsprosesser og gjøre det lettere for andre yrkesgrupper å sette seg inn i problemstillinger.

6.3 Vurdering av verdien til feil med koordinater

Det antas at geografisk posisjonering av feil i kraftsystemet vil få økt fokus i framtiden. Enhver FASIT-hendelse kan sees på som "en erfaring". Ved å kunne koble erfaringen til data om sted, topografi og klima åpnes det for muligheter til å avdekke sårbarhet som kan spare samfunnet for store kostnader. Siden antallet værstasjoner er begrenset er man avhengig av simuleringer for å finne tilnærmet riktige verdier for faktorer som vær og klima. Videre vises det til eksempel på datakilder som burde være av interesse. DNMI har modellert og nedskalert temperatur til landsdekkende 1x1 km rutenett fra 1958 og fram til i dag [17], som sammen med scenarier fram til 2100 [18] vil bli verdifulle i fremtidig arbeid med feilanalyse.

6.3.1 Vind

De siste årene har man stadig fått bedre datamodeller på parameterne vindhastighet og vindretning. Kjeller Vindteknikk lager i dag gode modeller for vind som vist i Figur 92. Her vises vindforholdene under ekstremværene Dagmar (2011) og Tor (2016). Denne rapporten konkluderer også med at vindretning har en større betydning for feil enn tidligere antatt [19].

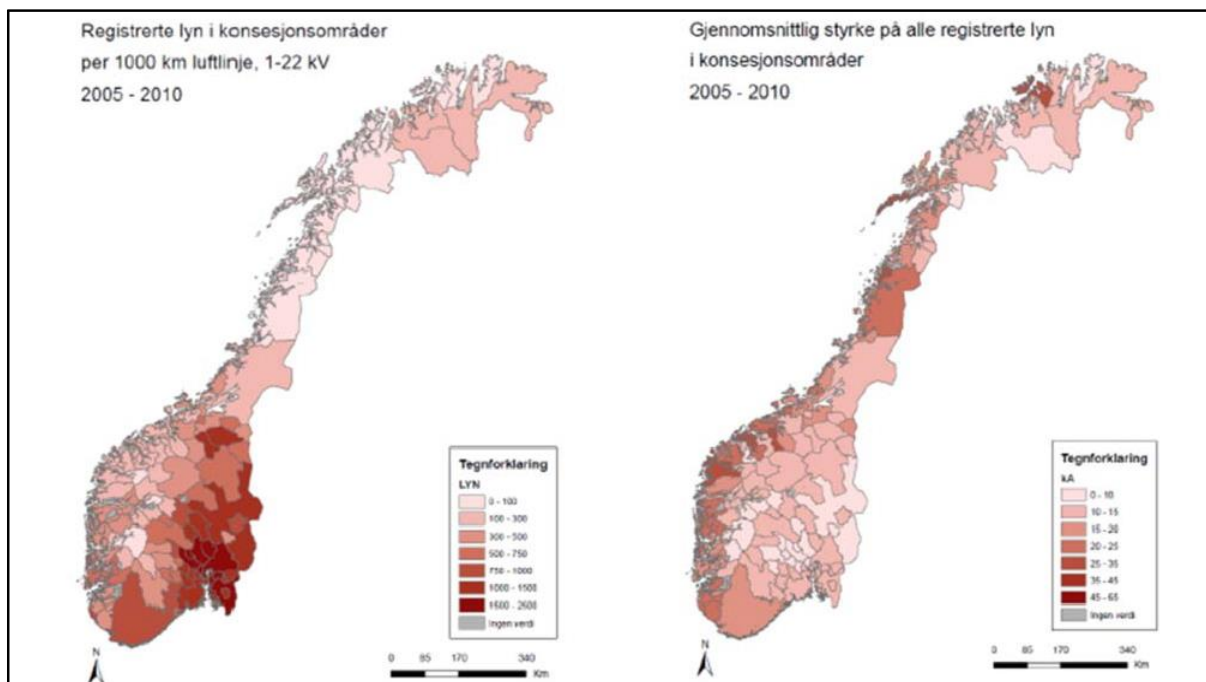


Figur 92: Vindkart fra Kjeller Vindteknikk som viser vindstyrke og vindretning under stormene Dagmar (til venstre) og Tor (til høyre) [19].

Kombinasjon av feildata med denne typen vinddata vil muligens kunne gi et bedre bilde på hvor feil forårsaket av vind vil inntreffe under framtidig ekstremvær. Det vil også kunne avsløre om feilene som følge av vind kunne vært unngått, med for eksempel bedre vedlikehold, eller om det var vindstyrke som gjorde at feilene skjedde på et bestemt sted.

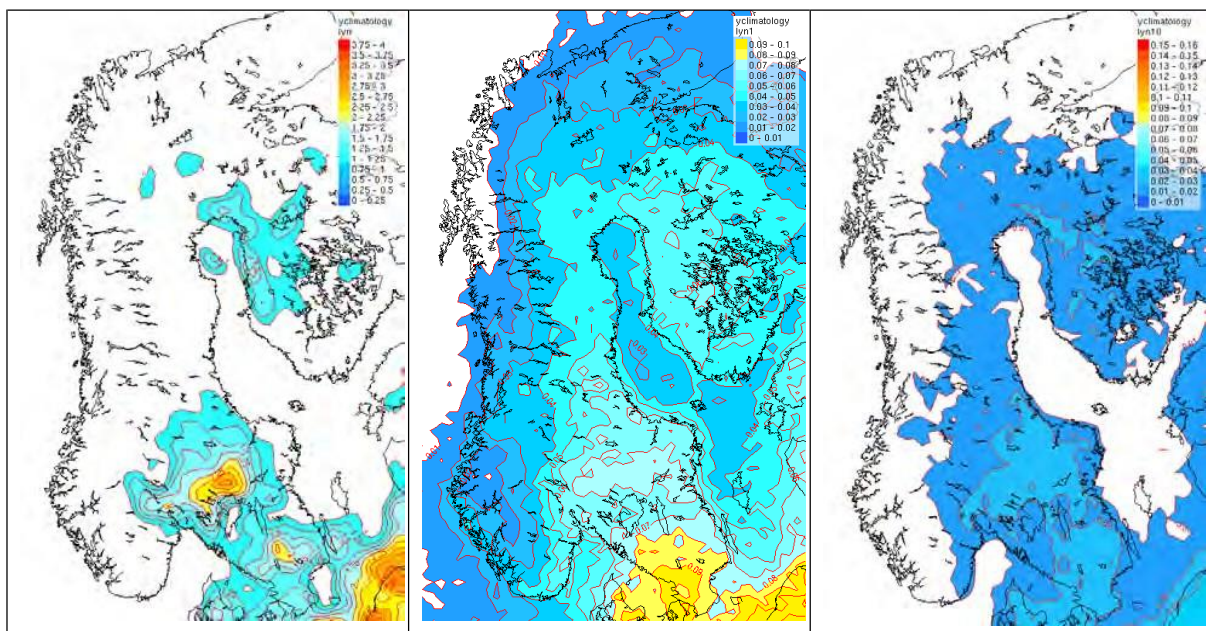
6.3.2 Lyn

Sensorer som angir posisjonen til hvert lyn kan kombineres med feildata hvis feilstedet er kartfestet. For lyn vil det kunne gå an å få nøyaktig tidsinformasjon om når feilsen skjedde. Data om lynfrekvens og lynstyrke som vist i Figur 93 vil kunne gi ny informasjon om utfordring knyttet til denne typen feil. Lynfrekvens avhenger også av lokal topografi rundt anleggene. Gode sannsynlighetsmodeller for hvor feil som følge av lyn vil skje er ikke laget enda, men fremgangsmåter har blitt foreslått [20].



Figur 93: Kartet til venstre viser at det er flest lyn på Østlandet. Kartet til høyre forteller at kraftigste lynene skjer i områder der det lyner sjeldnere [21].

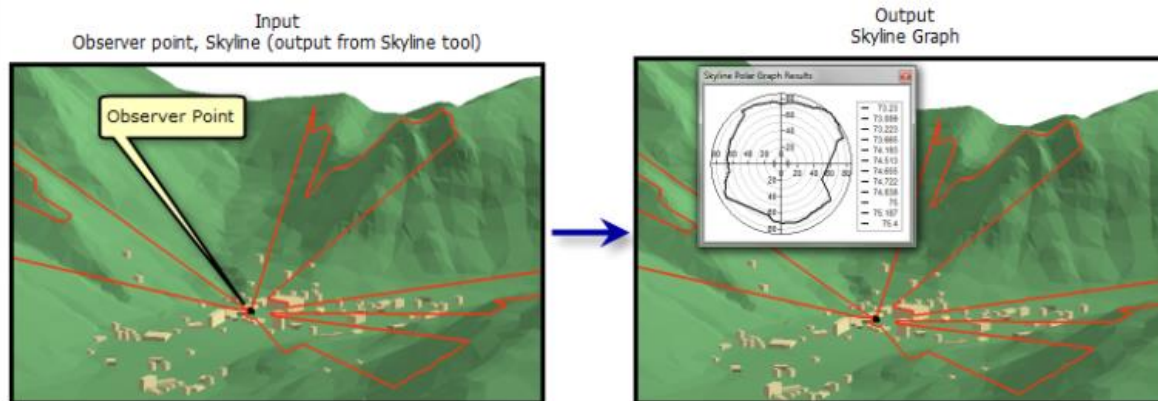
I 2011 publiserte NVE "Lynstudien" [21]. Denne rapporten viste at det var en sammenheng mellom mer lyn og varmere klima, og man antar derfor en økning på 25 % mot 2050. Rapporten viste også at denne feilårsaken kunne variere i sterkt fra år til år. I Figur 94 vises detaljerte geografiske data om hvor det lyner mest.



Figur 94: Kart som viser hvor i Norden det lyner mest. Forskjellige fargeskalaer får fram ulike geografiske variasjoner [23].

Fra figuren ser man at Østlandet har størst problemer med lyn, mens Nord-Norge har lite lyn. Fremtidsanalysen i rapporten viser at den største økningen i lynfrekvens vil skje i områder som i dag er lite utsatt. Rapporten peker også på at det kan bli en økning i antallet lyn mellom sky og bakke i forhold til lyn mellom sky-sky.

6.3.3 Topografi



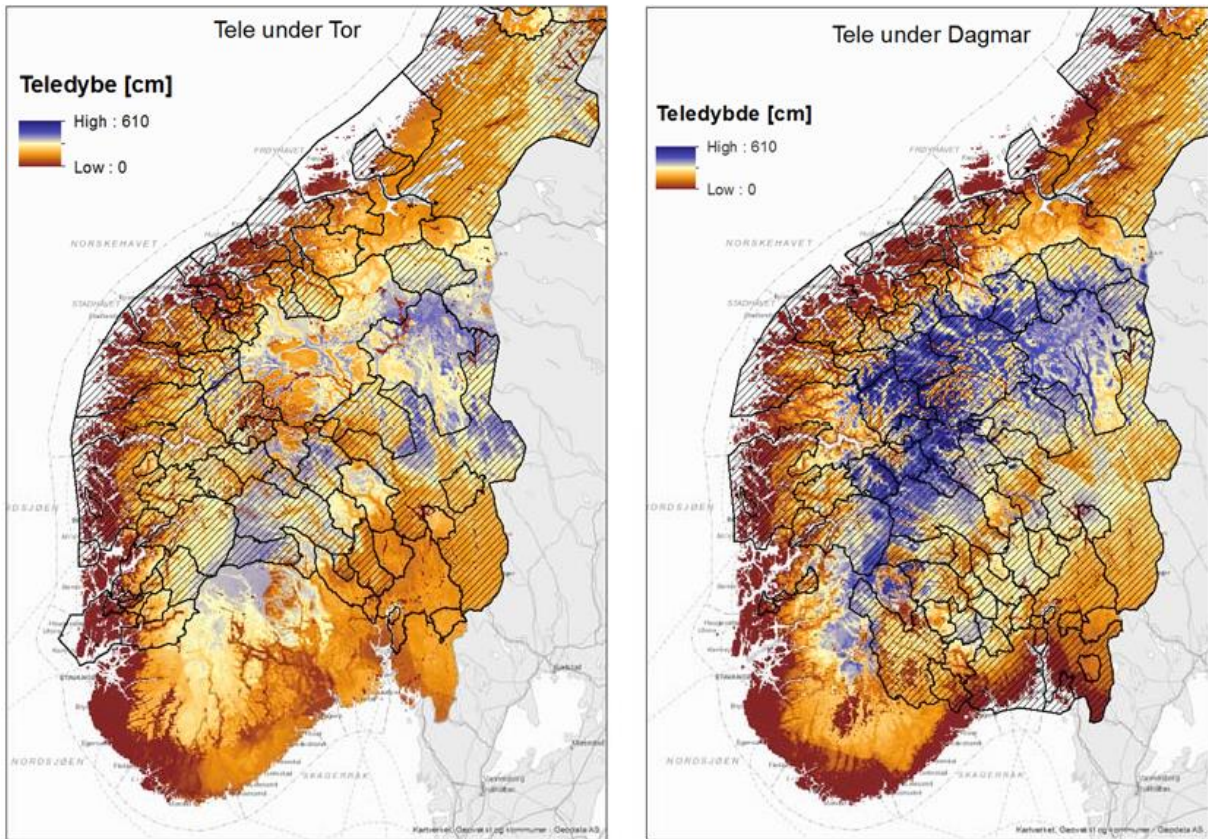
Figur 95: Illustrasjon som beskriver hvordan horisont for feilsted kan analyseres [22].

Dataverktøyet ArcGIS har funksjonalitet til å kartlegge synsfelt for et gitt geografisk punkt. En slik analyse vil kunne avsløre hvor eksponert lokalitet er for feilårsaker som vind eller tordenvær. Her vil man også kunne avdekke om det finnes sårbarhet i forhold til enkelte vindretninger. Visualisering i 3D vil gjøre informasjonen mye enklere å forstå, noe som igjen kan føre til økt kommunikasjon og bedre beslutninger.

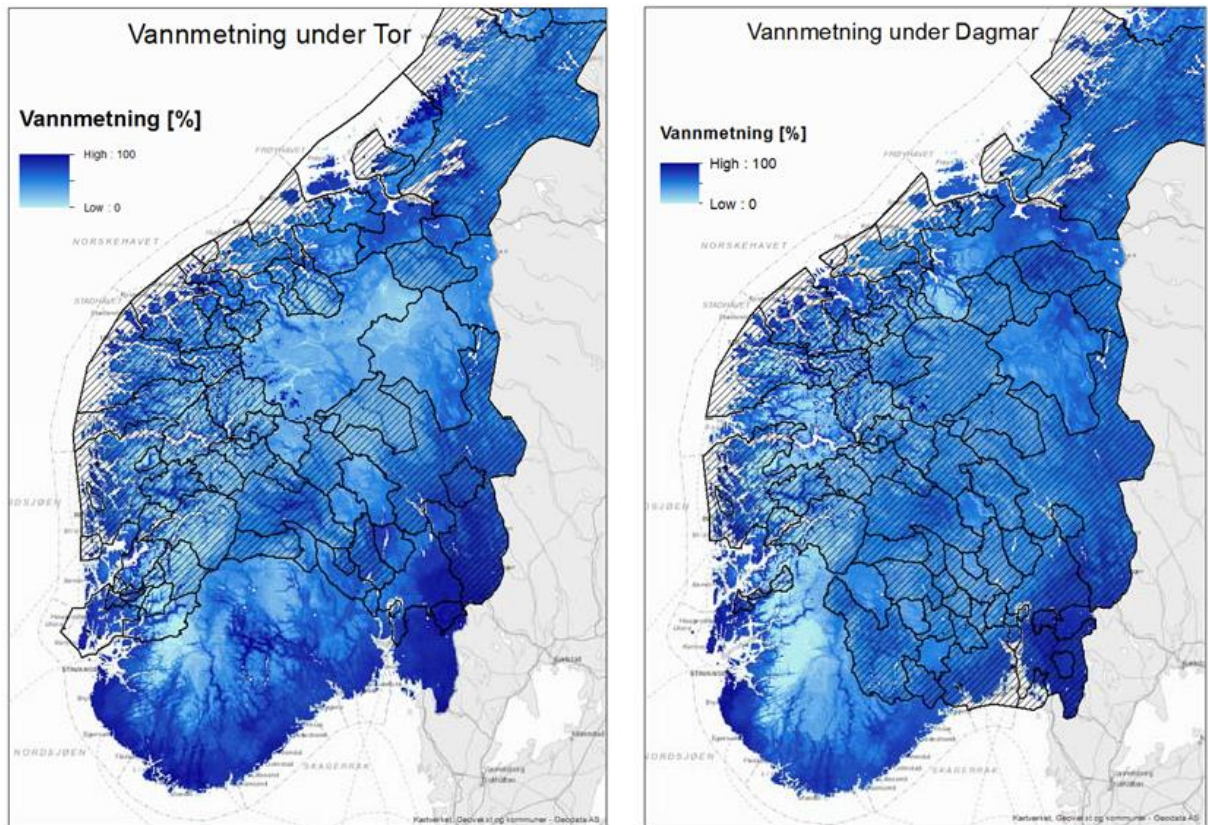
6.3.4 Teledybde og vannmetning

Trefall er den av den aller viktigste årsakene til varige feil. I tillegg til vindstyrke og vindretning har faktorer som teledybde og vannmetning en innvirkning på stabilitet i skog. Tele under orkanene Dagmar (2011) og Tor (2016) er vist i Figur 96. Her ser man at det var mer tele under Dagmar enn under Tor. Rapporten som kartene er hentet fra konkluderer med at det er uklart om denne faktoren hadde betydning for feil. Mer tele i bakken burde likevel være gunstig fordi det låser rotsystemet på trærne.

Vannmetning er en annen faktor som ifølge NVE kan ha betydning for trefall. I Figur 97 blir vannmetning under de samme to stormene sammenlignet. Det ble heller ikke for denne faktoren funnet noen klar sammenheng i forhold til feil. Høy fuktighet antas å kunne føre til mer trefall, siden jordsmonnets evne til å binde røttene reduseres. Ulike skogtyper kan bli påvirket ulikt av de to faktorene. Men generelt øker den sosiale stabiliteten i skog med økt tele, mens høyt vanninnhold reduserer rottybde og rotbinding og gir dårligere stabilitet.



Figur 96: Tele under stormen Dagmar sammenlignet med tele under Tor [19].



Figur 97: Vannmetning under Dagmar sammenlignet med vannmetning under Tor [19]. (Mindre lokale forskjeller)

6.3.5 Flyfoto

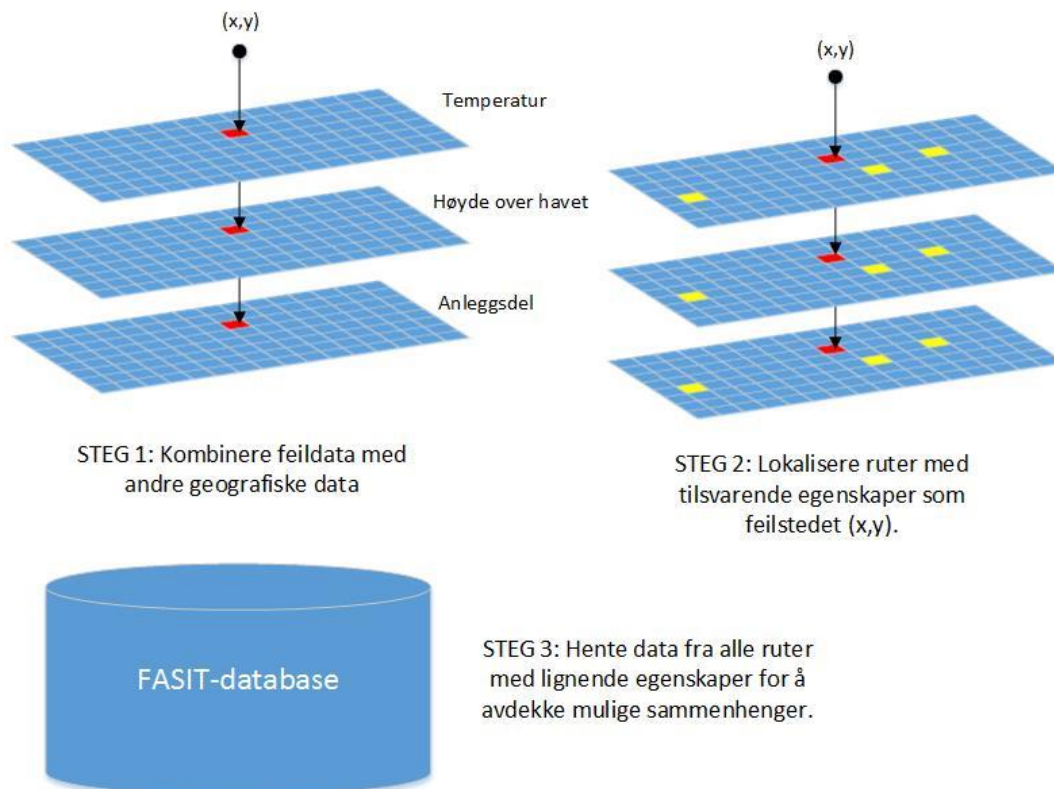
Med kobling mot geografi vil man ved hjelp av detaljerte flyfoto kunne analysere feilsteder mer i dybden ved bruk av GIS. Enkelte risikofaktorer som krever at fysisk inspeksjon vil kunne la seg identifisere i et flyfoto. Økt risiko kan for eksempel være knyttet til parallelle eller kryssende kraftledninger som vist i Figur 98.



Figur 98: Flyfoto over område der fire kraftledninger møtes.

6.4 Framtidige muligheter i koblingen til geografi

På grunn av liten tilgang til geografiske feildata i dagens FASIT kan man bare gjette på hva utbytte av slik informasjon ville vært. I Figur 99 er det laget en skisse på hvordan man kan bruke posisjonerte feildata sammen med andre geografiske data til å hente relevante data fra FASIT for analyse.



Figur 99: Forslag til hvordan analyser av feildata kan gjøres i fremtiden dersom flere feil stedfestes.

Ved å koble nye feil opp mot relevant feilhistorikk kan man raskt kunne avdekke mønstre og forberede seg på feil som ligger fram i tid. Utviklingen av ny og kraftigere datateknologi vil antagelig kunne forbedre slike analyser. Ny teknologi kan resultere i kortere avbrudd og mindre KILE-kostnader for nettselskapene.

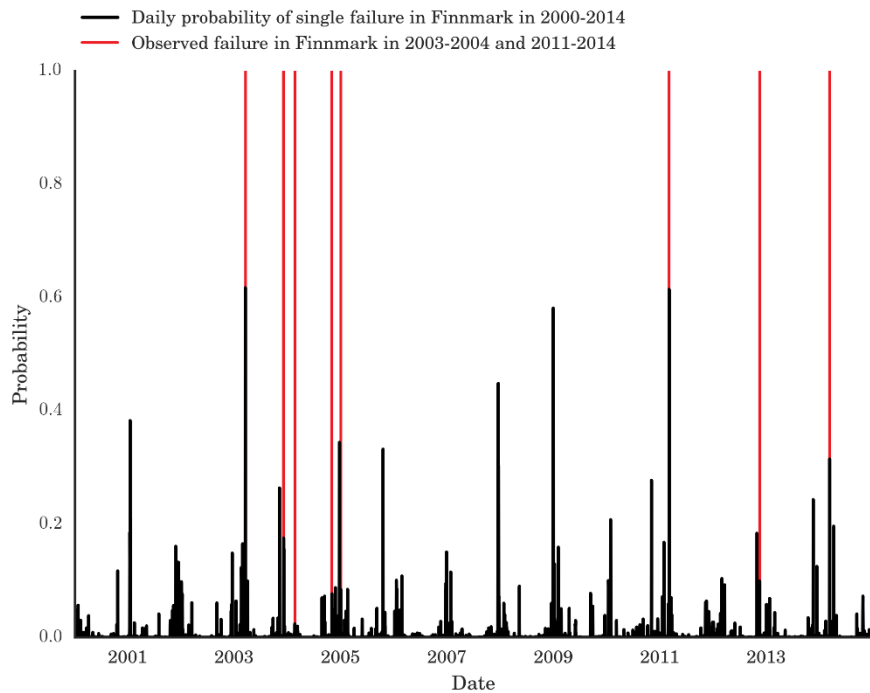
I denne oppgaven ble det beregnet forenklete feilrater for fire ulike anleggsdeler. Disse forteller hvor mange feil man kan forvente å få i fremtiden på bakgrunn av antall feil i en periode over åtte år (2009-2016). Dersom man hadde hatt tilgang til kontinuerlig informasjon om anleggsmassen ville det vært mulig å få mer detaljerte feilrater. Det vil også være mulig å beregne sannsynlighet for feil.

I Solheim et al. [20] ble denne dataene brukt til å gjøre kontinuerlige beregninger på feilsannsynlighet på kraftledninger i Nord-Norge. Rapporten viste at man kun ved bruk av data om vindhastighet og segmentlengde på ledning kunne forutsi når feil ville inntreffe. Et utsnitt av resultatene er vist i Figur 100. Dersom man finner flere slike sammenhenger mellom feilstatistikk og geografiske data vil det kunne bidra til å forebygge feil i fremtiden.

Ved å ta i bruk meteorologiske data om vind knyttet til for eksempel ekstremvær vil man kunne gjøre en risikovurdering av ulike ledningsstrekker enkeltvis. Nye verktøy som for eksempel droner vil kunne bidra til å overvåke spesifikke risikofaktorer. Dette kan for

eksempel være risikotrær som kan føre til avbrudd samt overvåke komponenter slik som transformatorer og koblingsanlegg.

Dersom man klarer å få geografisk posisjonering på alle feil vil man kunne sammenligne kraftledninger med hverandre. Den samme metoden som brukt i denne oppgaven vil mest sannsynlig kunne anvendes også på kraftledninger. Oppkobling med klimatiske variabler i FASIT, vil gjøre det mulig å fremstille feilscenarier.



Figur 100: Feilsannsynlighet, beregnet ut fra vindhastighet fra Kjeller Vindteknikk og segmentlengder på kraftledning, er vist i sort, mens rødt indikerer tidspunkt hvor feil har skjedd [20].

7. KONKLUSJON

For å kunne lage kartvisninger for feilstatistikk i framtiden er man avhengig av forbedret standardisering innenfor flere rapporteringssystemer.

Dashbordet som ble utviklet i oppgaven viste at geografiske datakilder kan brukes til å identifisere sammenlignbare nettselskaper for et gitt referanseselskap. Sammenligningen av feilstatistikk mellom konsesjonærer i oppgaven ble begrenset av at ulike datasystemer i liten grad er kompatible. Av den grunn ble det ikke mulig å kartlegge eventuelle sammenhenger mellom geografiske data i kostnadsnormen og feildata. Det vil være nødvendig med mer skreddersydde dataapplikasjoner for å presentere statistikk i gode dashboardvisninger.

Gode dashboardvisninger av feilstatistikk avhenger av høy datakvalitet både i FASIT og eRapp. Måten disse systemene er lagt opp i dag gjør det utfordrende å lage et dashboard for sammenligning av feilstatistikk som nettselskaper kan nyttiggjøre seg av. Blant annet mangler FASIT per i dag geografisk informasjon fra konsesjonærene og eRapp mangler detaljert anleggsdata som kan brukes til beregning av feilrater.

GIS og kartframstilling vil bli et viktig verktøy i framtiden. Med økt tilgang på geodata og andre datasett vil feilanalyse, risikoanalyse og sårbarhetsanalyse bli et kraftig verktøy for å sikre elforsyninga i framtida. På lokalt nivå hos den enkelte konsesjonær vil ny kunnskap om sammenhengen mellom feildata og landskapsøkologiske faktorer kunne øke leveringssikkerheten ved at man unngår installasjoner i risikoområder og forbereder seg på et endret klima. Basis for all slik kunnskap er at feil kartfestes så eksakt som mulig sammen med tilhørende egenskaper.

Vedlegg 2: Side 2 av FASIT-skjema.

Feilsted <input type="text"/>	Geografisk posisjon <input type="text"/>			
Feilnummer	<table border="1"> <tr> <td>Rapportnr</td> <td>Ref</td> <td>Feil nr</td> </tr> </table>	Rapportnr	Ref	Feil nr
Rapportnr	Ref	Feil nr		

Anleggsdel med feil

<input type="checkbox"/> Anleggsdeler i vannvei <input type="checkbox"/> Ventilsystem <input type="checkbox"/> Turbin <input type="checkbox"/> Generator <input type="checkbox"/> Roterende fasekomp. <input type="checkbox"/> Effektbryter <input type="checkbox"/> Lastskillebryter <input type="checkbox"/> Skillebryter <input type="checkbox"/> Siklastbryter <input type="checkbox"/> oljefattig trykkluft <input type="checkbox"/> SF ₆ -isolert <input type="checkbox"/> SF ₆ -isolert vakuum <input type="checkbox"/> luftisolert <input type="checkbox"/> spenningspåk. del <input type="checkbox"/> drivmekanisme <input type="checkbox"/> isolasjon mot jord <input type="checkbox"/> stativ <input type="checkbox"/> fundament <input type="checkbox"/> jording <input type="checkbox"/> Sikring <input type="checkbox"/> Samleskinne/Faring <input type="checkbox"/> skinnelrør <input type="checkbox"/> line <input type="checkbox"/> kabel <input type="checkbox"/> SF ₆ -isolert <input type="checkbox"/> faseleder <input type="checkbox"/> isolasjon mot jord <input type="checkbox"/> klemme <input type="checkbox"/> kontakt <input type="checkbox"/> stativ <input type="checkbox"/> fundament <input type="checkbox"/> jording	<input type="checkbox"/> Transformator (fordeling) <input type="checkbox"/> mast <input type="checkbox"/> mastefot <input type="checkbox"/> kiosk <input type="checkbox"/> i bygning <input type="checkbox"/> olje (eksp. tank) <input type="checkbox"/> olje (teit) <input type="checkbox"/> silikonolje <input type="checkbox"/> tørrisolert <input type="checkbox"/> SF ₆ <input type="checkbox"/> gjennomføring <input type="checkbox"/> kjøleutstyr <input type="checkbox"/> trinnkopler <input type="checkbox"/> eksp.krets <input type="checkbox"/> trafokasse <input type="checkbox"/> innv. enheter <input type="checkbox"/> Kabel <input type="checkbox"/> jord <input type="checkbox"/> vann <input type="checkbox"/> luft <input type="checkbox"/> hovedk. 1-leder <input type="checkbox"/> hovedk. flerleder <input type="checkbox"/> PEX <input type="checkbox"/> masse <input type="checkbox"/> kabel <input type="checkbox"/> skjøt <input type="checkbox"/> overg.skjøt <input type="checkbox"/> endeavsl. <input type="checkbox"/> kabelska/klemme	<input type="checkbox"/> Nettstasjon (bygning, arr.) <input type="checkbox"/> mast <input type="checkbox"/> mastefot <input type="checkbox"/> kiosk <input type="checkbox"/> i bygning <input type="checkbox"/> lavsp.stativ <input type="checkbox"/> fundament <input type="checkbox"/> tak/vegg <input type="checkbox"/> dør/lokk <input type="checkbox"/> ventilasjon <input type="checkbox"/> avlop <input type="checkbox"/> Kraftledning <input type="checkbox"/> belagt (BLX) <input type="checkbox"/> hengeledning <input type="checkbox"/> mast <input type="checkbox"/> faseline <input type="checkbox"/> toppline <input type="checkbox"/> loop <input type="checkbox"/> skjøt <input type="checkbox"/> isolator <input type="checkbox"/> travers <input type="checkbox"/> bendsel <input type="checkbox"/> avspenningshylse <input type="checkbox"/> klemme <input type="checkbox"/> bardun <input type="checkbox"/> forankringsstag <input type="checkbox"/> gnistgap <input type="checkbox"/> vibrasjonsdemping <input type="checkbox"/> fundament <input type="checkbox"/> jording	<input type="checkbox"/> Kondensatorbatteri <input type="checkbox"/> Reaktor <input type="checkbox"/> Avleder <input type="checkbox"/> Spenningstransformator <input type="checkbox"/> Strømtransformator <input type="checkbox"/> Sløkkespole <input type="checkbox"/> Stasjonsforsyning <input type="checkbox"/> strømretter <input type="checkbox"/> batteri <input type="checkbox"/> nødaggregat <input type="checkbox"/> Fjernstyring <input type="checkbox"/> Koplingsutstyr <input type="checkbox"/> Måle- og meldesystem <input type="checkbox"/> Signaloverføring	<input type="checkbox"/> Vern <input type="checkbox"/> elektromekanisk <input type="checkbox"/> elektronisk <input type="checkbox"/> numerisk <input type="checkbox"/> overstrøm <input type="checkbox"/> spenning <input type="checkbox"/> usymmetri <input type="checkbox"/> jordstrøm <input type="checkbox"/> lysbue <input type="checkbox"/> termisk overlast <input type="checkbox"/> linjevær <input type="checkbox"/> annet <input type="text"/> <input type="checkbox"/> Datautstyr <input type="checkbox"/> Brannteknisk anlegg <input type="checkbox"/> Anleggsdel ikke ident. <input type="checkbox"/> Systemfeil
--	---	---	--	---

Ved feil på kraftledning og kabel

Fellesfeil? ja nei

Anleggsdelopplysninger

Arkivref.:

Fabrikat:

Typebetegnelse:

Ytelsekapasitet:

Fabrikasjonsår:

Idriftsettelsesår:

Feilkarakter

varig
 forbigående
 gjentakende
 antall

Systemjording

isolert
 spole
 annet

Feil oppdaget ved

<input type="checkbox"/> bryterfall/sikringsbrudd <input type="checkbox"/> observasjon (tilfeldig) <input type="checkbox"/> tilstandskontroll	<input type="checkbox"/> vedlikeholdsarbeid <input type="checkbox"/> overvåking <input type="checkbox"/> melding fra 3. person	<input type="checkbox"/> annen feil <input type="checkbox"/> innkopling <input type="checkbox"/> annet <input type="text"/>
---	--	---

Reparasjonsart og -tid ved varige feil

<input type="checkbox"/> Anleggsdel skiftet <input type="checkbox"/> Anleggsdel skiftet med AUS <input type="checkbox"/> Midlertidig reparasjon	<input type="checkbox"/> Midlertidig reparasjon med AUS <input type="checkbox"/> Permanent reparasjon <input type="checkbox"/> Permanent reparasjon med AUS
---	---

Reparasjonstid

Feilbeskrivelse

<input type="checkbox"/> Materialtekniske feil <input type="checkbox"/> varmgang <input type="checkbox"/> siltasje <input type="checkbox"/> korrosjon <input type="checkbox"/> materialtretthet <input type="checkbox"/> ukjent	<input type="checkbox"/> Mekaniske feil <input type="checkbox"/> lekkasje <input type="checkbox"/> løse deler <input type="checkbox"/> skadet del <input type="checkbox"/> vibrasjon <input type="checkbox"/> deformasjon <input type="checkbox"/> ukjent	<input type="checkbox"/> Elektriske feil <input type="checkbox"/> utladninger <input type="checkbox"/> redusert isolasjonsevne <input type="checkbox"/> dårlig kontakt <input type="checkbox"/> jordslutning <input type="checkbox"/> dobbel jordslutning <input type="checkbox"/> fase-/ledningsbrudd uten jordberøring <input type="checkbox"/> fase-/ledningsbrudd med jordberøring	<input type="checkbox"/> kortslutning uten jordberøring <input type="checkbox"/> kortslutning med jordberøring <input type="checkbox"/> lav/høy spenning <input type="checkbox"/> redusert ytelse <input type="checkbox"/> overbelastning <input type="checkbox"/> ukjent	<input type="checkbox"/> Andre feil <input type="checkbox"/> uteblitt funksjon* <input type="checkbox"/> uønsket funksjon* <input type="checkbox"/> forurensinger <input type="checkbox"/> fremmedlegemer <input type="checkbox"/> annet <input type="text"/> <small>* gjelder kun feil på bryterfokking og kontrollutstyr</small> <input type="checkbox"/> Ukjent
---	--	--	--	---

Utløsende årsak

<input type="checkbox"/> Omgivelser <input type="checkbox"/> tordenvær <input type="checkbox"/> vind <input type="checkbox"/> snø/is <input type="checkbox"/> frost/tele <input type="checkbox"/> vann/nedbør/fuktighet <input type="checkbox"/> salt/forurensning <input type="checkbox"/> fremmedlegemer <input type="checkbox"/> fugl/dyr <input type="checkbox"/> vegetasjon <input type="checkbox"/> ras <input type="checkbox"/> brann/eksplosjon <input type="checkbox"/> annet <input type="text"/> <input type="checkbox"/> ukjent	<input type="checkbox"/> Mennesker <input type="checkbox"/> personale <input type="checkbox"/> innleid personale <input type="checkbox"/> andre personer <input type="checkbox"/> feilbetjening <input type="checkbox"/> arbeid/prøving <input type="checkbox"/> trefelling <input type="checkbox"/> graving/sprenning <input type="checkbox"/> anleggsarbeid <input type="checkbox"/> trafikkskade <input type="checkbox"/> hærverk/sabotasje <input type="checkbox"/> annet <input type="text"/> <input type="checkbox"/> ukjent	<input type="checkbox"/> Driftspåkjenninger <input type="checkbox"/> overbelastning <input type="checkbox"/> høy/lav spenning <input type="checkbox"/> vibrasjon <input type="checkbox"/> varig lastøkning <input type="checkbox"/> annet <input type="text"/> <input type="checkbox"/> ukjent	<input type="checkbox"/> Teknisk utstyr <input type="checkbox"/> aldring <input type="checkbox"/> siltasje <input type="checkbox"/> korrosjon <input type="checkbox"/> dårlig kontakt <input type="checkbox"/> elektriske utladninger <input type="checkbox"/> lekkasje <input type="checkbox"/> løse deler <input type="checkbox"/> skadet/defekt del <input type="checkbox"/> sprekke/brudd <input type="checkbox"/> råte <input type="checkbox"/> tilsmussing/urenheter <input type="checkbox"/> blokkering <input type="checkbox"/> annet <input type="text"/> <input type="checkbox"/> ukjent	<input type="checkbox"/> Konstruksjon/Montasje <input type="checkbox"/> konstruksjons-/dimensjoneringsfeil <input type="checkbox"/> produksjonsfeil <input type="checkbox"/> montasje/feil <input type="checkbox"/> feil innstilling/justering <input type="checkbox"/> mangelfulle instruksjer/rutiner <input type="checkbox"/> mangelfullt vedl.hold <input type="checkbox"/> utilstrekkelig vern <input type="checkbox"/> annet <input type="text"/> <input type="checkbox"/> ukjent <input type="checkbox"/> Tidligere feil <input type="checkbox"/> Årsak ikke klarlagt
---	---	---	---	--

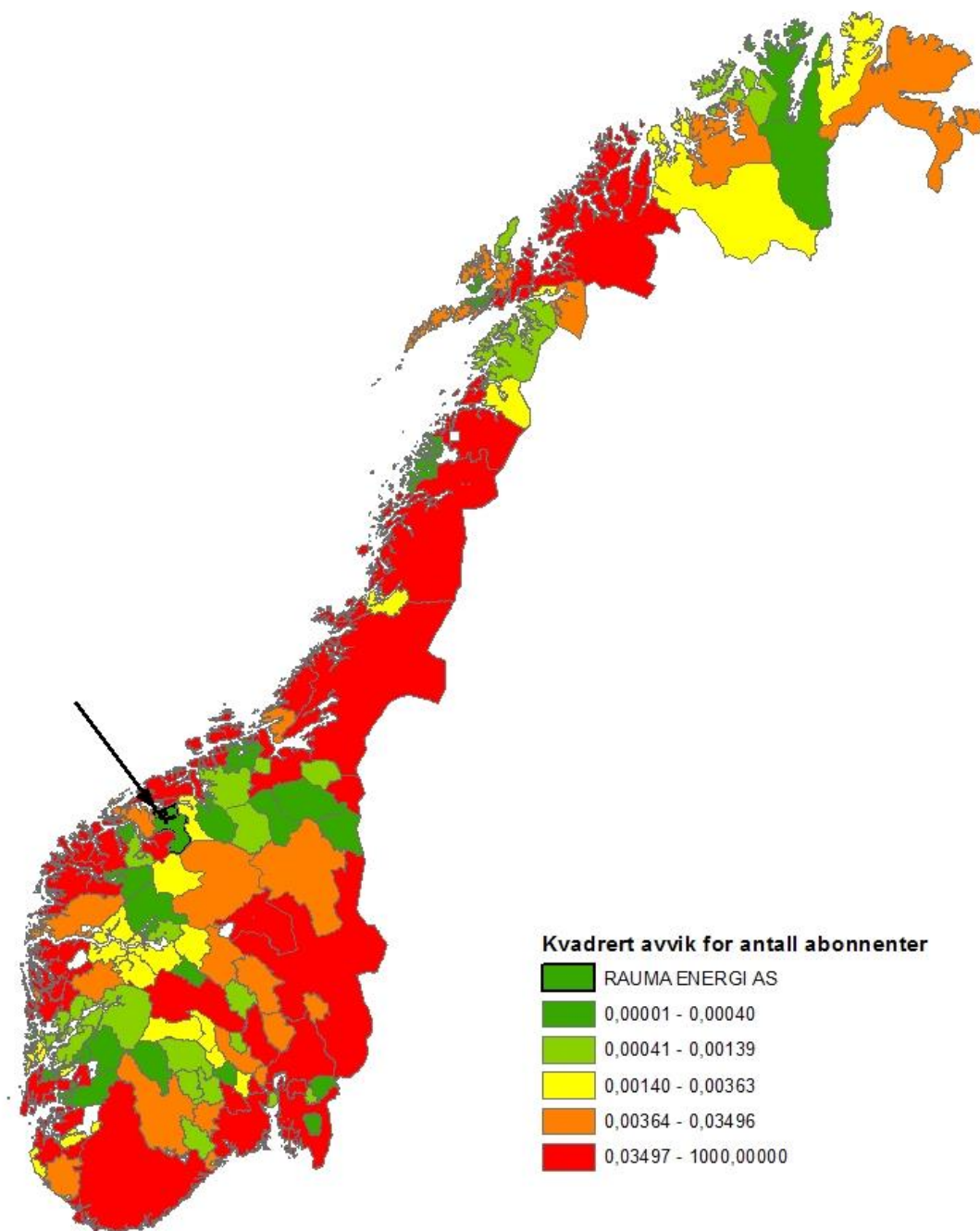
Bakenforliggende/medvirkende årsak

<input type="checkbox"/> Omgivelser <input type="checkbox"/> Ingen kjent bakenforliggende/medvirkende årsak	<input type="checkbox"/> Mennesker <input type="checkbox"/> Driftspåkjenninger <input type="checkbox"/> Teknisk utstyr <input type="checkbox"/> Konstruksjon/Montasje	Årsak nærmere spesifisert (se utløsende årsak) <input type="text"/>
---	--	---

Kopiering kun etter avtale med Energi Norge 2015-01-01

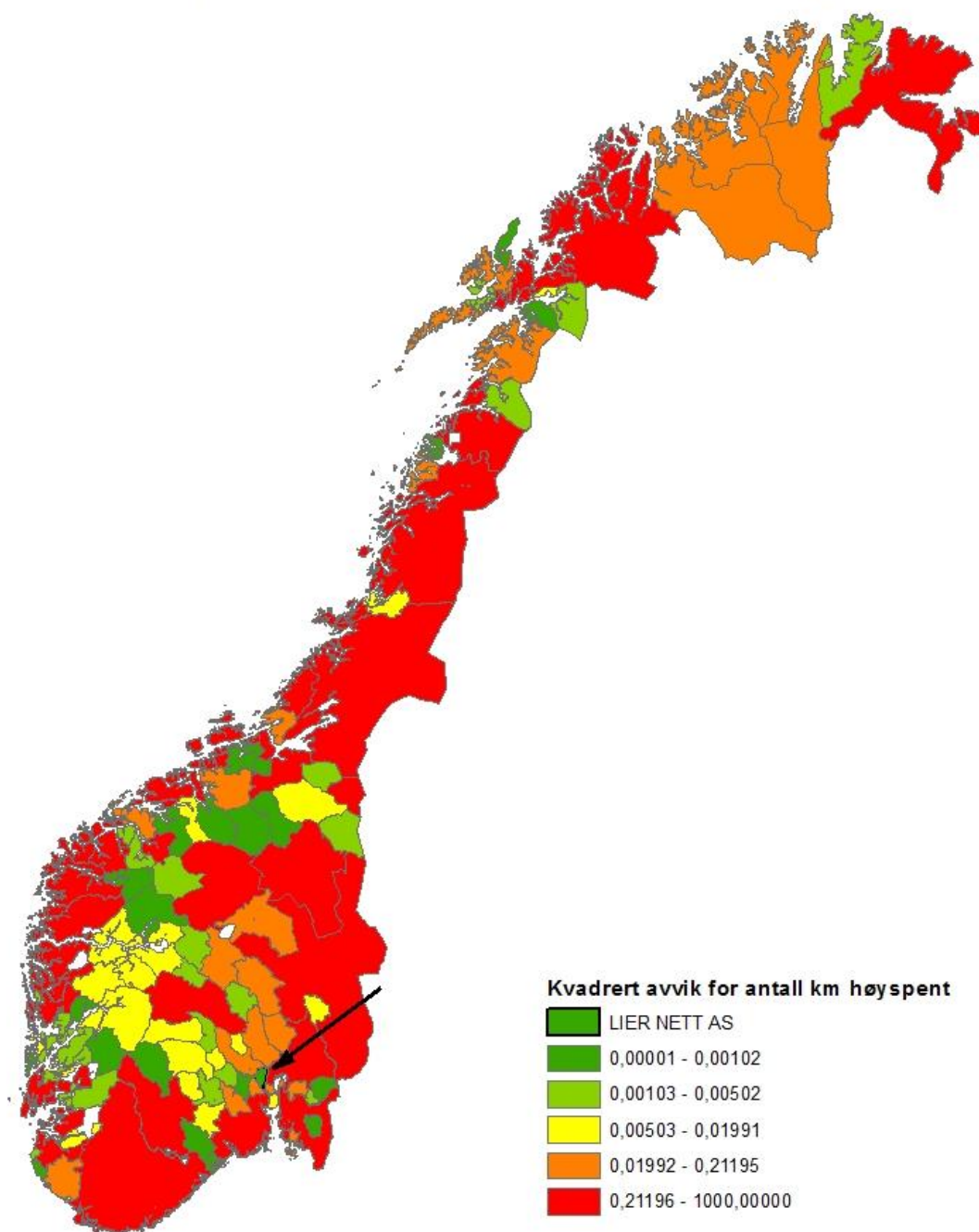
Vedlegg 2: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Antall abonnenter".

Sammenlignbarhetsgrenser: Antall abonnenter

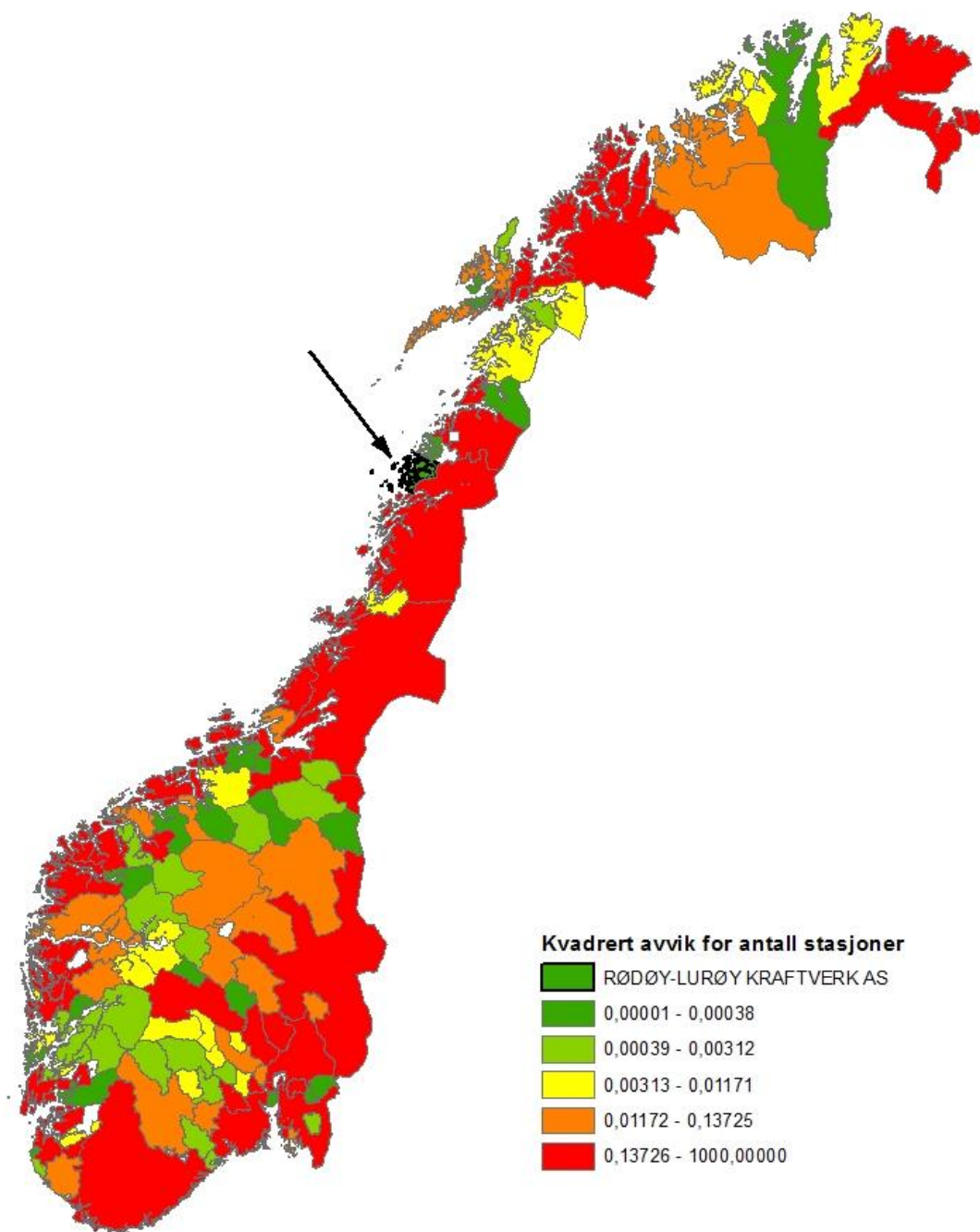


1:6 499 391,83

Sammenlignbarhetsgrenser: Antall km høyspent nett



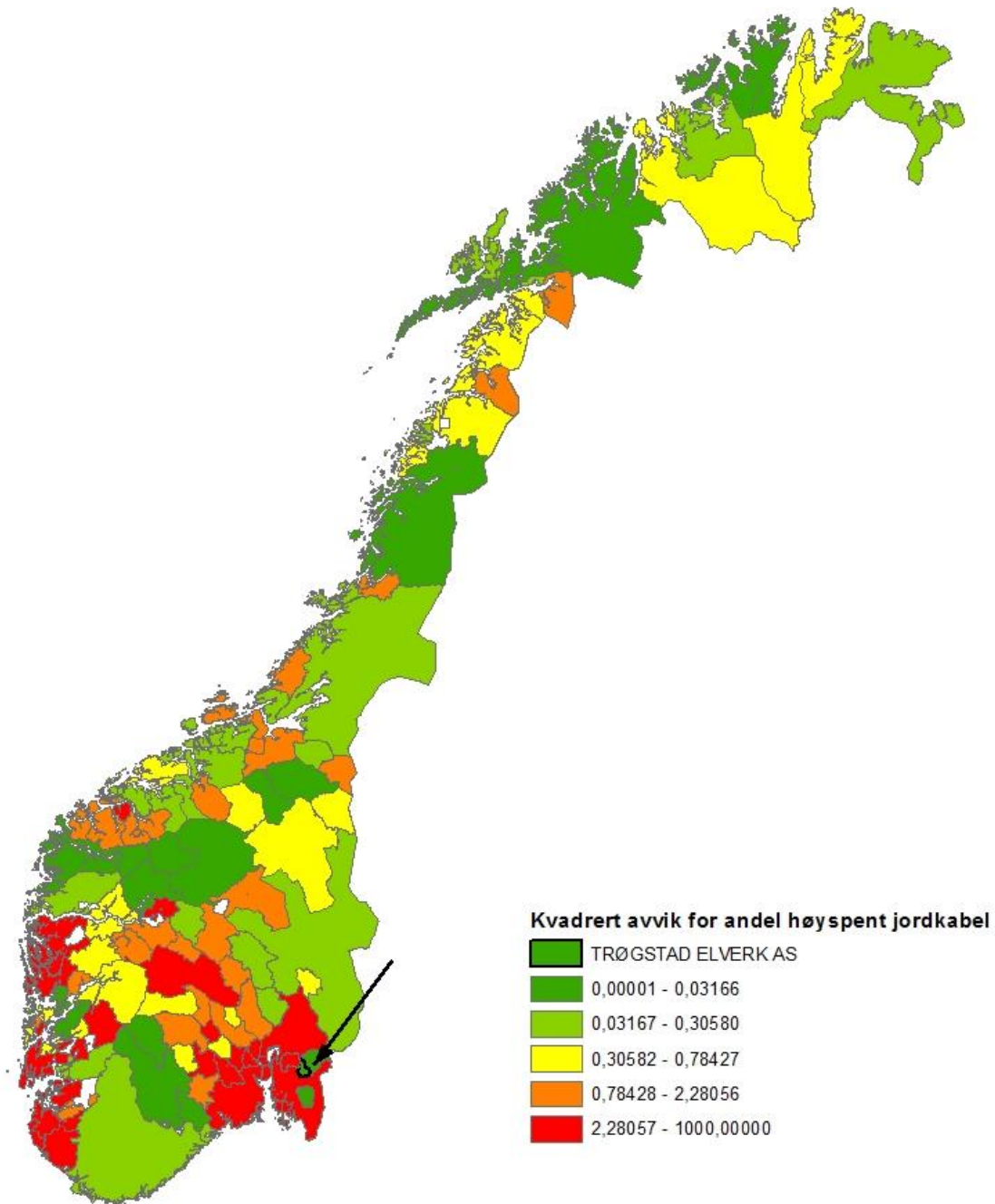
Sammenlignbarhetsgrenser: Antall stasjoner



1:6 499 391,83

Vedlegg 5: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Andel høyspent jordkabel".

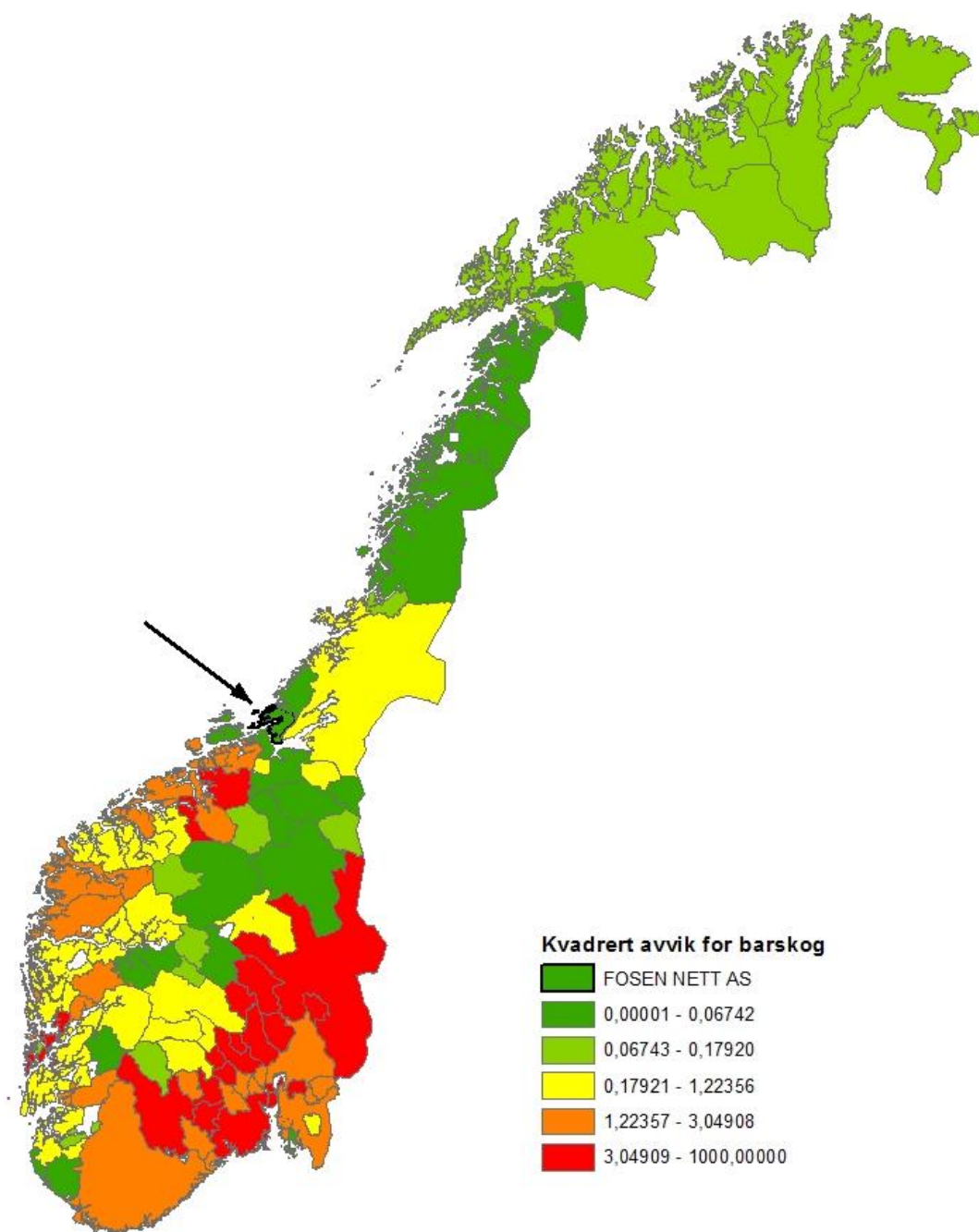
Sammenlignbarhetsgrenser: Andel høyspent jordkabel



1:6 499 391,83

Vedlegg 6: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Barskog".

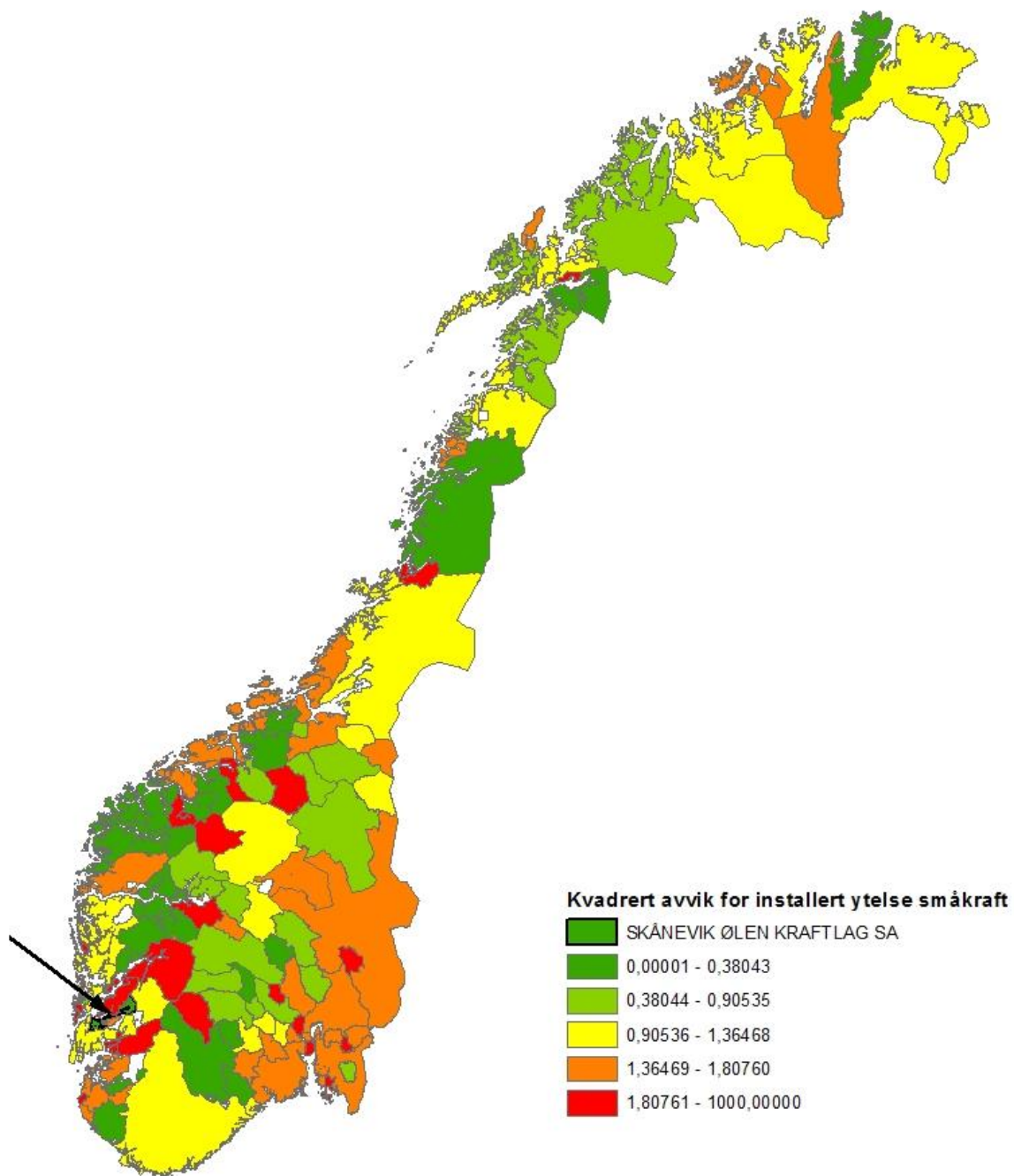
Sammenlignbarhetsgrenser: Barskog



1:6 499 391,83

Vedlegg 7: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Installert ytelse småkraft".

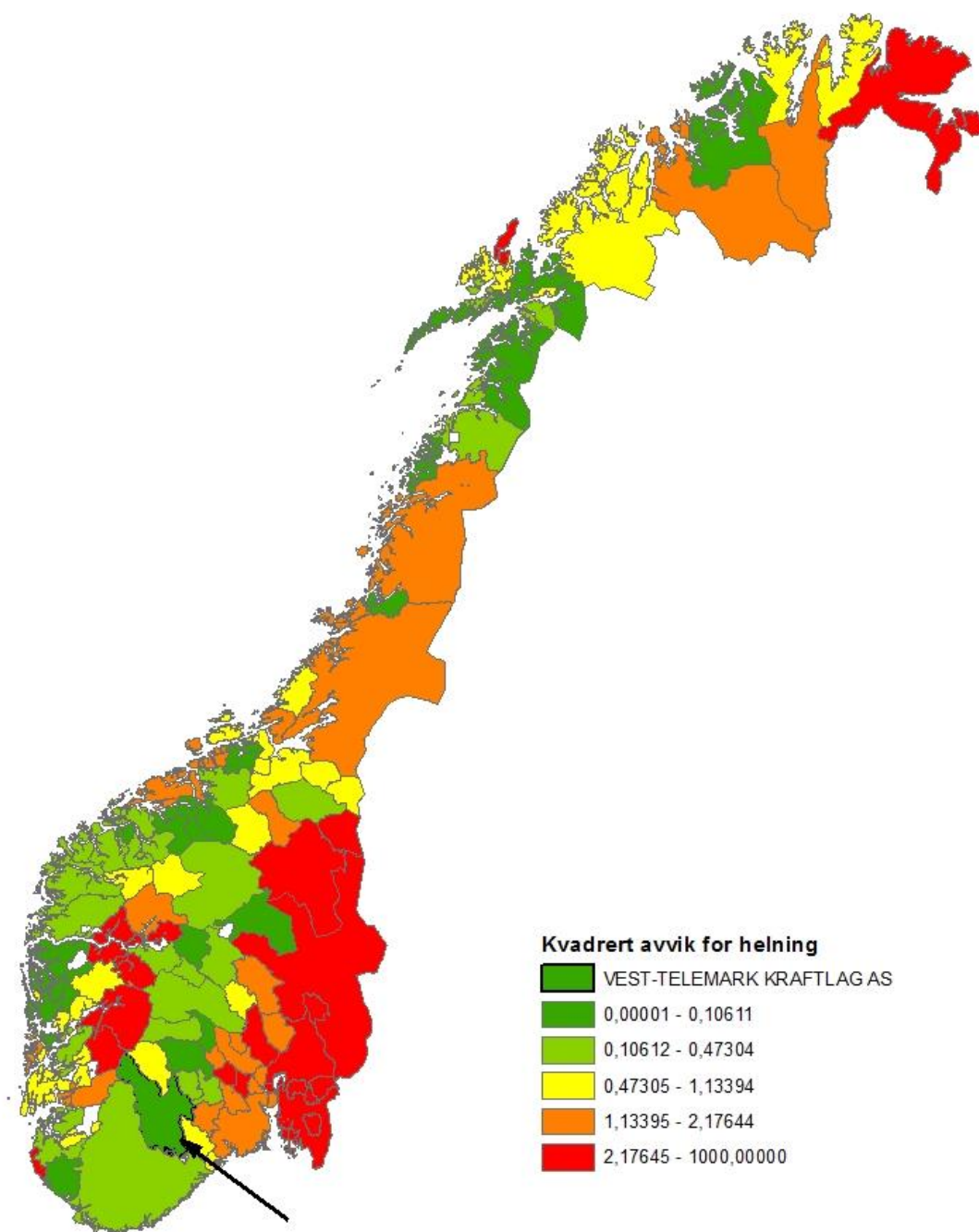
Sammenlignbarhetsgrenser: Installert ytelse småkraft



1:6 499 391,83

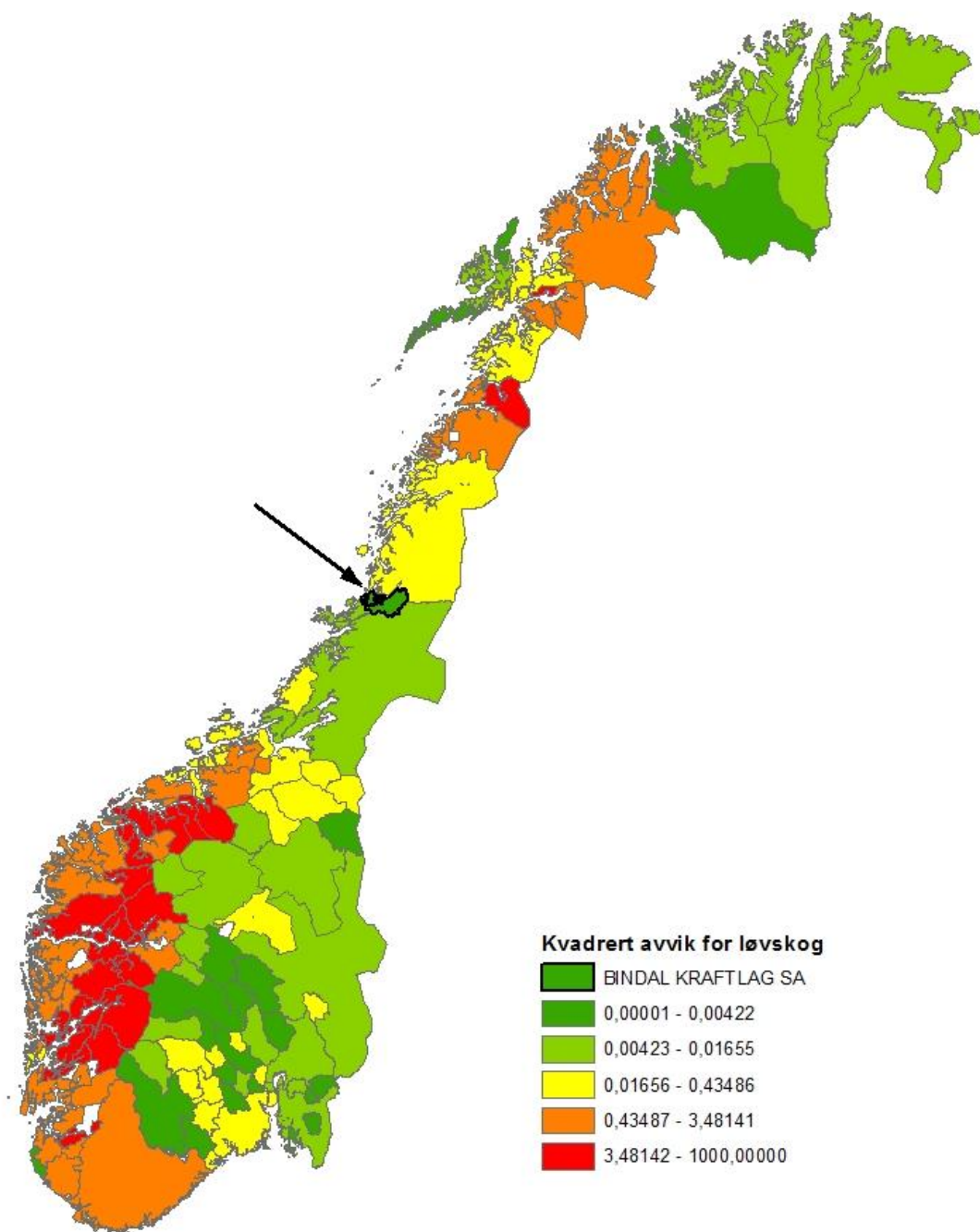
Vedlegg 8: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Helning".

Sammenlignbarhetsgrenser: Helning



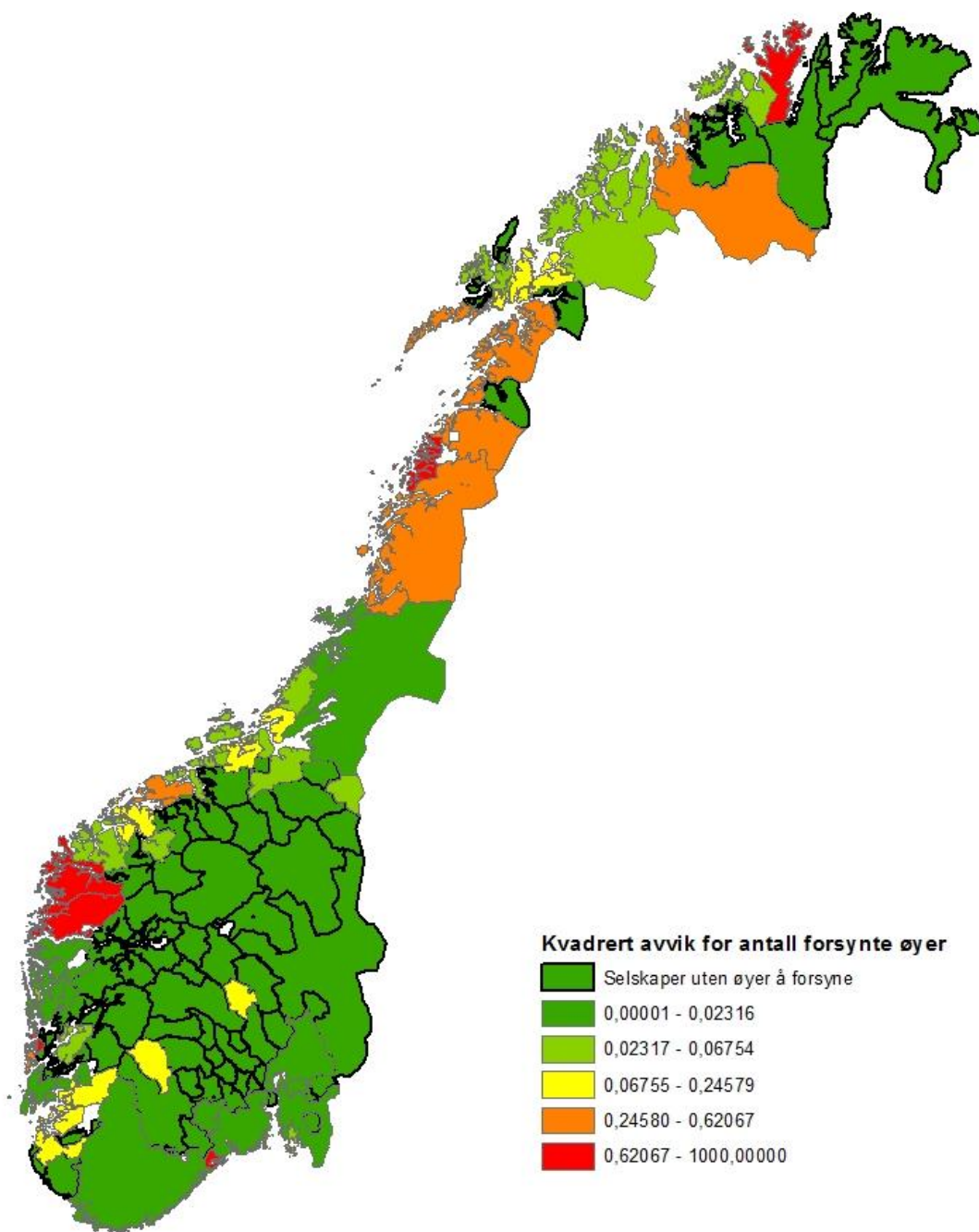
1:6 499 391,83

Sammenlignbarhetsgrenser: Løvskog



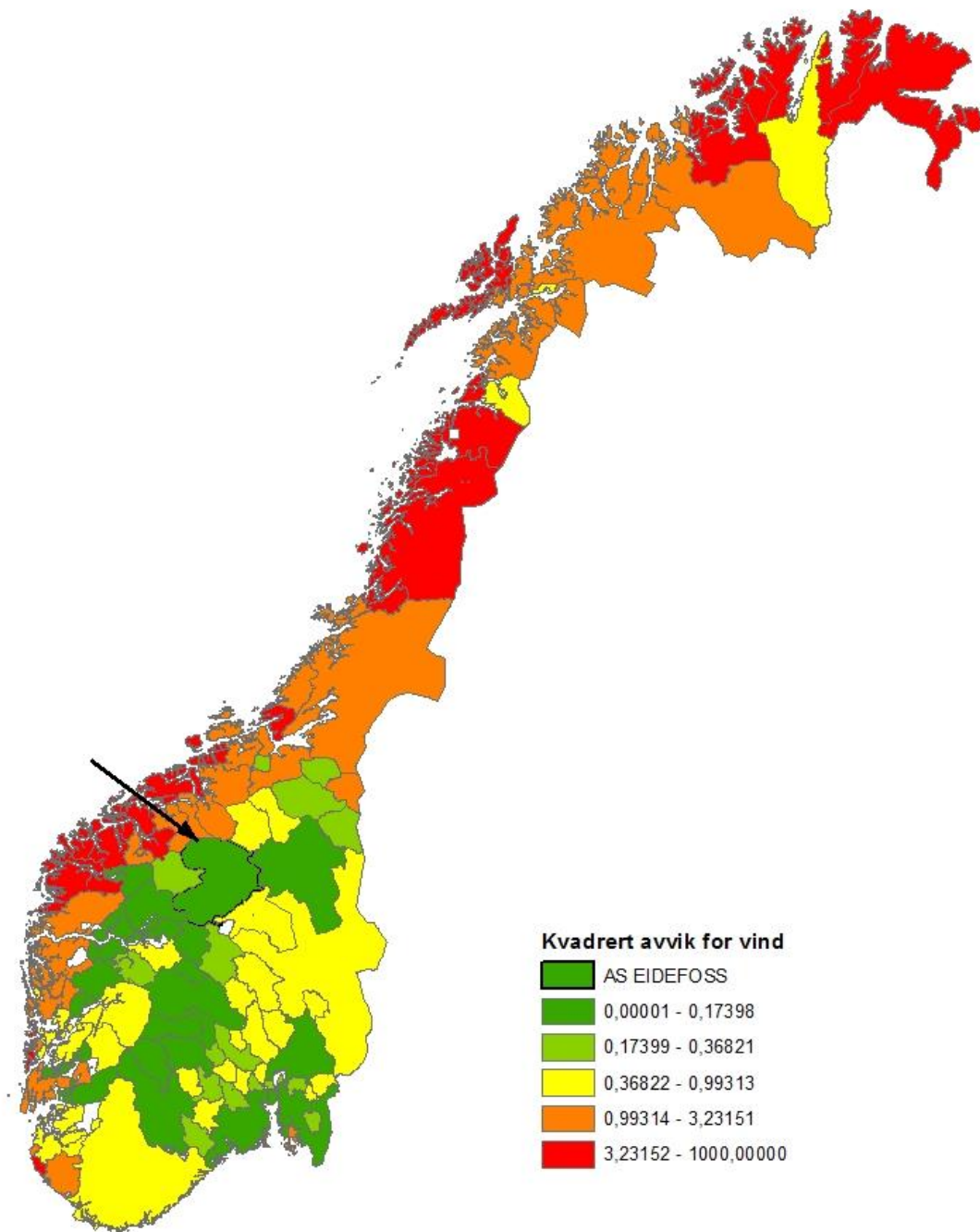
1:6 499 391,83

Sammenlignbarhetsgrenser: Antall forsynte øyer



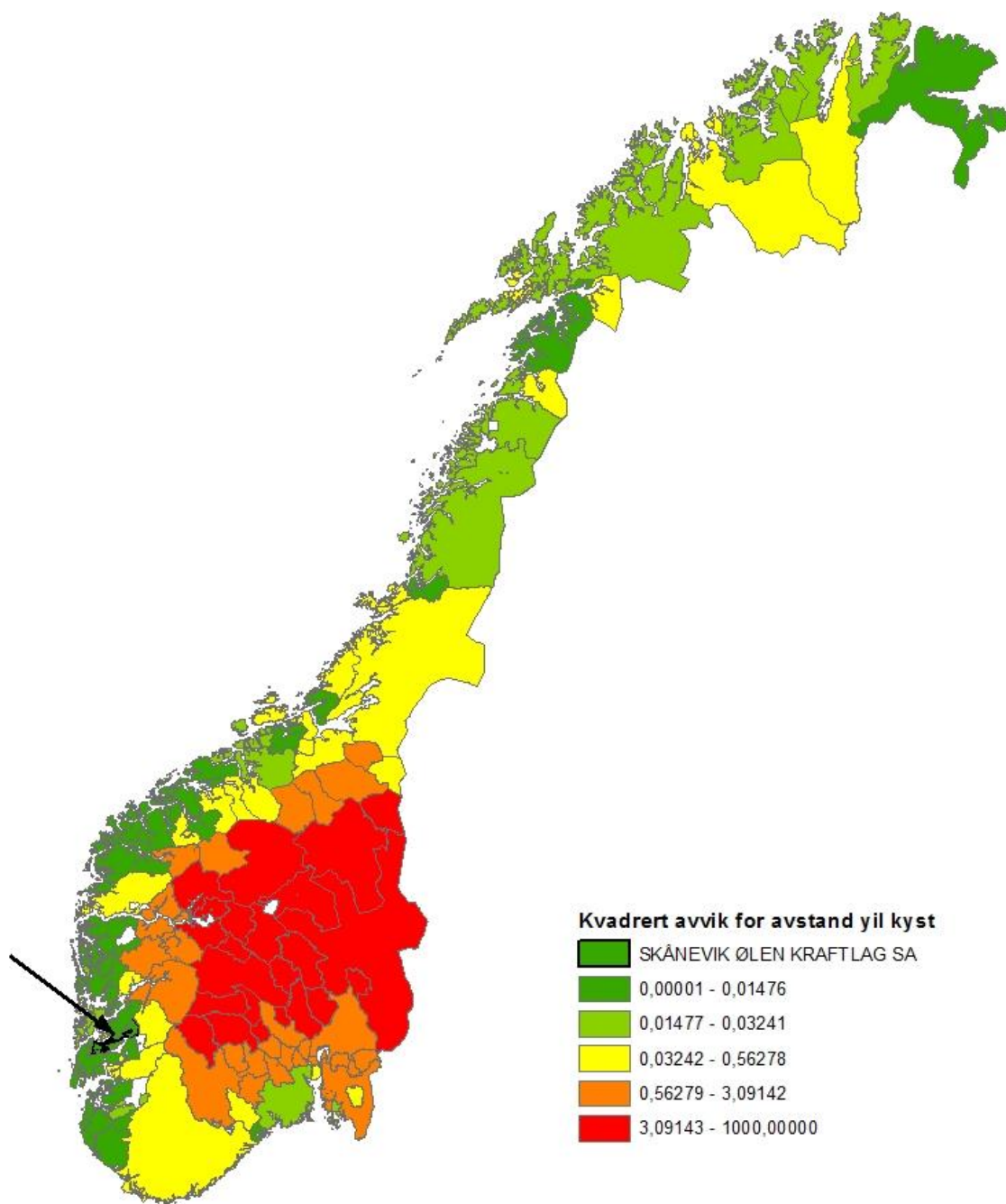
1:6 499 391,83

Sammenlignbarhetsgrenser: Vind



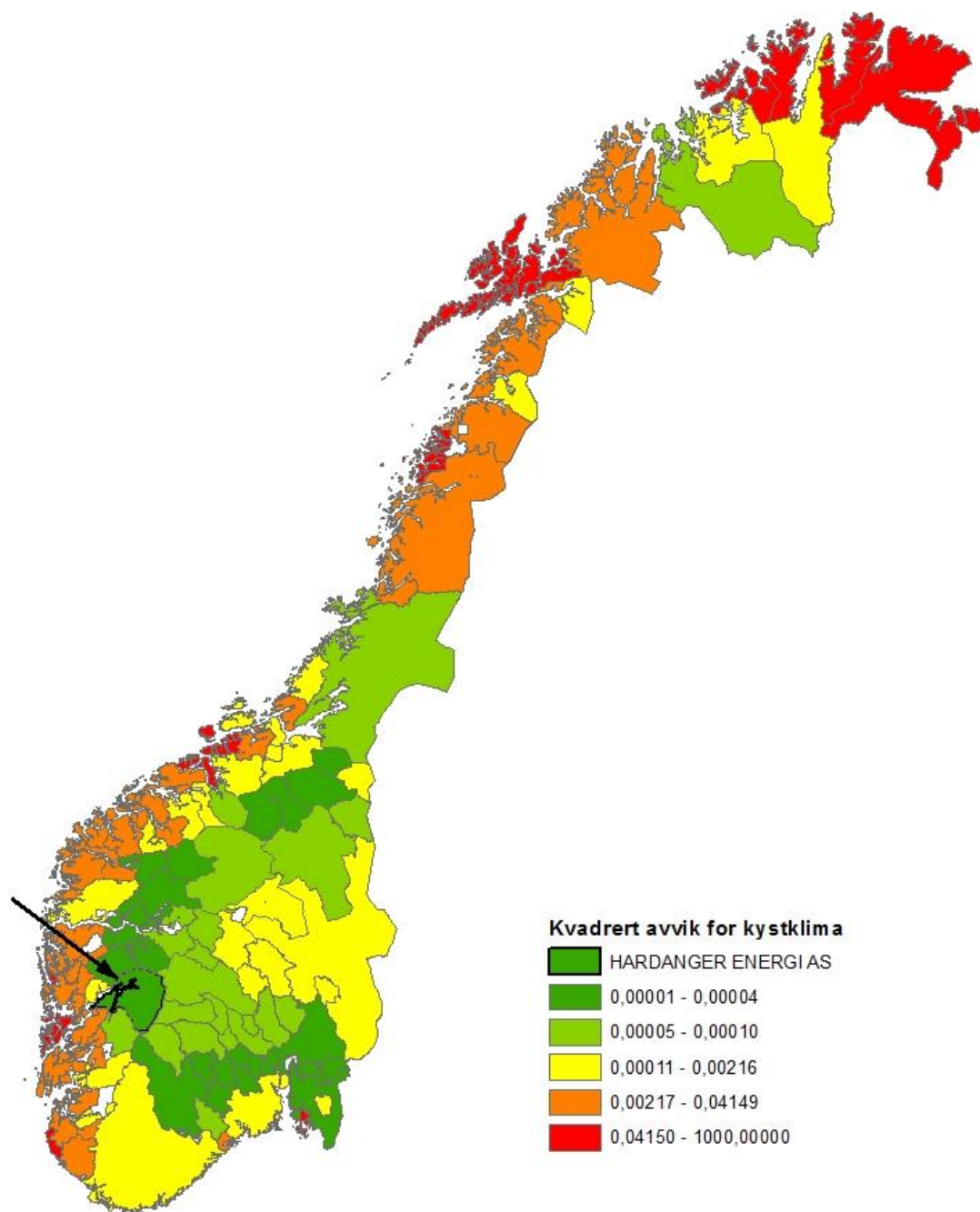
1:6 499 391,83

Sammenlignbarhetsgrenser: Avstand til kyst



1:6 499 391,83

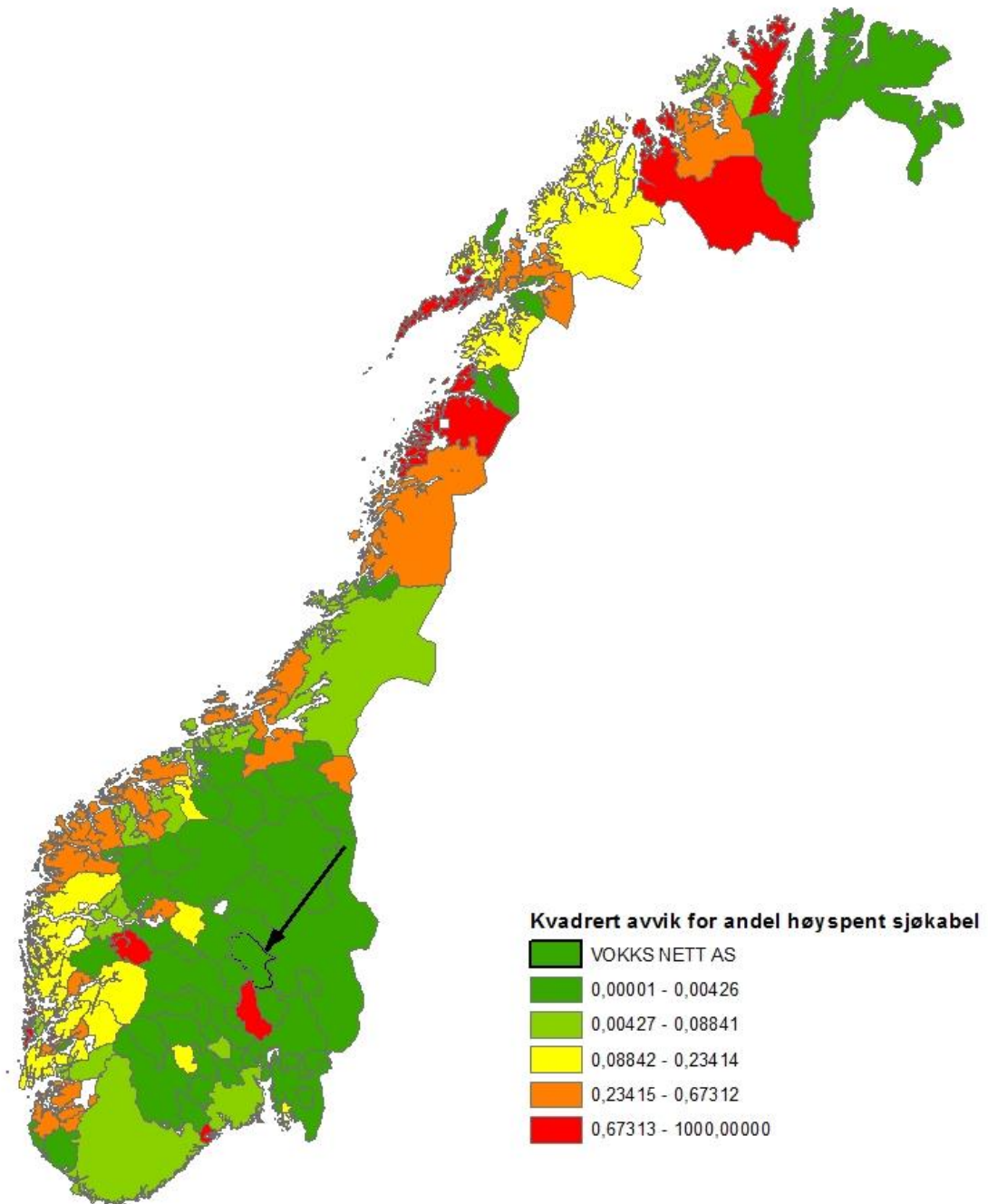
Sammenlignbarhetsgrenser: Kystklima



1:6 499 391,83

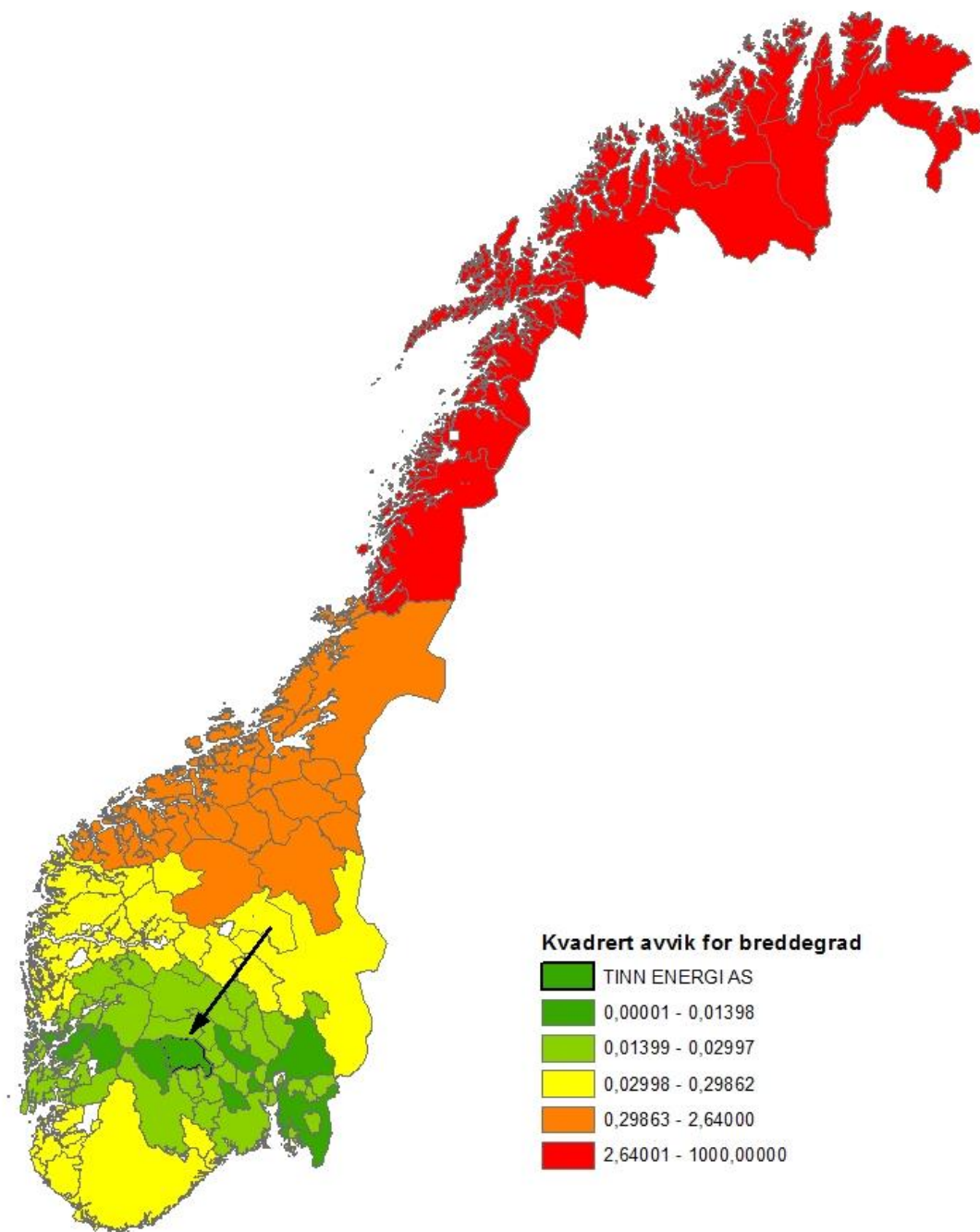
Vedlegg 14: Sammenlignbarhetsgrenser for medianselskapet på rammevilkåret "Andel høyspent sjøkabel".

Sammenlignbarhetsgrenser: Andel høyspent sjøkabel



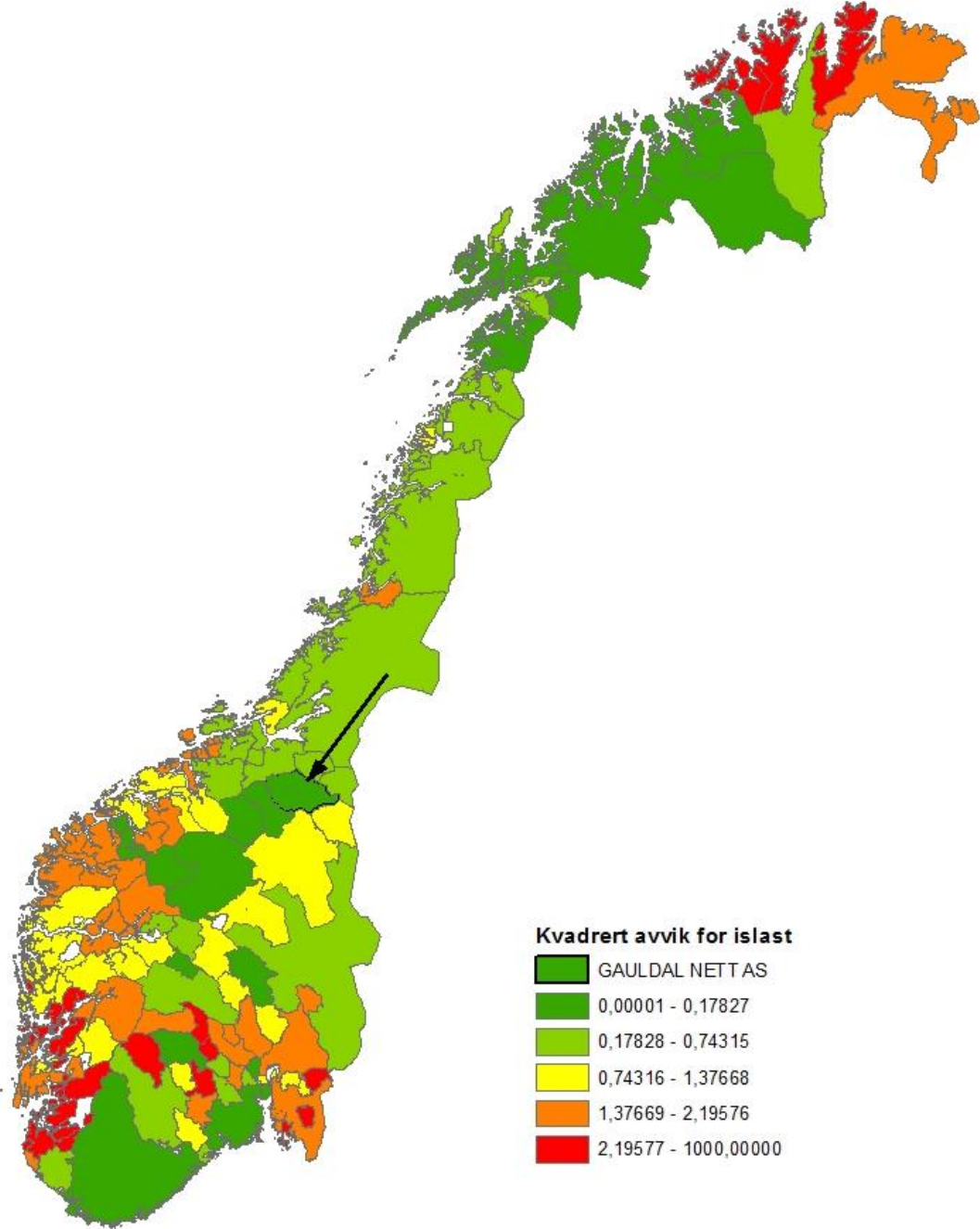
1:6 499 391,83

Sammenlignbarhetsgrenser: Breddegrad



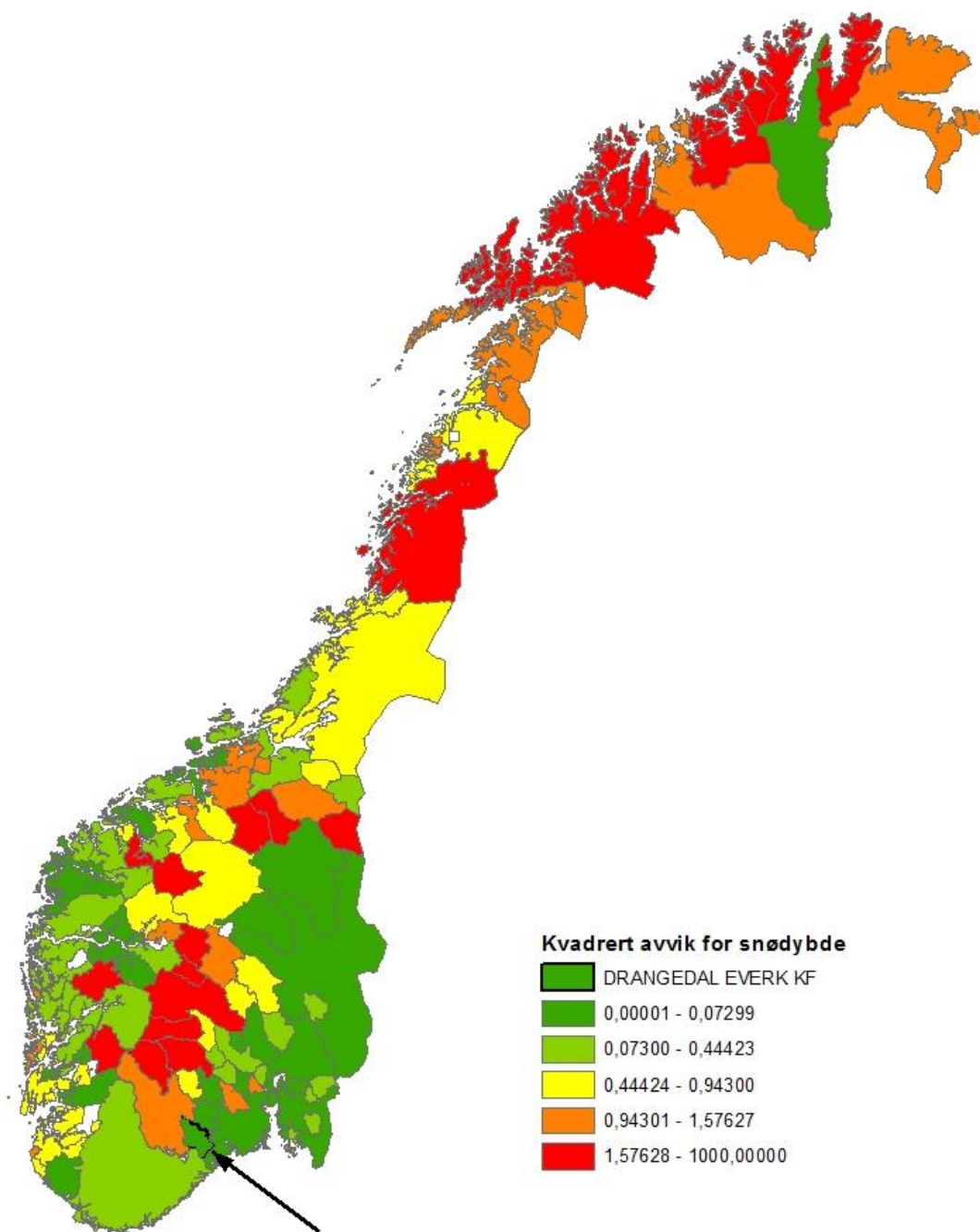
1:6 499 391,83

Sammenlignbarhetsgrenser: Islast



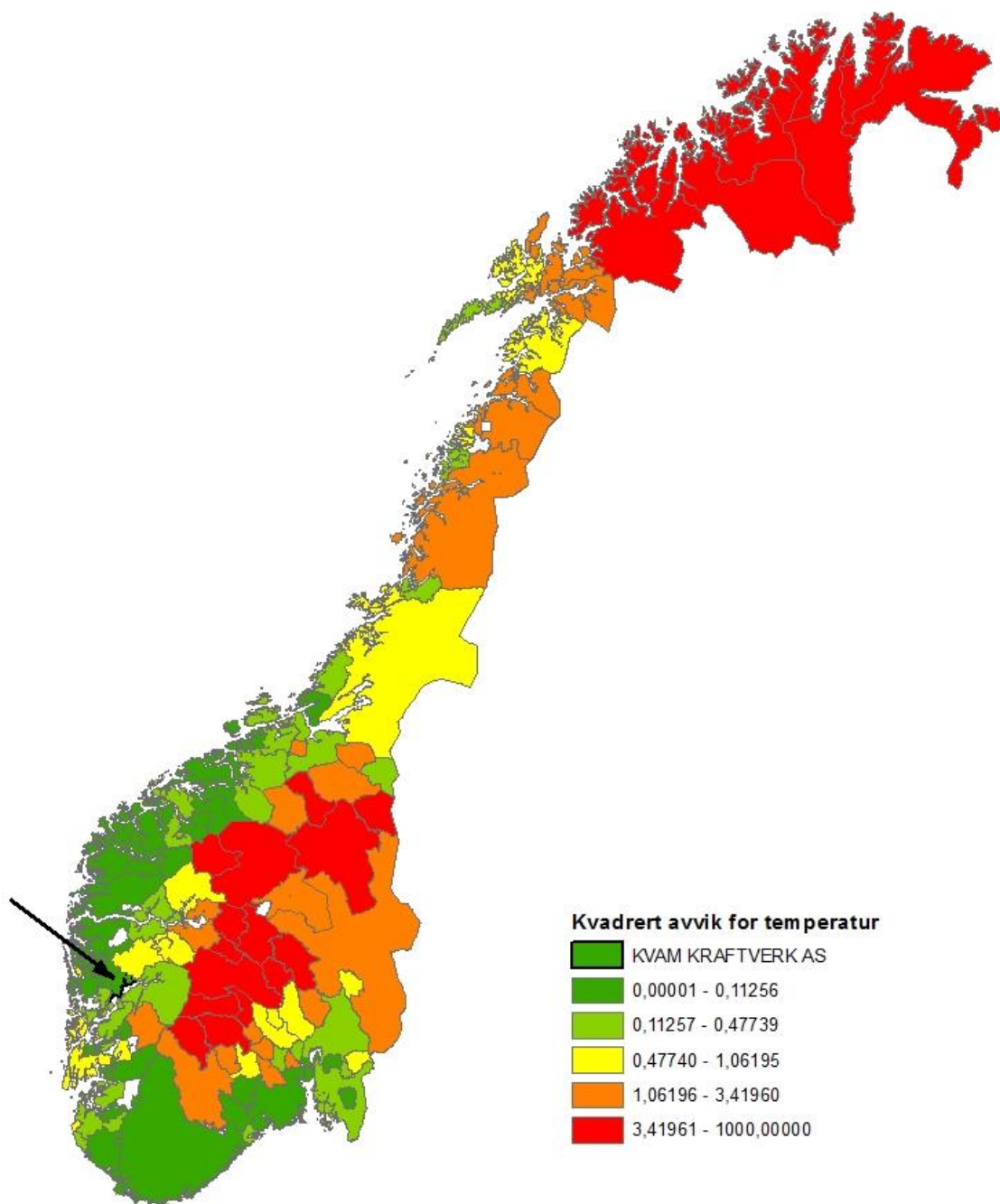
1:6 499 391,83

Sammenlignbarhetsgrenser: Snødybde



1:6 499 391,83

Sammenlignbarhetsgrenser: Temperatur



1:6 499 391,83

Vedlegg 19: Antall km kraftledning for spenningsnivå fra 1 til 11 kV og fra og med 11 til og med 22kV. Dataene er hentet fra teknisk økonomisk rapportering (eRapp) [8]. Tallene er nettdata for 2015 multiplisert med antall år i perioden 2009-2016 (7 år).

ID	Selskapsnavn	1-11kV	11-22kV
910261525	AGDER ENERGI NETT AS	184	32296
971029390	ALTA KRAFTLAG SA	0	5320
971048611	ANDØY ENERGI AS	0	1512
911305631	AS EIDEFOSS	0	6384
974521539	ASKØY NETT AS	0	736
975332438	AURLAND ENERGIVERK AS	64	520
959254893	AUSTEVOLL KRAFTLAG SA	48	752
971592117	BALLANGEN ENERGI AS	0	2120
953181606	BINDAL KRAFTLAG SA	0	1048
976944801	BKK NETT AS	32	17008
948645017	DALANE ENERGI IKS	16	2760
971028440	DRANGEDAL EVERK KF	0	1592
981915550	EB NETT AS	0	1232
981963849	EIDSIVA NETT AS	0	38280
971028513	ETNE ELEKTRISITETSLAG SA	0	320
914904188	EVENES KRAFTFORSYNING AS	0	696
944664440	FINNÅS KRAFTLAG SA	8	1096
971028548	FITJAR KRAFTLAG SA	0	552
911665670	FJELBERG KRAFTLAG SA	0	312
982677386	FLESBERG ELEKTRISITETSVERK AS	1152	0
982560713	FOLLO NETT AS	8	2816
971031107	FORSAND ELVERK KOMMUNALT FØRETAK I FORSAND	0	344
883152212	FOSEN NETT AS	0	3400
971031108	FUSA KRAFTLAG SA	0	1120
977205719	GAULDAL NETT AS	0	2480
941739601	GUDBRANDSDAL ENERGI NETT AS	0	4200
880340492	HADELAND ENERGINETT AS	0	3664
980489698	HAFSLUND NETT AS	8	27456
971589752	HALLINGDAL KRAFTNETT AS	0	4496
982897327	HAMMERFEST ENERGI NETT AS	0	3144
983502601	HARDANGER ENERGI AS	0	2328
970983074	HAUGALAND KRAFT PRODUKSJON AS	80	6008
844011342	HELGELAND KRAFT AS	0	18320
947537792	HEMNE KRAFTLAG SA	0	2024
971030569	HEMSEDAL ENERGI KF	0	984
985834059	HJARTDAL ELVERK AS	0	816
879914752	HURUM ENERGIVERK AS	0	544
948067323	HØLAND OG SETSKOG ELVERK SA	0	1520
912432181	HÅLOGALAND KRAFT PRODUKSJON AS	0	6840
947707981	ISE NETT AS	40	1776
979379455	ISTAD NETT AS	0	5528
882023702	JÆREN EVERK KOMMUNALT FORETAK I HÅ	0	256
977285712	KLEPP ENERGI AS	0	216
979399901	KRAGERØ ENERGI AS	0	1576
971030658	KRØDSHERAD EVERK KF	0	712
979599684	KVAM KRAFTVERK AS	0	1000
955664361	KVIKNE-RENNEBU KRAFTLAG SA	0	2040
966309202	KVINNHHERAD ENERGI AS	0	1928
979933134	LIER NETT AS	0	904
986347801	LOFOTKRAFT AS	16	4560

938260494	LUOSTEJOK KRAFTLAG SA	72	3432
933297292	LUSTER ENERGIVERK AS	8	1552
980038408	LYSE ELNETT AS	112	4760
914078865	LÆRDAL ENERGI AS	0	624
977106184	MELØY ENERGI AS	8	1560
980283976	MIDT NETT BUSKERUD AS	0	2640
963022158	MIDT-TELEMARK ENERGI AS	8	1936
980347591	MØRENETT AS	80	6968
981375521	NESSET KRAFT AS	0	1032
983099807	NORDKRAFT NETT AS	48	1488
956740134	NORDKYN KRAFTLAG SA	0	1648
990892679	NORDLANDSNETT AS	48	5640
960684737	NORDMØRE ENERGIVERK AS	24	6240
995114666	NORD-SALTEN KRAFT AS	0	5728
980824586	NORDVEST NETT AS	0	3184
948526786	NORD-ØSTERDAL KRAFTLAG SA	0	6968
984653360	NORE ENERGI AS	0	696
980234088	NORGESNETT AS	0	1608
966731508	NOTODDEN ENERGI NETT AS	0	1080
988807648	NTE NETT AS	48	33384
976723805	ODDA ENERGI AS	0	712
915019196	OPPDAL EVERK AS	0	1528
979546386	ORKDAL ENERGI AS	0	1168
968398083	RAKKESTAD ENERGI AS	0	1760
915317898	RAULAND KRAFTFORSYNINGSLAG SA	0	1992
970974253	RAUMA ENERGI AS	0	1784
948755742	REPVÅG KRAFTLAG SA	0	2952
987626844	RINGERIKS-KRAFT NETT AS	0	3176
957896928	ROLLAG ELEKTRISITETSVERK SA	0	456
915558119	RØDØY-LURØY KRAFTVERK AS	0	2472
915591302	RØROS ELEKTRISITETSVERK AS	0	2472
978664628	SANDØY ENERGI AS	0	120
980498646	SELBU ENERGIVERK AS	0	1288
984882114	SFE NETT AS	144	8560
979422679	SKAGERAK NETT AS	0	9928
991077537	SKJÅK ENERGI KF	0	1064
992860634	SKL NETT AS	0	352
948429209	SKÅNEVIK ØLEN KRAFTLAG SA	0	1056
916069634	SOGNEKRAFT AS	0	2576
985294836	STANGE ENERGI NETT AS	0	2320
979951140	STRANDA ENERGI AS	0	824
976626192	STRYN ENERGI AS	0	1608
971034998	SULDAL ELVERK KF	0	1968
971029102	SUNNDAL ENERGI KF	0	1080
916501420	SUNNFJORD ENERGI AS	16	7168
919763159	SVORKA ENERGI AS	0	3408
979918224	SYKKYLVEN ENERGI AS	0	568
954226883	SØR AURDAL ENERGI AS	0	1032
982173329	TINN ENERGI AS	0	1688
968002228	TROLLFJORD KRAFT AS	0	1840
979151950	TROMS KRAFT NETT AS	168	24016
978645178	TRØGSTAD ELVERK AS	0	1160
941391060	TRØNDERENERGI NETT AS	88	13144
848382922	TYSNES KRAFTLAG SA	0	1272

967670170	UVDAL KRAFTFORSYNING SA	0	584
953681781	VALDRES ENERGIVERK AS	0	3200
871028362	VANG ENERGIVERK KF	0	896
971058854	VARANGER KRAFTNETT AS	0	8456
968168134	VESTERÅLSKRAFT NETT AS	48	3920
955996836	VEST-TELEMARK KRAFTLAG AS	0	6560
882783022	VOKKS NETT AS	0	5216
984665776	VOSS ENERGI AS	0	1960
914678412	YMBER AS	0	6440
979497482	ØVRE EIKER NETT AS	0	736
971031425	ÅRDAL ENERGI KF	0	448

Vedlegg 20: Antall km jordkabel for spenningsnivå fra 1 til 11 kV og fra og med 11 til og med 22kV. Dataene er hentet fra teknisk økonomisk rapportering (eRapp) [1]. Tallene er nettdata for 2015 multiplisert med antall år i perioden 2009-2016 (8 år).

ID	Selskapsnavn	1-11kV	11-22kV
910261525	AGDER ENERGI NETT AS	32	13008
971029390	ALTA KRAFTLAG SA	0	1360
971048611	ANDØY ENERGI AS	0	736
911305631	AS EIDEFOSS	0	1704
974521539	ASKØY NETT AS	0	944
975332438	AURLAND ENERGIVERK AS	0	608
959254893	AUSTEVOLL KRAFTLAG SA	8	264
971592117	BALLANGEN ENERGI AS	0	184
953181606	BINDAL KRAFTLAG SA	0	88
976944801	BKK NETT AS	96	21304
948645017	DALANE ENERGI IKS	8	2920
971028440	DRANGEDAL EVERK KF	0	552
981915550	EB NETT AS	0	6536
981963849	EIDSIVA NETT AS	8	18360
971028513	ETNE ELEKTRISITETSLAG SA	0	496
914904188	EVENES KRAFTFORSYNING AS	0	168
944664440	FINNÅS KRAFTLAG SA	0	768
971028548	FITJAR KRAFTLAG SA	0	480
911665670	FJELBERG KRAFTLAG SA	0	248
982677386	FLESBERG ELEKTRISITETSVERK AS	600	0
982560713	FOLLO NETT AS	16	3344
971031107	FORSAND ELVERK KOMMUNALT FØRETAK I FORSAND	0	288
883152212	FOSEN NETT AS	0	1456
971031108	FUSA KRAFTLAG SA	0	344
977205719	GAULDAL NETT AS	0	656
941739601	GUDBRANDSDAL ENERGI NETT AS	0	2832
880340492	HADELAND ENERGINETT AS	0	1840
980489698	HAFSLUND NETT AS	128	66368
971589752	HALLINGDAL KRAFTNETT AS	0	4696
982897327	HAMMERFEST ENERGI NETT AS	0	880
983502601	HARDANGER ENERGI AS	0	1240
970983074	HAUGALAND KRAFT PRODUKSJON AS	128	6712
844011342	HELGELAND KRAFT AS	0	5344
947537792	HEMNE KRAFTLAG SA	0	480
971030569	HEMSEDAL ENERGI KF	0	800
985834059	HJARTDAL ELVERK AS	0	480
879914752	HURUM ENERGIVERK AS	0	760

948067323	HØLAND OG SETSKOG ELVERK SA	0	440
912432181	HÅLOGALAND KRAFT PRODUKSJON AS	0	1880
947707981	ISE NETT AS	136	1144
979379455	ISTAD NETT AS	0	3120
882023702	JÆREN EVERK KOMMUNALT FORETAK I HÅ	0	2080
977285712	KLEPP ENERGI AS	0	1464
979399901	KRAGERØ ENERGI AS	0	824
971030658	KRØDSHERAD EVERK KF	0	440
979599684	KVAM KRAFTVERK AS	0	856
955664361	KVIKNE-RENNEBU KRAFTLAG SA	0	528
966309202	KVINNHHERAD ENERGI AS	0	704
979933134	LIER NETT AS	0	1328
986347801	LOFOTKRAFT AS	0	1776
938260494	LUOSTEJOK KRAFTLAG SA	8	496
933297292	LUSTER ENERGIVERK AS	8	464
980038408	LYSE ELNETT AS	176	16104
914078865	LÆRDAL ENERGI AS	16	536
977106184	MELØY ENERGI AS	88	704
980283976	MIDT NETT BUSKERUD AS	0	1984
963022158	MIDT-TELEMARK ENERGI AS	0	1632
980347591	MØRENETT AS	0	6928
981375521	NESSET KRAFT AS	0	272
983099807	NORDKRAFT NETT AS	0	1192
956740134	NORDKYN KRAFTLAG SA	0	184
990892679	NORLANDSNETT AS	8	3648
960684737	NORDMØRE ENERGIVERK AS	0	3136
995114666	NORD-SALTEN KRAFT AS	0	776
980824586	NORDVEST NETT AS	0	1248
948526786	NORD-ØSTERDAL KRAFTLAG SA	0	1032
984653360	NORE ENERGI AS	0	680
980234088	NORGESNETT AS	0	3688
966731508	NOTODDEN ENERGI NETT AS	0	1720
988807648	NTE NETT AS	16	7776
976723805	ODDA ENERGI AS	0	1256
915019196	OPPDAL EVERK AS	0	912
979546386	ORKDAL ENERGI AS	0	888
968398083	RAKKESTAD ENERGI AS	0	464
915317898	RAULAND KRAFTFORSYNINGSLAG SA	0	536
970974253	RAUMA ENERGI AS	0	768
948755742	REPVÅG KRAFTLAG SA	0	904
987626844	RINGERIKS-KRAFT NETT AS	80	2792
957896928	ROLLAG ELEKTRISITETSVERK SA	0	472
915558119	RØDØY-LURØY KRAFTVERK AS	0	344
915591302	RØROS ELEKTRISITETSVERK AS	0	328
978664628	SANDØY ENERGI AS	0	176
980498646	SELBU ENERGIVERK AS	0	544
984882114	SFE NETT AS	104	2600
979422679	SKAGERAK NETT AS	0	24816
991077537	SKJÅK ENERGI KF	0	368
992860634	SKL NETT AS	0	1240
948429209	SKÅNEVIK ØLEN KRAFTLAG SA	0	560
916069634	SOGNEKRAFT AS	0	1344
985294836	STANGE ENERGI NETT AS	0	1320
979951140	STRANDA ENERGI AS	0	672

976626192	STRYN ENERGI AS	0	536
971034998	SULDAL ELVERK KF	0	784
971029102	SUNNDAL ENERGI KF	0	944
916501420	SUNNFJORD ENERGI AS	0	1784
919763159	SVORKA ENERGI AS	0	712
979918224	SYKKYLVEN ENERGI AS	0	912
954226883	SØR AURDAL ENERGI AS	0	776
982173329	TINN ENERGI AS	0	1432
968002228	TROLLFJORD KRAFT AS	0	744
979151950	TROMS KRAFT NETT AS	8	7072
978645178	TRØGSTAD ELVERK AS	0	360
941391060	TRØNDERENERGI NETT AS	8	11480
848382922	TYSNES KRAFTLAG SA	0	120
967670170	UVDAL KRAFTFORSYNING SA	0	296
953681781	VALDRES ENERGIVERK AS	0	2352
871028362	VANG ENERGIVERK KF	0	464
971058854	VARANGER KRAFTNETT AS	0	1880
968168134	VESTERÅLSKRAFT NETT AS	0	1576
955996836	VEST-TELEMARK KRAFTLAG AS	0	2168
882783022	VOKKS NETT AS	0	832
984665776	VOSS ENERGI AS	0	1272
914678412	YMBER AS	0	968
979497482	ØVRE EIKER NETT AS	0	1848
971031425	ÅRDAL ENERGI KF	0	704

Vedlegg 21: Antall km sjøkabel for spenningsnivå fra 1 til 11 kV og fra og med 11 til og med 22kV. Dataene er hentet fra teknisk økonomisk rapportering (eRapp) [1]. Tallene er nettdata for 2015 multiplisert med antall år i perioden 2014-2016 (3 år).

ID	Selskapsnavn	1-11kV	11-22kV
910261525	AGDER ENERGI NETT AS	6	216
971029390	ALTA KRAFTLAG SA	0	72
971048611	ANDØY ENERGI AS	0	3
974521539	ASKØY NETT AS	0	3
975332438	AURLAND ENERGIVERK AS	0	24
959254893	AUSTEVOLL KRAFTLAG SA	18	9
971592117	BALLANGEN ENERGI AS	0	3
976944801	BKK NETT AS	24	324
948645017	DALANE ENERGI IKS	0	0
981915550	EB NETT AS	0	9
981963849	EIDSIVA NETT AS	0	15
944664440	FINNÅS KRAFTLAG SA	9	27
971028548	FITJAR KRAFTLAG SA	0	6
911665670	FJELBERG KRAFTLAG SA	0	18
982677386	FLESBERG ELEKTRISITETSVERK AS	3	0
982560713	FOLLO NETT AS	0	3
971031107	FORSAND ELVERK KOMMUNALT FØRETAK I FORSAND	0	9
883152212	FOSEN NETT AS	0	51
971031108	FUSA KRAFTLAG SA	0	12
880340492	HADELAND ENERGINETT AS	0	9
980489698	HAFSLUND NETT AS	0	108
971589752	HALLINGDAL KRAFTNETT AS	0	15
982897327	HAMMERFEST ENERGI NETT AS	0	21
983502601	HARDANGER ENERGI AS	0	24
970983074	HAUGALAND KRAFT PRODUKSJON AS	24	84

844011342	HELGELAND KRAFT AS	0	351
947537792	HEMNE KRAFTLAG SA	0	9
985834059	HJARTDAL ELVERK AS	0	12
948067323	HØLAND OG SETSKOG ELVERK SA	0	0
912432181	HÅLOGALAND KRAFT PRODUKSJON AS	0	114
979379455	ISTAD NETT AS	0	102
979399901	KRAGERØ ENERGI AS	0	72
979599684	KVAM KRAFTVERK AS	0	18
966309202	KVINNHHERAD ENERGI AS	0	18
986347801	LOFOTKRAFT AS	3	357
980038408	LYSE ELNETT AS	0	234
977106184	MELØY ENERGI AS	0	51
980283976	MIDT NETT BUSKERUD AS	0	3
963022158	MIDT-TELEMARK ENERGI AS	0	3
980347591	MØRENETT AS	0	219
981375521	NESSET KRAFT AS	0	9
983099807	NORDKRAFT NETT AS	0	33
990892679	NORLANDSNETT AS	45	144
960684737	NORDMØRE ENERGIVERK AS	0	36
995114666	NORD-SALTEN KRAFT AS	0	54
980824586	NORDVEST NETT AS	6	57
948526786	NORD-ØSTERDAL KRAFTLAG SA	0	0
980234088	NORGESNETT AS	0	45
966731508	NOTODDEN ENERGI NETT AS	0	3
988807648	NTE NETT AS	30	108
976723805	ODDA ENERGI AS	0	12
970974253	RAUMA ENERGI AS	0	9
948755742	REPVÅG KRAFTLAG SA	0	75
987626844	RINGERIKS-KRAFT NETT AS	0	99
915558119	RØDØY-LURØY KRAFTVERK AS	0	570
978664628	SANDØY ENERGI AS	0	63
984882114	SFE NETT AS	12	168
979422679	SKAGERAK NETT AS	0	132
992860634	SKL NETT AS	0	6
948429209	SKÅNEVIK ØLEN KRAFTLAG SA	0	18
916069634	SOGNEKRAFT AS	0	15
979951140	STRANDA ENERGI AS	0	9
971034998	SULDAL ELVERK KF	0	12
916501420	SUNNFJORD ENERGI AS	15	45
919763159	SVORKA ENERGI AS	0	3
979918224	SYKKYLVEN ENERGI AS	0	3
968002228	TROLLFJORD KRAFT AS	0	90
979151950	TROMS KRAFT NETT AS	33	216
941391060	TRØNDERENERGI NETT AS	18	303
848382922	TYSNES KRAFTLAG SA	0	9
871028362	VANG ENERGIVERK KF	0	12
971058854	VARANGER KRAFTNETT AS	0	9
968168134	VESTERÅLSKRAFT NETT AS	3	45
955996836	VEST-TELEMARK KRAFTLAG AS	0	12
882783022	VOKKS NETT AS	0	3
984665776	VOSS ENERGI AS	0	0
914678412	YMBER AS	0	144
971031425	ÅRDAL ENERGI KF	0	12

Vedlegg 22: Antall transformator for spenningsnivå fra 1 til og med 22 kV. Dataene er hentet fra teknisk økonomisk rapportering (eRapp) [1]. Tallene er nettdata for 2015 multiplisert med antall år i perioden 2009-2016 (8 år).

ID	Selskapsnavn	Antall
910261525	AGDER ENERGI NETT AS	65576
971029390	ALTA KRAFTLAG SA	7328
971048611	ANDØY ENERGI AS	1816
911305631	AS EIDEFOSS	8544
974521539	ASKØY NETT AS	3768
975332438	AURLAND ENERGIVERK AS	1328
959254893	AUSTEVOLL KRAFTLAG SA	1488
971592117	BALLANGEN ENERGI AS	1920
953181606	BINDAL KRAFTLAG SA	872
976944801	BKK NETT AS	46880
948645017	DALANE ENERGI IKS	6432
971028440	DRANGEDAL EVERK KF	2256
981915550	EB NETT AS	14456
981963849	EIDSIVA NETT AS	84048
971028513	ETNE ELEKTRISITETSLAG SA	1056
914904188	EVENES KRAFTFORSYNING AS	904
944664440	FINNÅS KRAFTLAG SA	2560
971028548	FITJAR KRAFTLAG SA	1176
911665670	FJELBERG KRAFTLAG SA	824
982677386	FLESBERG ELEKTRISITETSVERK AS	1680
982560713	FOLLO NETT AS	11696
971031107	FORSAND ELVERK KOMMUNALT FØRETAK I FORSAND	752
883152212	FOSEN NETT AS	6336
971031108	FUSA KRAFTLAG SA	1968
977205719	GAULDAL NETT AS	3400
941739601	GUDBRANDSDAL ENERGI NETT AS	9032
880340492	HADELAND ENERGINETT AS	9008
980489698	HAFSLUND NETT AS	164976
971589752	HALLINGDAL KRAFTNETT AS	13800
982897327	HAMMERFEST ENERGI NETT AS	3816
983502601	HARDANGER ENERGI AS	3616
970983074	HAUGALAND KRAFT PRODUKSJON AS	19144
844011342	HELGELAND KRAFT AS	24608
947537792	HEMNE KRAFTLAG SA	2816
971030569	HEMSEDAL ENERGI KF	2768
985834059	HJARTDAL ELVERK AS	1208
879914752	HURUM ENERGIVERK AS	2416
948067323	HØLAND OG SETSKOG ELVERK SA	2568
912432181	HÅLOGALAND KRAFT PRODUKSJON AS	9808
947707981	ISE NETT AS	2904
979379455	ISTAD NETT AS	12120
882023702	JÆREN EVERK KOMMUNALT FORETAK I HÅ	3184
977285712	KLEPP ENERGI AS	2592
979399901	KRAGERØ ENERGI AS	3120
971030658	KRØDSHERAD EVERK KF	1568
979599684	KVAM KRAFTVERK AS	2928
955664361	KVIKNE-RENNEBU KRAFTLAG SA	2448

966309202	KVINNHHERAD ENERGI AS	3264
979933134	LIER NETT AS	5192
986347801	LOFOTKRAFT AS	6872
938260494	LUOSTEJOK KRAFTLAG SA	2864
933297292	LUSTER ENERGIVERK AS	2040
980038408	LYSE ELNETT AS	34112
914078865	LÆRDAL ENERGI AS	1072
977106184	MELØY ENERGI AS	2528
980283976	MIDT NETT BUSKERUD AS	6416
963022158	MIDT-TELEMARK ENERGI AS	4960
980347591	MØRENETT AS	22072
981375521	NESSET KRAFT AS	1456
983099807	NORDKRAFT NETT AS	3864
956740134	NORDKYN KRAFTLAG SA	1120
990892679	NORLANDSNETT AS	11072
960684737	NORDMØRE ENERGIVERK AS	11128
995114666	NORD-SALTEN KRAFT AS	4256
980824586	NORDVEST NETT AS	7128
948526786	NORD-ØSTERDAL KRAFTLAG SA	7752
984653360	NORE ENERGI AS	1472
980234088	NORGESNETT AS	9912
966731508	NOTODDEN ENERGI NETT AS	3360
988807648	NTE NETT AS	55720
976723805	ODDA ENERGI AS	2072
915019196	OPPDAL EVERK AS	4176
979546386	ORKDAL ENERGI AS	2936
968398083	RAKKESTAD ENERGI AS	3040
915317898	RAULAND KRAFTFORSYNINGSLAG SA	1808
970974253	RAUMA ENERGI AS	2976
948755742	REPVÅG KRAFTLAG SA	2480
987626844	RINGERIKS-KRAFT NETT AS	11056
957896928	ROLLAG ELEKTRISITETSVERK SA	1208
915558119	RØDØY-LURØY KRAFTVERK AS	2576
915591302	RØROS ELEKTRISITETSVERK AS	2928
978664628	SANDØY ENERGI AS	488
980498646	SELBU ENERGIVERK AS	1784
984882114	SFE NETT AS	13064
979422679	SKAGERAK NETT AS	57208
991077537	SKJÅK ENERGI KF	1608
992860634	SKL NETT AS	2600
948429209	SKÅNEVIK ØLEN KRAFTLAG SA	1968
916069634	SOGNEKRAFT AS	4568
985294836	STANGE ENERGI NETT AS	6008
979951140	STRANDA ENERGI AS	1840
976626192	STRYN ENERGI AS	2840
971034998	SULDAL ELVERK KF	2704
971029102	SUNNDAL ENERGI KF	2264
916501420	SUNNFJORD ENERGI AS	8840
919763159	SVORKA ENERGI AS	4376
979918224	SYKKYLVEN ENERGI AS	1816
954226883	SØR AURDAL ENERGI AS	2344
982173329	TINN ENERGI AS	3376
968002228	TROLLFJORD KRAFT AS	2616
979151950	TROMS KRAFT NETT AS	35704

978645178	TRØGSTAD ELVERK AS	2424
941391060	TRØNDERENERGI NETT AS	35080
848382922	TYSNES KRAFTLAG SA	1424
967670170	UVDAL KRAFTFORSYNING SA	1040
953681781	VALDRES ENERGIVERK AS	7912
871028362	VANG ENERGIVERK KF	1824
971058854	VARANGER KRAFTNETT AS	10032
968168134	VESTERÅLSKRAFT NETT AS	5808
955996836	VEST-TELEMARK KRAFTLAG AS	7488
882783022	VOKKS NETT AS	7360
984665776	VOSS ENERGI AS	4712
914678412	YMBER AS	5632
979497482	ØVRE EIKER NETT AS	4256
971031425	ÅRDAL ENERGI KF	1176

9. Referanser

- [1] Sintef Energi AS, Planleggingsbok for kraftnett, Sintef Energi, 2010.
- [2] T. Bernhardsen, Geografiske informasjonssystemer, 3. utgave, Vett & Viten, 2000.
- [3] Statnett SF, «Statnett.no,» 10 6 2016. [Internett]. Available: <http://www.statnett.no/Global/Dokumenter/Kraftsystemet/Systemansvar/Feilstatistikk/%C3%85rsstatistikk%202015%2033-420%20kV.pdf>.
- [4] M. H. Nygaard, «Presentasjon av feilstatistikk i kart,» Trondheim, 2016.
- [5] Olje- og energidepartementet, «Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet,» Lovdata, 2004.
- [6] P. Vaaje, «Nettsentralens praksis og forbedringspotensial i TrønderEnergi,» NTNU, Trondheim, 2016.
- [7] G. Solum, *Møte med TrønderEnergi*. [Intervju]. 2017.
- [8] NVE, «Teknisk økonomisk rapportering,» 29 April 2017. [Internett]. Available: <https://www.nve.no/elmarkedstilsynet-marked-og-monopol/okonomisk-regulering-av-nettselskap/okonomisk-og-teknisk-rapportering/>.
- [9] SINTEF Energi AS, «Planleggingsbok for kraftnett,» SINTEF, Trondheim, 2010.
- [10] G.-H. Strand and V. V. H. Bloch, "SSB," September 2009. [Online]. Available: https://www.ssb.no/a/english/publikasjoner/pdf/doc_200909_en/doc_200909_en.pdf.
- [11] NVE, «Forslag til endring av modeller for å fastsette kostnadsnormer,» Juni 2012. [Internett]. Available: http://publikasjoner.nve.no/hoeringsdokument/2012/hoeringsdokument2012_02.pdf.
- [12] NVE, «Modell for fastsettelse av kostnadsnormen,» Juni 2006. [Internett]. Available: <https://www.nve.no/Media/4145/nve-2006-modell-for-fastsettelse-av-kostnadsnorm-6-juni-med-vedlegg.pdf>.
- [13] NVE, «Oppsummeringsrapport: Mer treffsikre kostnadsnormer for nettselskaper,» Desember 2015. [Internett]. Available: http://publikasjoner.nve.no/hoeringsdokument/2015/hoeringsdokument2015_08.pdf.

- [14] K. Grunderud, H. Rasmussen, S. Nilsen, A. Lillethun, A. Holten og Ø. Sanderud, GIS - Geografiens språk i vår tidsalder, Oslo: Tapir akademiske forlag, 2008.
- [15] Statnett SF, «Årsstatistikk,» 17 Juli 2014. [Internett]. Available: http://www.statnett.no/Global/Bilder/Nyheter%20og%20rapportasjer/%C3%85rsstatistikk_2013_1-22.pdf.
- [16] Statnett SF, «Årsstatistikk,» 7 Juni 2012. [Internett]. Available: http://www.statnett.no/Global/Dokumenter/Kraftsystemet/Systemansvar/Feilstatistikk/%C3%85rsstatistikk_2011_1_22.pdf.
- [17] C. Lussana, O. E. Tveito og F. Uboldi, «seNorge v2.0, Temperature - An observational gridded dataset of temperature for Norway,» Norwegian Meteorological Institute, 2016.
- [18] Norsk klimaservicesenter, «Norsk klimaservicesenter,» Meteorologisk institutt, NVE, Uni Research og Bjerknessenteret, [Internett]. Available: <https://klimaservicesenter.no>. [Funnet 21 Mai 2017].
- [19] L. A. Erikson, «NVE,» Mai 2017. [Internett]. Available: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2017/rapport2017_41.pdf. [Funnet 13 Mai 2017].
- [20] Ø. R. Solheim, T. Trötscher og G. Kjølle, «Wind dependent failure rates for overhead transmission lines using reanalysis data and a Bayesian updating scheme,» IEEE, Oslo, 2016.
- [21] NVE, «Energiberedskap 2017,» 23 Mai 2017. [Internett]. Available: <http://webfileservice.nve.no/API/PublishedFiles/Download/201702974/2076135>.
- [22] ArcGIS, "ArcGIS Pro," Esri, [Online]. Available: <http://pro.arcgis.com/en/pro-app/tool-reference/3d-analyst/skyline.htm>.
- [23] NVE, «Lynstudien - Klimaendringenes betydning for forekomsten av lyn og tilpasningsbehov i kraftforsyningen,» April 2011. [Internett]. Available: http://publikasjoner.nve.no/rapport/2011/rapport2011_06.pdf.