

# Reinvesteringsbehov for stolper i høyspennings fordelingsnett

**Yaru Li**

Master i energi og miljø

Innlevert: juli 2014

Hovedveileder: Eivind Solvang, ELKRAFT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet  
Institutt for elkraftteknikk



# Reinvesteringsbehov for stolper i høyspennings fordelingsnett

Yaru Li

Master i energi og miljø

Innlevert: Juni 2014

Hovedveileder: Eivind Solvang, ELKRAFT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet

Institutt for elkraftteknikk



# Oppgavetekst

Hovedoppgaven omfatter følgende deloppgaver:

1. Etablere datagrunnlag basert på NIS/GIS
2. Sammenstille relevant statistikk for analyse av reinvesteringsbehov
3. Etablere enkle levetidsmodeller for stolper
4. Analysere reinvesteringsbehov basert på alder og teknisk tilstand
5. Analysere reintesteringsbehov basert på teknisk-økonomisk analyse

Oppgaven gitt: 16. januar 2014

Hovedveileder: Eivind Solvang, ELKRAFT



## Forord

Denne rapporten er resultatet av masteroppgaven til undertegnede utført våren 2014. Oppgaven er utført ved Institutt for elkraftteknikk på NTNU i samarbeid med SINTEF Energi AS, Powell AS og oppdragsgiveren TrønderEnergi AS. Masteroppgaven bygger på prosjektoppgaven som jeg utførte høsten 2013. Veiledning er gitt av Eivind Solvang, førsteamanuensis II ved Institutt for elkraftteknikk og seniorforsker ved SINTEF Energi AS.

Først og fremst ønsker jeg å takke Eivind Solvang for god veiledning og oppfølging gjennom hele masteroppgaven. Jeg er veldig takknemlig for hvor mye tid vedkommende har satt av til veiledning av denne oppgaven og engasjementet gitt i arbeidet. TrønderEnergi har bidratt med utstyr, litteratur og nyttige informasjon om kraftnettet i Sør-Trøndelag. Jeg ønsker å takke Johnny Fløan fra TrønderEnergi som har bidratt med verdifulle kunnskap om regionalnettet til TrønderEnergi og teknisk masteinformasjon. Mye av dataene og informasjonen benyttet i oppgaven er gitt av vedkommende og viktige deler av oppgaven hadde ikke kunne blitt gjennomført uten veiledning fra vedkommende. Jeg ønsker å takke Andreas Brandsøy Våg fra TrønderEnergi som har bidratt med bedre forståelse i bruk av programmet NetBas. Viktige deler av kunnskaper om NetBas som brukes i oppgaven har jeg fått fra vedkommende. Jeg ønsker å takke Geir Solum fra TrønderEnergi for hans støtte og veiledning gjennom oppgaven. Jeg takker Roger Espen fra TrønderEnergi for hjelpen jeg har fått under arbeidet med NetBas og ArcGIS. Powell har bidratt med nødvendige informasjon og forståelse av analyseverktøyet ArcGIS. Jeg ønsker å takke Trond Ottersland fra Powell for opplæring i bruk av analyseverktøyet ArcGIS og bra faglig oppfølging i løpet av den tiden jeg har jobbet med programmet. Jeg ønsker også å takke Bjørn Inge Langdal fra Powell i forbindelse med bruk av analyseverktøyet ArcGIS. Sist men ikke minst, ønsker jeg å takke Steinar Refsnæs fra SINTEF for nyttig kunnskap om mastekonstruksjoner og miljøpåkjenning på master. Vedkommende har bidratt med mye nyttige informasjon og bedre forståelse av råteutvikling i tremaster. En stor del av masteroppgaven er basert på vedkommendes arbeid og tidligere forskning.

Trondheim, juni 2014

Yaru Li

## Sammendrag

Kraftsystemet er en aldrende infrastruktur og behovet for reinvestering øker raskt. I løpet av ganske få år forventes det en kommende reinvesteringsbølge. I løpet av de siste årene er det påvist betydelige besparelser ved velfungerende vedlikeholdsprogrammer, dette bidrar til økende interesse for å optimalisere vedlikehold. Denne masteroppgaven kartlegger tilstanden på tremaster som støtter opp luftlinjer innenfor forsyningsområdet til TrønderEnergi AS. Dette basert på degradering på grunn av aldring ved ulike deler av masten og som følge av ytre påkjenninger fra klima og miljøet som masten utsettes for. Formålet med oppgaven er å gi TrønderEnergi et grunnlag for å ta avgjørelser ved prioritering av fremtidige reinvesteringsplaner.

Ved innsamling av data er det brukt NetBas fra Powell AS som er et nettinformasjonssystem og ArcGIS som er et geografisk informasjonssystem. Programmet NetBas ved TrønderEnergi inneholder teknisk mastedata og miljødata for mange nettkomponenter. ArcGIS fra Esri har vist seg å være et nyttig verktøy i innsamling av miljødata. For noen av parametrene har det vært mulig å utlede miljø- og teknisk mastedata ved hjelp av nettinformasjonssystemet og geografisk informasjonssystemet. Data utledes basert på TrønderEnergi's erfaring, forskningsrapporter og statistisk grunnlag.

To levetidsmodeller er etablert basert på bedriftens erfaring, statistisk grunnlag og tidligere forskninger. Modellene kan brukes til å anslå tilstand i mastekomponenter. Analysen er utført basert på modellene og ved hjelp av datagrunnlaget som er blitt etablert. I den første modellen (Modell I) antas det at masten vil kunne svikte dersom den samlede påkjenningen fra parametrene indikerer det. I den andre modellen (Modell II) er det valgt å skifte ut master dersom det svikter ved minst et av parametrene ved masten. Modell II skal kunne brukes til å anslå førstkommande reinvesteringsbehovene basert på enkel parameterne.

Det er utført analyse i reinvesteringsbehov basert på tilstand for begge modellene. I analyseresultatet fra Modell I er det anslått reinvesteringstopp rundt 62 år i framtiden dersom det antas at alle parameterne har samme vekt. Det er foretatt en sensitivitetsanalyse av vektleggingsfaktorer med hensyn til endringer i reinvesteringstoppen basert på Modell I. Dersom det antas at miljøfaktorer har mindre effekt på utskiftningstid enn teknisk mastedata så vil utskiftningsbe-



hovet for et flertall av master forskyves til et senere tidspunkt og gi et høyere utskiftningstopp. Resultatet viser at enkel parametere vil kunne påvirke reinvesteringsbehovet, men at profilen på utskiftningskurven ikke vil endre seg i betydelig grad. Ved hjelp av sensitivitetsanalyse av Modell I er det generert en oversikt over usikkerheter som vektleggingsfaktorer kan føre med seg. Resultatet fra Modell II viser at de utløsende faktorene for reinvesteringsbehov i den nærmeste framtiden er anslått å være alder og langvarig påkjenning fra vind.

En teknisk-økonomisk analyse er utført basert på Modell I. Reinvesteringskostnader for master vil endre seg avhengig av geografisk plassering av master og mastekonstruksjon basert på TrønderEnergis erfaring. Det er ofte lønnsomt å skifte ut master innenfor samme radial samtidig enn hvis master skiftes ut en etter en. Dette kan utføres ved hjelp av geografisk informasjonssystem, men i denne oppgaven er det valgt å utføre analysen basert på antagelsen om at master skiftes ut for en ledning eller hel linjeseksjon av gangen. Resultatet viser at reinvesteringstoppen forskyves til et tidligere tidspunkt og med en høyere reinvesteringstopp når utskiftningen skjer for en hel ledning av gangen enn hvis utskiftningen skjer ved at master skiftes ut en etter en.

Denne oppgaven beskriver en undersøkelse av reinvesteringsbehovet i TrønderEnergi's regionalnett med datainnsamling, etablering av levetidsmodeller og reinvesteringsanalyser. I denne oppgaven er det brukt modeller og datagrunnlag basert på mye usikkerheter og antagelser. Dette som følge av datamangel og begrensning i tid i en masteroppgave. Det er behov for forbedring av datagrunnlaget, levetidsmodellen og framgangsmetoden for analysen i videre arbeid.

## Abstract

The Nordic power system is an aging infrastructure with increasing needs for maintenance. A reinvestment peak is coming in a few years for the power system in Norway. Researches indicate that well planned maintenance programs could help to save the cost significantly. This thesis investigates the conditions of the wood poles used in the supply area of TrønderEnergi AS. The poles degrade due to the effects of the climate and environments. The objective is to provide TrønderEnergi a basis for decision making in prioritizing future reinvestment plans.

NetBas, a network information system from Powell AS, and ArcGIS, a geographic information system from Esri have been used for data collection. NetBas in TrønderEnergi contains technical data and environmental data for the poles and many network components. ArcGIS appears to be a useful tool for collecting the environmental data. Some parameters can also be derived from the technical and environmental data using the network information system and geographical information system, based on TrønderEnergi's experience, research reports and statistical data base.

Two life time models for the wood poles have been established based on TrønderEnergi's experience, statistical data base and previous researches. For the first model (Model I), it is assumed that the pole may fail due to a combination of the parameters. For the second model (Model II), it is assumed that the pole may fail due to any single parameter.

Analyses have been done based on the conditions of the poles using both models. Using Model I, a reinvestment peak is predicted in about 62 years if all parameters are given the same weight. By performing sensitivity analysis and assuming less weight for the environmental factors, the replacement requirements for most poles may be postponed but will result in a higher replacement peak. A single parameter may affect the reinvestment requirements, but with minor effect on changing the profile of the reinvestment curve. The sensitivity analysis using Model I gives an overview of the uncertainties which may be induced by the weighting factors. Analysis using Model II shows that the factors for reinvestments in the near future will be the age and the long lasting effects from the wind.

A technical-economic analysis has been performed based on Model I. Reinvestment costs for the poles will change depending on the geographic location of the poles and the pole constructions based on TrønderEnergi's experience. It is often profitable to replace the poles within the same area simultaneously than to replace the poles one by one. Such an analysis can be done with the help of the geographic information system. However, in this thesis we have decided to perform the analysis assuming that the poles may be replaced for an entire line section each time. The analysis result shows that reinvestment peak may be shifted to an earlier time and with a higher reinvestment peak if replacing the poles for a full line each time, rather than replacing the poles one by one.

This thesis presents an investigation on reinvestment requirements for TrønderEnergi's regional network, from data collection, life time model establishments to reinvestment analyses. There are a lot of uncertainties and assumptions with the models and data bases due to the limited data availability and the limited time for this project. There is a need for improvement of the data bases, the models and the analysis methods in future work.

# Innhold

Oppgavetekst	i
Forord	iii
Sammendrag	iv
Abstract	vi
<b>1 Innledning</b>	<b>2</b>
1.1 Problemstilling	2
1.2 Bakgrunn fra tidligere arbeid	2
1.3 Målsetting for oppgaven	3
<b>2 Teori og bakgrunn</b>	<b>5</b>
2.1 Framgangsmetoder for tilstandsvurdering	5
2.1.1 Tilstandsvurdring med helseindeks	5
2.1.2 Mer om utfordringer i kartlegging av tilstand og reinvesteringsbehov	11
2.1.3 Mer om framgangsmetoder for tilstandsvurdering	15
2.2 Relevante teknisk maste- og miljødata	17
2.2.1 Bakgrunn og tidligere arbeid i analyse av tremaster	17
2.2.2 Fysisk forståelse av tremaster	18
2.2.3 Miljøpåkjenning på tremaster	26
<b>3 Sammenstilling av NIS- og GIS-data</b>	<b>32</b>
3.1 Innsamling av miljødata med ArcGIS	32
3.1.1 Datakilder for miljødataanalyse i ArcGIS	32
3.1.2 Databehandling av miljødata i ArcGIS	35
3.2 Etablering av datagrunnlag med NetBas	42
3.2.1 Framgangsmåte for uthenting data fra NetBas	42
3.2.2 Beskrivelse av uthentet data fra NetBas	44
3.3 Kombinere data fra NetBas og ArcGIS	46
3.4 Implementering av datagrunnlag basert på antagelser	47
3.4.1 Utledning av data basert på radial	48
3.4.2 Utledning av fundamentdata fra GIS-data	49
3.4.3 Utledning av forurensningdata fra GIS-data	49

3.4.4	Utledning av ulike data basert på TEs erfaring . . . . .	51
3.5	Usikkerheter i sammenstilling av NIS- og GIS-data . . . . .	55
3.5.1	Usikkerheter i innsamling av NIS-data . . . . .	55
3.5.2	Usikkerheter i innsamling av GIS-data . . . . .	56
3.5.3	Usikkerheter i utledning av data . . . . .	63
<b>4</b>	<b>Relevant statistikk for reinvesteringsanalyse</b>	<b>65</b>
4.1	Miljødata . . . . .	65
4.1.1	Grunntype . . . . .	65
4.1.2	Nedbør . . . . .	67
4.1.3	Bonitet . . . . .	69
4.1.4	Avstand til saltvann . . . . .	70
4.1.5	Temperatur . . . . .	71
4.1.6	Vind . . . . .	72
4.1.7	Forurensning . . . . .	75
4.2	Teknisk mastedata . . . . .	76
4.2.1	Spenningsnivå . . . . .	76
4.2.2	Byggeår . . . . .	76
4.2.3	Fundament . . . . .	79
4.2.4	Impregneringsmetode . . . . .	80
4.2.5	Material . . . . .	82
4.2.6	Konstruksjon . . . . .	82
4.2.7	Tilstand . . . . .	84
4.3	Usikkerheter i datagrunnlaget . . . . .	86
<b>5</b>	<b>Etablering av levetidsmodeller</b>	<b>87</b>
5.1	Etablering av parametere i levetidsmodellene . . . . .	87
5.1.1	Kort om parameterne i levetidsmodellene . . . . .	87
5.1.2	Byggeår . . . . .	88
5.1.3	Konstruksjon . . . . .	89
5.1.4	Impregneringsmetode . . . . .	90
5.1.5	Material . . . . .	91
5.1.6	Fundament . . . . .	92
5.1.7	Grunnforhold . . . . .	93

5.1.8	Bonitet	94
5.1.9	Forurensning og salt	94
5.1.10	Nedbør, temperatur og vind	96
5.2	Framgangsmetoder som brukes i levetidsmodellene	97
5.2.1	Modell I-Utskiftning basert på samlede påkjenning	97
5.2.2	Modell II-Utskiftning basert på kritisk påkjenning	99
5.3	Usikkerheter og antagelser i levetidsmodellene	99
<b>6</b>	<b>Analyse av reinvesteringsbehov basert på tilstandsdata</b>	<b>101</b>
6.1	Levetidsmodell og datagrunnlag for analyse basert på tilstand	101
6.2	Sensitivitetsanalyse basert på Modell I	102
6.2.1	Kort om sensitivitetsanalyse	102
6.2.2	Utskifting med samme vekt på alle parameterne	102
6.2.3	Innvirkning fra miljø- og teknisk masteparameterå	103
6.2.4	Innvirkning fra enkel parametere	105
6.3	Analyse basert på Modell II	107
6.4	Usikkerheter i analyse basert på tilstand	110
<b>7</b>	<b>Teknisk-økonomisk analyse av reinvesteringsbehov</b>	<b>112</b>
7.1	Levetidsmodell og datagrunnlag for teknisk-økonomisk analyse	112
7.2	Utskiftningskostnader basert på TEs erfaring	112
7.3	Framgangsmetoder for utskiftning	115
7.3.1	Utskiftning av individuelle master	116
7.3.2	Utskiftning per ledning	117
7.4	Usikkerheter ved utført teknisk-økonomisk analyse	119
<b>8</b>	<b>Diskusjon</b>	<b>121</b>
8.1	Diskusjon av resultatet	121
8.2	Diskusjon av usikkerheter i resultatet	123
<b>9</b>	<b>Konklusjon og viderearbeid</b>	<b>125</b>
9.1	Konklusjon	125
9.2	Viderearbeid	127
<b>A</b>	<b>AR5 kombinasjoner (oppdatert 2008)</b>	<b>129</b>
A.1	Om AR5	129

A.2 AR5-kombinasjoner som brukes i datainnsamling . . . . .	134
A.2.1 Ved innsamling av grunndata . . . . .	134
A.2.2 Ved innsamling av forurensningsdata . . . . .	135
<b>B Resultat fra TEs trestolpe analyse</b>	<b>136</b>
B.1 Klimasone . . . . .	136
B.2 Grunntype . . . . .	139
B.3 Mastealder . . . . .	139
<b>C Vinddata fra Meteorologisk Institutt</b>	<b>141</b>
<b>D Vindkart fra Kjeller Vindteknikk</b>	<b>146</b>
<b>Bibliografi</b>	<b>150</b>

## Figurer

2.1	Flytskjema med beskrivelse av framgangsmåten for tilstandsvurdring av nett-komponenter ved hjelp av helseindeks, fra datainnsamling til kvalitetsikring av vurderingsresultatet [22]. . . . .	7
2.2	Flytskjema med framgangsmåten for beregning av en sammensatt helseindeks for en transformator basert på helseindeks for delkomponenter [23] . . . . .	10
2.3	Reinvesteringsbehov i kNOK per år i femårsintervaller for regional- og sentral-nettet, basert på teknisk levetid som anslått i Tabell 2.1 [30]. . . . .	14
2.4	Reinvesteringsbehov i kNOK per år i femårsintervaller for distribusjonsnettet, basert på teknisk levetid som anslått i Tabell 2.1 [30]. . . . .	14
2.5	En typisk levetidskurve med beskrivelse av ulike tilstandsnivåene en komponent vil gå gjennom i en degraderingsprosess [31]. . . . .	16
2.6	En typisk kurve med informasjon om sviktsannsynlighet som funksjon av tid for en komponent basert på Figur 2.5 [31]. . . . .	16
2.7	Sviktsannsynlighet fra topunktanalyse av ulike observasjoner fra to master. En med råteangrep og en med løsnet fotbolt [34]. . . . .	17
2.8	Teoretisk estimering av bøyemoment i H-master med og uten avstivninger basert på forskning og erfaring ved SINTEF [29]. . . . .	19
2.9	Resultater fra kontroll av endringer i motstandsmoment i ulike mast som funksjon av ulike typer av råte basert på forskning ved SINTEF [29]. . . . .	20
2.10	Posisjonen for maksimal bøyespenning i en avstivet, uskadet stolpe med dominerende horisontalkrefter i mastetoppen bestemmes av forholdet mellom diameter ved jordbandet, $D_G$ og diameter i kraftoverføringspunktet i mastetoppen, $D_F$ . ( $D_G/D_F$ ) basert på forskning ved SINTEF [29]. . . . .	21
2.11	Sannsynlighet for råte som funksjon av alderen på trestolpen basert på forskning ved SINTEF [28]. . . . .	22
2.12	Sannsynlighet for råte ved ulike mastekonstruksjoner basert på antall potensielle råtepunkter og sannsynlighet for råte basert på statistisk grunnlag fra TE's trestolpeanalyse [12]. . . . .	23
2.13	Råteprofil for master med ulike fundamenttyper basert på resultater fra forskning ved SINTEF [29]. . . . .	26



2.14 Sannsynlighet for råte i trestolper på ulike grunnforhold fra TEs trestolpeanalyse [12]. . . . .	27
2.15 Fuktighet i nedre del av en limtrestolpe som funksjon av himmelretning og fuktig jord og gress inntil mastefot. Begroing og jord oppå betongen på vestsiden av mastefoten gir trefuktighet(>30%) som kan initiere råte, hvis trebeskyttelsen ikke lenger fungerer tilfredsstillende [29]. . . . .	29
2.16 Varmesummen er gitt av arealet under kurven for lufttemperatur fra og med temperatur over 5°C basert på framgangsmåten i forskning ved SINTEF av sannsynlighet for råte på trestolper [29]. . . . .	30
3.1 Beregning av varmesum ut ifra observert temperatur basert på framgangsmåten som er brukt i undersøkelse av trestolper rundt Oslofjorden utført ved SINTEF [29].	33
3.2 Vindsum og vindretning. . . . .	34
3.3 Kartlag med informasjon om variasjon i nedbørmengde over området importert fra Meteorologisk Institutt [3]. . . . .	36
3.4 Statistikk over frekvensen av ulike polygonstørrelser i kartlag som vist i Figur 3.3 generert i ArcGIS. . . . .	37
3.5 Uilke interpoleringsverktøy [1] . . . . .	38
3.6 Geografisk plassering av de 22 værstasjonene som importeres som punktdata importert fra Meteorologisk Institutt [5]. . . . .	39
3.7 Værstasjon med ulike størrelser i buffersirkler. . . . .	40
3.8 Vannområder i TEs forsyningsområdet markert med lilla polygoner basert på data fra AR5 [10]. Vannpolygonene som antas å være saltvann er merket med lyseblå. . . . .	42
3.9 Her er det gjort et søk på objekttypen mast. . . . .	43
3.10 Her velges egenskapene som skal vises for objekt(et/ene). . . . .	44
3.11 De fire modulene i NetBas [14]. . . . .	46
3.12 Antall mastedata som er registrert ved de ulike samleiere ledning og linjesamling [14]. . . . .	48
3.13 Modellen for utledning av forurensningsfaktor. . . . .	50
3.14 Rangering av ulike mastekonstruksjoner etter stabilitetsevne og kostnad basert på TEs erfaring [18]. . . . .	54
3.15 Vinddata legges til stolper med sirkulære buffere. Master som ikke kom med i bufferanalysen er merket med lyseblå. . . . .	57

3.16 Nullplansforskyvningshøyde som funksjon av vegetasjonshøyde som gitt i AR5. . . . .	59
3.17 Resultat etter å ha brukt funksjonen Georeferencing på kart i PDF-format utgitt ved Kjeller Vindteknikk [2]. . . . .	60
3.18 Antall celler med de ulike fargeverdiene av kartet som vist i Figur 3.17. . . . .	61
3.19 Vindhastigheten som beregnet ved Kjeller Vindteknikk legges her til ulike stolper [2]. . . . .	61
3.20 Prosent avvik mellom resultater som utledet fra et vindkart og ved hjelp av bufferanalyse. . . . .	62
4.1 Fordeling av master på ulike grunntyper basert på analyse i ArcGIS på mastekoordinater fra NetBas og AR5 [14] [1] [10]. . . . .	66
4.2 Informasjon om grunnforhold basert på analyse ved hjelp av ArcGIS basert på data fra NetBas og AR5 [14] [1] [10]. . . . .	67
4.3 Nedbørmengde som opplevd ved de ulike mastepunktene gitt med en nøyaktighet på $\pm 1$ mm/år, basert på analyse ArcGIS med mastekoordinater fra NetBas og nedbørdata fra Meteorologisk Institutt [14] [1] [5]. . . . .	68
4.4 Nedbørmengde som opplevd ved de ulike mastepunktene, andel master med kjent/ukjent nedbørdata [14] [1] [5]. . . . .	68
4.5 Nedbørmengde som er observert ved de ulike mastepunktene gitt med en nøyaktighet på $\pm 100$ mm/år [1] [14] [5]. . . . .	69
4.6 Bonitetsforhold ved de ulike mastepunktene basert på undersøkelse i ArcGIS med mastedata fra NetBas [14] og miljødata fra AR5 [10]. . . . .	70
4.7 Avstand mellom mastepunktene og dets nærmeste saltvannsområder med nøyaktighet på $\pm 1$ km [14] [1] [10]. . . . .	71
4.8 Avstand mellom mastepunktene og dets nærmeste saltvannsområder med en nøyaktighet på $\pm 5$ km [14] [1] [10]. . . . .	71
4.9 Varmesum ved mastepunkter. Varmesum gitt som grader med en nøyaktighet på 6 desimaler [14] [1] [5]. . . . .	72
4.10 Varmesum ved mastepunkter. Varmesum i $\pm 1$ grader [14] [1] [5]. . . . .	72
4.11 Maksimal total vindsum ved mast og maksimal vindsum per retning. Vindsum i m/s, datanøyaktighet på 6 desimaler [14] [1] [5]. . . . .	73
4.12 Maksimal total vindsum ved mast og maksimal vindsum per retning. Vindsum i m/s, datanøyaktighet på $\pm 1$ m/s [14] [1] [5]. . . . .	73
4.13 Andel vindsum per retning ved ulike værstasjoner [5]. . . . .	74

4.14 Mengde forurensning ved mastepunkter [14] [3] [10]. . . . .	75
4.15 Prosentandel master med ulike spenningsnivåer [14]. . . . .	76
4.16 Byggeår på mastene [14]. . . . .	78
4.17 Prosentandel master med med og uten informasjon om byggeår [14]. . . . .	79
4.18 Fundamenttyper som brukes ved mastene [14]. . . . .	80
4.19 Impregneringsmetode som brukes ved ulike mastepunkter [14]. . . . .	81
4.20 Bygningsmaterialet som brukes i mastekonstruksjonen [14]. . . . .	82
4.21 Konstruksjonstype som brukes for de ulike mastene [14]. . . . .	83
4.22 Antall master med ulike tilstand registrert ved ulike tidspunkt [14] [18]. . . . .	84
4.23 Prosent antall master med og uten registrert observasjon med informasjon om tilstand [14]. . . . .	84
4.24 Antall registrerte observasjoner for ulike typer av feil/registrert ved ulike kontrollpunkt [14]. . . . .	85
4.25 Oversikt over antall master med og uten informasjon om anslått planlagt utskiftning i forhold til de ulike parameterne. . . . .	86
5.1 Planlagt utskiftning og sannsynlighet for råte som funksjon av alder på masten [11] [29]. . . . .	88
5.2 Planlagt utskiftning og sannsynlighet for råte med ulike mastekonstruksjoner [11] [12] [29].	90
5.3 Planlagt utskiftningsbehov som en funksjon av ulike impregneringsmetoder [18] [11] [29].	91
5.4 Planlagt utskiftningstid for ulike typer av materialer som brukes i mastekonstruksjonen [11]. . . . .	91
5.5 Planlagt utskiftningstid for ulike fundamenttyper [27] [11] [12] [17] [29]. . . . .	92
5.6 Planlagt utskiftningstid for ulike grunnforhold [11] [17] [28]. . . . .	93
5.7 Planlagt utskiftningsbehov ved forskjellige bonitetsnivå [11] [17] [29]. . . . .	94
5.8 Planlagt utskiftning som følge av påkjenning fra salt og forurensning [7] [18] [15].	95
5.9 Planlagt utskiftning som følge fukt, temperatur og vind [3] [29]. . . . .	96
5.10 Flytdiagram for beregning/estimering av tilstanden på mastesystemet basert på modell for beregning av helseindeks som har vært brukt i tidligere forskning [23].	98
6.1 Antall master med utskiftningsbehov som en funksjon av tid basert på likt vektlegging av alle parameterne. . . . .	103
6.2 Antall master med utskiftningsbehov som en funksjon av tid med variasjon i vektlegging av parametere med skille mellom miljø- og masteparameter. . . . .	105

6.3	Antall master med utskiftningsbehov som en funksjon av tid med variasjon i vektlegging av masteparametere. . . . .	106
6.4	Antall master med utskiftningsbehov som en funksjon av tid med variasjon i vektlegging av miljøparametere. . . . .	107
6.5	Forventet utskiftningsstid av hvert enkelte parameter ved de ulike mastene. . . . .	108
7.1	Geografiske soner med ulike reinvesteringskostnader. Kartet er hentet ifra web-siden til "regjeringen.no". . . . .	114
7.2	Utskiftningskostnader for utskiftning av stolper/master av ulike mastekonstruksjoner innenfor ulike geografiske soner som vist i Avsnitt 7.2. Kostnader er anslått basert på TEs erfaring [18]. . . . .	115
7.3	Reinvesteringskostnad for utskiftning av master ved planlagt utskiftningsstid for individuelle master. . . . .	116
7.4	Prosentfordeling av master med og uten informasjon om kostnader. . . . .	117
7.5	Reinvesteringskostnad ved utskiftning av individuelle master og ledninger. . . . .	118
7.6	Prosentfordeling av master med og uten informasjon om både ledning og kostnad. . . . .	119
A.1	Definisjon av bonitetsnivå. [16] . . . . .	133
D.1	Nummerering av kart i forhold til Norgeskartet . . . . .	146
D.2	Kart 27 fra 50 meters høyde . . . . .	147
D.3	Kart 27 fra 80 meters høyde . . . . .	148
D.4	Kart 27 fra 120 meters høyde . . . . .	149

## Tabeller

2.1	Anslått levetid, gjennomsnittsalder og andel av anleggskategorien luftledninger som når sin forventede levetid i 2005 og 2015 basert på innsamlet data fra 34 norske nettskaper [30]. . . . .	13
2.2	Utsatte råtepunkter som er identifisert ved ulike mastekonstruksjoner basert på forskning ved SINTEF [29]. . . . .	23
2.3	Oversikt over utsatte råtepunkter for master med ulike fundamenttyper og typiske grunntyper hvor de ulike fundamentene gjerne brukes basert på forskning ved SINTEF [29]. . . . .	24
2.4	Beskrivelse av ulike typer jordsmonn og sannsynlighet for råte i områder med de ulike jordsmonnstypene basert på forskning og erfaring ved REF [9] [29]. . . . .	28
3.1	Utleddning av konstruksjonsdata basert på informasjon om antall mastebein. Antagelser er satt opp basert på tidligere forskning ved SINTEF og TEs erfaring [29] [18].	55
3.2	Oversikt over antall master registrert i TEs NetBas-sentralarkivet, master importert fra NetBas og de som er tatt med i analyse sammen med data fra ArcGIS [14].	56
A.1	Kombinasjon av AR5 kategorier[16]. . . . .	130
A.2	Beskrivelse av AR5-arealtyper som brukes i analysen som vist i Tabell A.1[16][10].	132
A.3	Beskrivelse av AR5-arealforhold som brukes i analysen som vist i Tabell A.1[16][10].	134
A.4	Sammenslåing av AR5-kategorier til kategorier gitt i TEs trestolpeanalyse[16][10][12].	134
A.5	Bebyggelse- og samferdselsområdet med AR5-koder. . . . .	135
B.1	Deler av TEs forsyningsområdet som hører til de ulike klimasonene[12]. . . . .	138
B.2	Fordeling av master som har blitt kontrollert av TE ved de grunntypene og prosentandel av de kontrollerte tremastene som er registrert med råte[12]. . . . .	139
B.3	Oversikt over byggeår på de tremastene som er blitt kontrollert ved TE[12]. . . . .	140
C.1	Tilgjengeligheten av vindretningsdata for ulike værstasjoner i Sør-Trøndelag[5]. .	145

# 1 | Innledning

## 1.1 Problemstilling

Mange av kraftselskapene fra ulike land opplevde en investeringsbølge i perioden fra 50- til 70-tallet. Konsekvensen av dette er at mange av nettkomponentene nå enten har passert eller nærmer seg slutten av levetiden. Til tross for det er mange av komponentene fortsatt pålitelige og er i drift [22]. Siden Energiloven ble innført i 1990 har kraftbransjen stått ovenfor utfordringer som høyere forventninger til forsyningssikkerhet samt optimalisering av økonomiske gevinster. Kraftsystemet er en aldrende infrastruktur og det nærmer seg en reinvesteringsbølge om noen få år [6] [28]. Vedlikehold av trestolper vil ofte ikke kunne gi observerbare resultater. Det kan ta mer enn 100 år før et råteangrep i en trestolpe har utviklet seg til å bli kritisk for tilstanden [20]. Blant en av de viktigste utfordringene for forsyningssikkerheten er klimapåkjenninger og klimatisk last forårsaker sjeldent alvorlige skader [19]. Dette regnes å være en av årsakene til at vedlikehold av trestolper tidligere har vært en av de nedprioriterte oppgavene ved kraftselskapene [20]. I løpet av de siste årene er det påvist betydelige besparelser ved velfungerende vedlikeholdsprogrammer, dette fører til en økende interesse for vedlikehold av trestolper. Økonomisk gunstighet i vedlikeholdsprogram av trestolper er blant annet påvist i resultater fra forskning gjort av Steward og Goodman i 1990 [32] [33].

Det norske regionalnettet er i dag dominert av luftlinjer hvor kun 8% av regionalnettet består av kabler. Også ved nyinvesteringer dominerer luftlinjer, kun 13% nyinvesteringer planlegges som kabel [30]. Trestolpene er det dominerende materialet for mekanisk støtte av overføringslinjer [20]. Det er estimert at trestolpene typisk står for 30% av materialkostnaden, her av vedlikehold- og utskiftningskostnader samt avbruddskostnader er ikke inkludert.

## 1.2 Bakgrunn fra tidligere arbeid

I et fordypningsprosjekt ved NTNU høst 2013 er det gjort en undersøkelse på sannsynlighet for råte i trestolper innenfor forsyningsområdet til TE [24]. Her er det brukt verktøyet ArcGIS

10.1 i analyse av miljøpåkjenning for opp til 24 000 master. I prosjektet er det anslått sannsynlighet for råteangrep på master som følge av parametere temperatur og grunnstype basert på antagelser fra tidligere forskning ved SINTEF og ved bruk av ulike statistiske grunnlag fra blant annet TE [29] [12]. Resultatet viser at master som står langs kystområdet er mer utsatt for råte enn de som står i innlandet. Kjølig klima over store deler av forsyningsområdet bidrar til å redusere sannsynligheten for utvikling av råte. Grunnforholdet i forsyningsområdet er gunstig for råteutvikling. På grunn av liten tid og datamangel er det kun inkludert et begrenset antall av miljøparametere i modellen.

Denne masteroppgaven går videre på analysen som er utført i prosjektoppgaven. Det vil bli tatt hensyn til svakheter og usikkerheter ved modellen som er brukt i prosjektet i forbindelse med analyse i ArcGIS [24]. De samme 24 000 mastene som er blitt undersøkt i prosjektoppgaven vil også bli brukt i analyse i denne oppgaven. I prosjektet er det foreslått om å utvide modellen som brukes i ArcGIS slik at det tas hensyn til flere parametere, det er foreslått alternative datakilder og det er behov for å undersøke flere delkomponenter i mastesystemet. I denne oppgaven vil det bli tatt hensyn til flere parametere og undersøkelsen vil bli utført basert på de datakildene som er foreslått i det tidligere prosjektet. I denne oppgaven er det valgt å fokusere på stolper i tremaster og metallstrukturen i stålmaster som tidligere. Det vil ikke bli tatt hensyn til delkomponenter som isolatorer, klemmer og så videre på grunn av begrenset arbeidstid i en masteroppgave.

### **1.3 Målsetting for oppgaven**

I denne masteroppgaven er det gjort en vurdering av tilstand på tremaster som støtter opp luftlinjer innenfor forsyningsområdet til TrønderEnergi AS(TE). I undersøkelsen er det gjort et forsøk på å kartlegge det nåværende tilstanden i nettet samt anslå det fremtidige utviklingen av tilstanden i nettet som følge av ytre påkjenninger fra klima og miljøet. Formålet med oppgaven er å gi TE et grunnlag for å ta avgjørelser ved prioritering av reinvesteringsplaner.

Kapittel 2 inneholder bakgrunnskunnskap for oppgaven med framgangsmåter for tilstandsvurdering og en beskrivelse av mekanismene i en trestolpe med hensyn til degradering og aldring som følge av miljøpåkjenning. Det vil bli foretatt tilstandsvurdering av nettet basert på det innsamlede datagrunnlag fra nettinformasjonssystem(NIS) og geografisk informasjons-

system(GIS). Ved innsamling av GIS-data er det brukt verktøy ArcGIS versjon 10.1(Esri) [1]. NIS-data hentes ut fra programmet NetBas versjon 11(Powell AS) [14]. Framgangsmåte for sammenstilling av NIS- og GIS-data er beskrevet i Kapittel 3. Resultater fra datainnsalingen er beskrevet i Kapittel 4. I Kapittel 5 er det etablert levetidsmodeller. Levetidsmodellene kan brukes til å anslå tilstanden i tremaster basert på ulike tekniske masteparametere og miljøparametere som beskrevet i Kapittel 2. Det er utført analyser i reinvesteringsbehov basert på tilstand og teknisk-økonomiske vurderinger basert på levetidsmodellene som er beskrevet i Kapittel 5. Framgangsmåten og resultater fra analyser basert på tilstand er beskrevet i Kapittel 6 og teknisk-økonomiske analyser er beskrevet i Kapittel 7. Det er mye usikkerheter ved det innsamlede datagrunnlaget, de etablerte levetidsmodellene og i framgangsmåter for analysen. Undersøkelsen er basert på antagelser fra tidligere forskning, TEs erfarig og ulike statistiske grunnlag. I Kapittel 8 er det gitt en oppsummering på usikkerheter og svakheter ved undersøkelsen. Konklusjonen fra arbeidet samt forslag til viderearbeid er beskrevet i Kapittel 9.



## 2 | Teori og bakgrunn

Dette kapitlet inneholder relevant teori og bakgrunnstoffer. Kapitlet beskriver metoder for tilstandsvurdering av nettkomponenter som brukes i etablering av levetidsmodeller i Kapittel 5, reinvesteringsanalyser i Kapittel 6 og Kapittel 7, og danner grunnlaget for vurdering av det innsamlede datagrunnlaget i Kapittel 4. Kapitlet inneholder også en beskrivelse ulike teknisk masteparametere og miljøparametere som bidrar til aldring/degradering av tremaster. Dette danner grunnlaget for innsamling av data i Kapittel 3.

### 2.1 Framgangsmetoder for tilstandsvurdering

#### 2.1.1 Tilstandsvurdring med helseindeks

Helseindeks er en måte å kombinere komplekse tilstandsinformasjoner og skal kunne gi en relativ indikasjon av generell tilstand på komponenter [22]. Ved hjelp av observasjoner under drift, inspeksjoner i feltet, stikkprøver og laboratorietester skal det kunne være mulig å forme en objektiv og kvantitativ indeks som er helseindeks. Trenden viser at et økende antall av kraftselskaper går fra tidsbasert til tilstandbasert vedlikehold [22]. For flere kraftselskaper fra ulike land har det vært en investeringsbølge i perioden fra 50- til 70-tallet. Konsekvensen av dette er at mange av nettkomponentene nå enten har passert eller nærmer seg slutten av levetiden. Til tross for det er mange av komponentene fortsatt pålitelige og er i drift. I løpet av de siste 10 årene er kraftselskapene pålagt flere og strengere krav. Dette som følge av nye økonomiske og politiske reguleringer som forventer redusering av de ulike kostnadene, men samtidig uten at det går utover forsyningssikkerheten. Dette fører til behovet for å ha en god oversikt over tilstanden på ulike komponenter slik at forvaltning av nettet kan utføres basert på den reelle tilstanden på komponenter. Ofte velges det å beskrive tilstanden på komponenter ved hjelp av en helseindeks.

Målet med helseindeks er å kunne gi en indikasjon på når en eller flere komponenter nærmer seg slutten av levetiden [22]. Når komponenten har nådd slutten av levetiden vil det ikke len-

ger være mulig å forhindre degraderingen ved hjelp av vedlikehold. Ved hjelp av helseindeks er det mulig å anslå tilstanden og fremtidige utvikling for ulike komponenter. Den mest effektive bruk av helseindeks er i forbindelse med nettforvaltning. Helseindeks bidrar til optimalisering av balanse i investering- og vedlikeholdskostnader samtidig som det blir tatt hensyn til drift- og forsyningsikkerhet [25]. Ved hjelp av helseindeks er det mulig å rettferdiggjøre tekniske og økonomiske beslutninger i nettplanlegging. Helseindeks kan bestemmes ved hjelp av ulike typer av informasjon om komponentene. Informasjonene kan grovt deles opp i to kategorier: tilstandsinfo og tilstandsinformasjon som er utledet basert på risikofaktorer [22]. Påliteligheten av helseindeksen er avhengig av andel av uauthentet tilstandsinformasjon.

### 1. Tilstandsinfo

Informasjon om komponenter som hentes ut ved tilstandskontroll av komponentene [22]. Dataene er sikre og beskriver nåværende tilstand på komponenter. Det er begrenset mengde med spesifikk tilstandsinfo ved de ulike kraftselskapene i dag, spesielt for komponenter med lavere spenning.

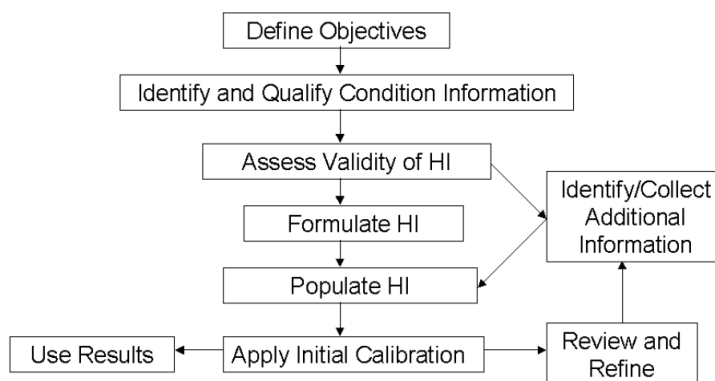
### 2. Tilstandsinfo gjennom risikofaktorer

Typiske risikofaktorer kan være pålitelighet, feilrate og miljøfaktorer osv [22]. Ved hjelp av risikofaktorer er det mulig å utlede informasjon om tilstand på komponentene basert på kunnskap om degradering og aldringsmekanismen i komponentene. Tilstandsdata utledet basert på risikofaktorer brukes ofte ved mangel på spesifikk tilstandsinformasjon, men kan også brukes som grunnlag til å anslå restlevetid og reinvestering-/utskiftningsbehov av komponenter. Det er opparbeidet omfattende kunnskap om utledning av tilstandsinformasjon basert på risikofaktorer ved ulike kraftselskaper. Informasjon utledet basert på risikofaktorer finnes i ulike kategorier avhengig av om de brukes direkte eller indirekte i analysen [36]. Direkte informasjon kan bestemmes ved hjelp av statistiske-, aldring- og tilstandsfunksjon. Statistiske funksjoner beskriver sannsynlighet for feil ved komponenten. Aldringsfunksjonen beskriver hvor ofte komponenten er i bruk, hvor lenge komponenten brukes av gangen og den elektriske belastningen som påføres komponenten ved bruk. Tilstandsfunksjonen er utledning av data basert på tilstandsinfo samlet inn gjennom vedlikeholdsprogram, inspeksjon og andre målinger osv. Indirekte tilstandsdata kan utledes basert på miljødata.

Data kan utledes indirekte basert på statistisk grunnlag [36]. Ved utledning av data ba-

sert på statistisk grunnlag er informasjonen ofte tilgjengelig for et begrenset antall av komponenter slik at den informasjonen kan brukes som datagrunnlag for å anslå tilstanden på de resterende komponentene i populasjonen. Dette kan utføres ved innsamling av stikkprøver for et utvalgt sett av komponenter for deretter å utlede data for hele populasjonen basert på stikkprøvene. En slik framgangsmåte kan gi pålitelige resultater avhengig av kvaliteten på stikkprøvene. Komponenter kan være forskjellige innenfor en gruppe og ha ulike aldringsmekanismer. Dette er greit å ta hensyn til ved innsamling av data slik at det skilles mellom komponenter med ulike egenskaper.

Kvaliteten på helseindeksen er avhengig av påliteligheten på datagrunnlaget som den er basert på [22]. Det er vil være behov for tilstrekkelig mengde data og data bør være av god kvalitet, men innsamling og behandling av data er dyrt og krever mye ressurs. Derfor er det behov for å bruke den informasjon som allerede er tilgjengelig på best mulig måte samt opprettholde tilfredsstillende kvalitet på datagrunnlaget. Framgangsmåten for å sette pålitelige helseindekser med hensyn til datakvalitet og begrensning av arbeidsmengde ved innsamling av data er beskrevet i Figur 2.1.



Figur 2.1: Flytskjema med beskrivelse av framgangsmåten for tilstandsvurdring av nettkomponenter ved hjelp av helseindeks, fra datainnsamling til kvalitetsikring av vurderingsresultatet [22].

Som Figur 2.1 viser er det først og fremst behov for å ha oversikt over tilgjengelige tilstandsinformasjoner. Det er behov for å vurdere kvaliteten på informasjonene. Dersom det er tilstrekkelig med informasjon, så er det mulig for å gå videre til beregning av helseindekser. Det er mye å ta hensyn til ved beregning av helseindekser. De fleste av komponentene er en

sammensetning av flere delkomponenter [21]. Hver av delkomponentene har ulike degradering/aldningsmekanismer. Noen av komponentene kan allerede ha nådd slutten av levetiden, mens andre fortsatt er i god tilstand. En sammensatt helseindeks er gjerne en verdi som settes for et helt komponentsystem. Som nevnt tidligere, bestemmes helseindeks ved hjelp av tilstand- og risikodata [36]. Framgangsmetoden for innsamling av tilstand- og risikodata er som beskrevet tidligere i dette kapitlet. Under er det beskrevet hvordan dataene kan brukes til å bestemme helseindeks.

### 1. Tilstandsdata

Hver delkomponent vil ha en tilstandsfaktor. Tilstandsfaktorer for de ulike delkomponentene vektlegges etter hvor mye de påvirker mastesystemet før de legges sammen til å gi en sammensatt helseindeks [21]. Den sammensatt helseindeksen er en tilstandsvurdering av hele komponentsystemet. Tilstandsfaktorer skal inneholde informasjon om:

- Observasjoner fra tilstandskontroll
- Lastfaktor som utledes fra historisk data over mengde på last
- Tidligere behov for vedlikehold (etter antall arbeidsordre som har vært utstedt for ulike komponenter på grunn av behov for vedlikehold)

### 2. Risikodata

Noen komponenttyper aldres organisk [21]. Organisk aldning/prosess er forutsigbar og gir muligheten til å anslå fremtidig utvikling av komponenter. Risikofaktor kan brukes til å gi en tilstandsvurdering av komponenter sammen med tilstandsfaktorer. På samme måte som for tilstandsfaktor er vil hver delkomponent ha en risikofaktor. Risikofaktorer for de ulike delkomponentene slås sammen i en sammensatt risikoindeks for å gi en tilstandsvurdering av hele komponentsystemet. Sammensatte risikoindekser kan inkluderes i analysen på to forskjellige måter:

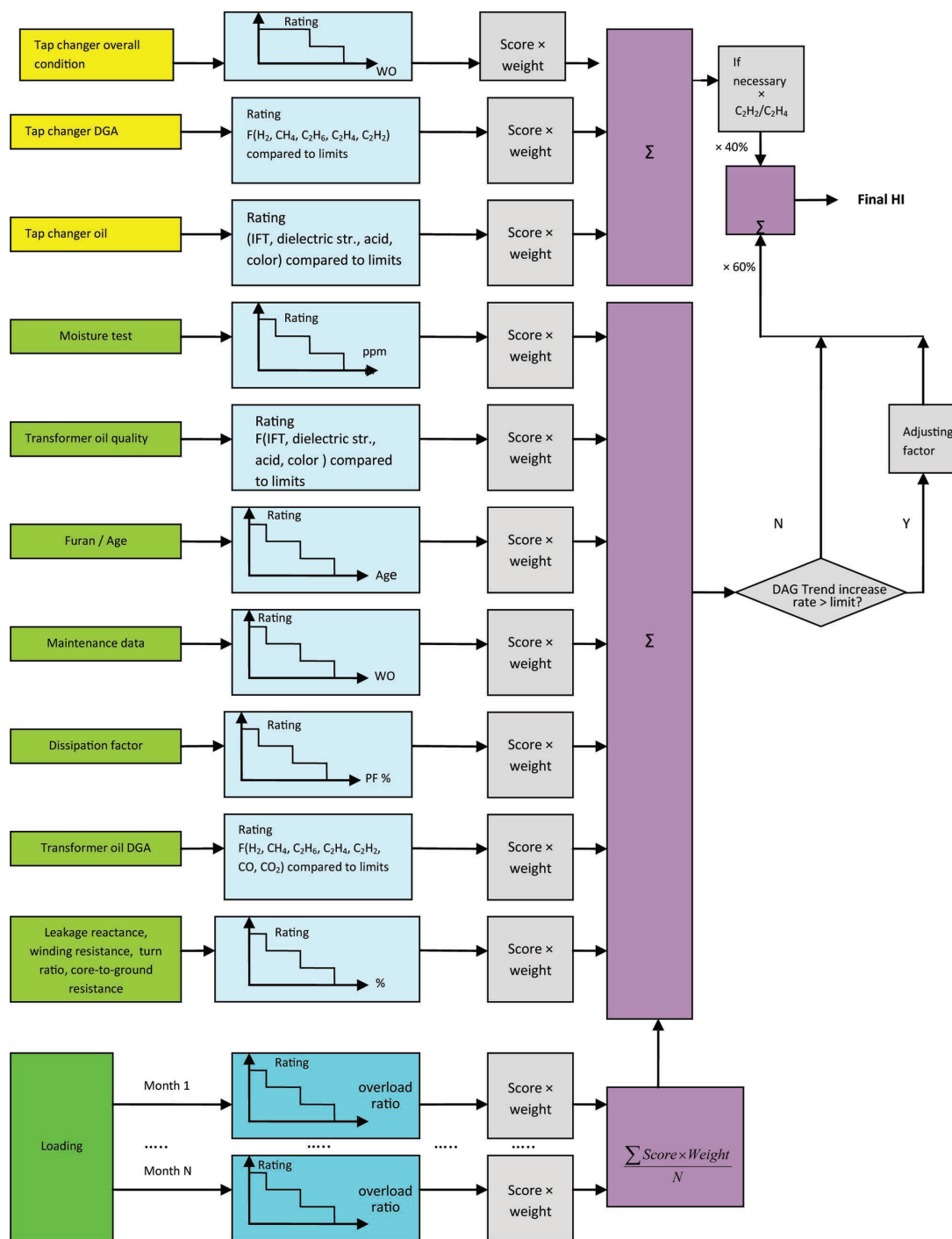
- Ved siden av helseindeks slik at en vurdering av sammenligning i pålitelighet på hver av de sammensatte indeksene kan bli foretatt.
- Inkludert i en sammensatt helseindeks. Risikofaktorer vurderes på lik linje med tilstandsfaktorer til en viss grad, men bør ikke vektlegges like mye som de sikreste tilstandsdata på grunn av usikkerheten i risikofaktorer.

Eksempel på beregning av helseindeks for en transformator er som illustrert i diagrammet i Figur 2.2. I diagrammet er det inkludert beskrivelse av hvordan tilstandsfaktorer som funksjon av last og alder settes for de ulike parametere/delkomponentene i en transformator. De ulike parametere vektlegges etter hvor mye de påvirker systemet før de legges sammen til en helseindeks for transformatoren.

Komponenter med samme verdi på helseindeks kan være i forskjellige tilstand avhengig av levetiden til komponenten og om komponenten er mottakelig for vedlikehold [36]. Hvor vidt en komponent er mottakelig for vedlikehold er avhengig av tilgjengeligheten på ekstra deler, kunnskap og ekspertise, og økonomisk gjennomførbarheten av et vedlikeholdsprogram. Disse er informasjoner som er nyttig å ha ved siden av helseindeksene.

Som vist i Figur 2.1 er det behov for innsamling av ytterligere tilstandsdata dersom det viser seg at det ikke er tilstrekkelig data tilgjengelig. Ved nye innsamlinger av data er det viktig med planlegging slik det på forhånd er klare ideer om hvordan dataene skal brukes, hvor mye og hva slags type data det er behov for [36]. Innsamling av data er en prosess som krever mye tid og ressurs, det samme er databehandling av den enorme datamengden etter en slik innsamling. Derfor er det viktig å begrense innsamling av data slik at det kun brukes tid og ressurser på innsamling av de mest nødvendige datane. Innsamling av data kan utføres på to forskjellige måter:

- Foreta tilstandskontroll samtidig som vedlikeholdsarbeidet utføres.
- Foreta tilstandskontroll i forbindelse med innsamling av data. Da vil det være behov for å ta effektive stikkprøver og vær målrettet i innsamling av tilstandsdata. Ha oversikt over når og hvor tilstandskontrollen blir utført, slik at det blir mulig å planlegge stikkprøver ved siden av disse.



Figur 2.2: Flytskjema med framgangsmåten for beregning av en sammensatt helseindeks for en transformator basert på helseindeks for delkomponenter [23]

Når det er beregnet helseindekser for noen av komponentene er det muligheter for å bruke indeksen for en hel komponentgruppe [22]. Komponenter med mye felleskarakteristikker kan regnes som en komponentgruppe slik at komponenter innenfor samme gruppa kan ha samme helseindeks. Eksempel på slike typiske felleskarakteristikker:

- Lignende degradering og aldringsmekanisme slik at komponenter har samme kritisk tilstandsfaktor.
- Lignende økonomiske og driftsegenskaper. Dette er med å definere tilstandsinformasjon som det er mulig å få taket i innenfor rimelige økonomiske grenser.

Etter at helseindeks er definert for de ulike komponentene brukes de ofte videre i ulike analyser. Helseindeksene kan brukes videre som datagrunnlag for å anslå restlevetid og feilsannsynlighet på komponenter. I mange bedrifter er det utviklet programmer for slike beregninger [25]. Helseindeks kan også brukes som datagrunnlag i risikoanalyser. Risikoen kan skrives med ligningen under, og som ligningen viser er risikoen gitt som produkt av sannsynlighet og konsekvens for mulige svikt/feil [31]. Helseindeks vil i en risikoanalyse gi sannsynligheten for at en uønsket hendelse skal inntreffe [36]. Målet med risikobasert vedlikehold er å bidra med informasjon om sannsynlighet for svikt. På denne måten blir det mulig å påvirke konsekvensen ved å innføre tiltak, og dermed redusere risikoen for svikt/feil på et tidlig stadium.

$$Risiko = Sannsynlighet\ for\ svikt/feil * Konsekvens\ for\ svikt/feil \quad (2.1)$$

En av svakhetene ved helseindeks er at den kun gir informasjon om teknisk tilstand. I virkeligheten vil det også være behov for å ta hensyn til andre faktorer som HMS, miljø osv ved forvaltningsarbeid [22]. Ulike parametere som brukes i analysen kan ha usikkerheter med seg. Usikkerheter fra parameterne kan føre til usikkerheter i analyseresultatet. Det er mulig å undersøke usikkerheter i de ulike parameterne ved hjelp av sensitivitetsanalyser [36]. Usikkerheter fra de ulike parameterne kan legges sammen til å anslå total usikkerhet i analyseresultatet.

### 2.1.2 Mer om utfordringer i kartlegging av tilstand og reinvesteringsbehov

I en ny rapport fra undersøkelser utført på initiativ av NVE er det påvist mangel på informasjon om alder for en stor andel av nettkomponenter [19]. Formålet med undersøkelsen er å

anslå fremtidig investeringsbehov i distribusjonsnettet basert på data samlet inn av nettselskaper. Blant dataene som sendes inn er det inkludert teknisk og geografisk informasjon om nettkomponenter som luftlinjer, transformatorer og brytere etc. Her har 136 nettselskaper eller områdeskonsesjonærer fått oppdrag i å kartlegge alderen på nettkomponenter i sitt eget høyspent distribusjonsnett, det vil si anlegg som driftes på spenningsnivået 1-22 kV. I løpet av vinteren 2011/2012 ble det sendt inn data for totalt 887 871 enkeltkomponenter fra 136 ulike nettselskaper. Det er varierende kvalitet på de innrapporterte dataene. Det mangler mye viktig data for mange av komponentene, både teknisk- og geografiskdata. I tillegg var det også noe feilmerking. Dessuten har ulike nettselskaper brukt ulike definisjoner i innsamlet data. NVE antar at det vil bli foretatt en ny runde med innsamling av data for å oppdatere dagens datasett og forventer forbedringer i datakvaliteten.

En av komponenttypene som gir mye utfordringer i innsamling og analyse av data er luftlinjer [19]. Luftlinjer består av flere komponenter som eldes med ulik hastighet. Ettersom komponenter på luftlinjer er lett tilgjengelig for utskiftning, kan det antas at utskiftningen skjer ofte på luftlinjer. Ofte utskiftning av komponenter på linjen bidrar til å komplisere kunnskap om effekten av utskiftninger; hvor mange delkomponenter må skiftes ut for at hele komponenten kan defineres som ny? Til tross mangel i dataene som er samlet inn har NVE ved hjelp av det innsamlede data fått en god oversikt over omfanget av det høyspente distribusjonsnettet og dets aldersfordeling. Dataene kan også brukes til å bidra med kunnskap om forsyningssikkerheten. Geografisk informasjon er nyttig for NVE ved behandling av konsesjonssøknader og ved risikovurderinger av komponenter i forhold til deres nåværende geografiske plassering. Lignende innsamlinger av data har blitt gjennomført av NVE også i 2005 og 2010. Innsamlingen i 2011/2012 regnes å være den mest omfattende.

Det er gjort studier på data samlet inn i 2005 ved SINTEF Energiforskning [19]. I denne undersøkelsen er det 34 nettselskaper som har bidratt med detaljerte oversikter med angivelse av aldersfordeling for sine anlegg. Det er utført analyser på levetid og feilrater basert på innsamlet data for komponenter fra alle spenningsnivåene i nettet; distribusjonsnett (0,230-22 kV), regionalnett (66 og 132 kV) og sentralnettet (300 og 420 kV hvor at i enkelte deler av Norge inkluderer det 132 KV).

Tilstanden til komponentene er avhengig av faktorer som alder, belastningsgrad (det er gitt av forholdet mellom elektrisk strømbelastning og termisk grenselast), vedlikehold, klima, mil-

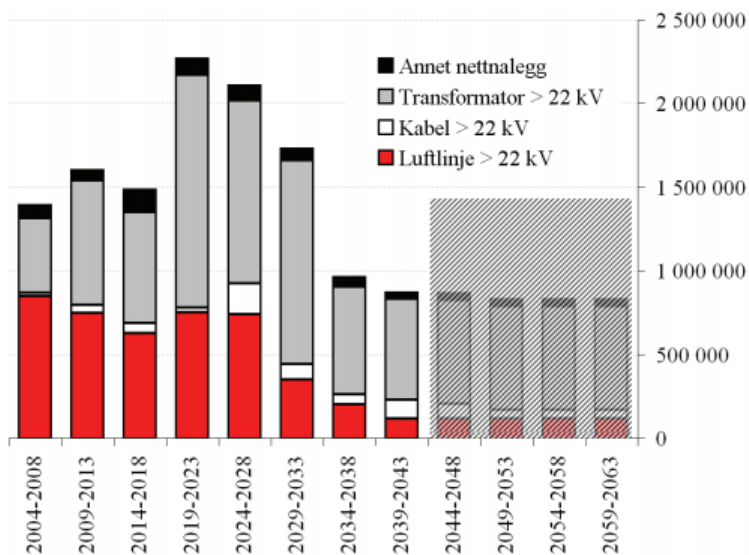


jø og så videre, men i denne analysen fra 2005 er det valgt å fokusere på data om alder og lengden på nettet [19]. En slik forenklet analysemodell bidrar til usikkerheter i investeringsanslaget. Ekspertpersonell hos SINTEF og TE mener at klimatiske og miljømessige forhold er de viktigste parameterne med hensyn til luftledninger [30]. Luftledninger er tradisjonelt blitt belastet lavere enn nominell last hva gjelder spesielt elektrisk belastning, men også mekanisk belastning. Lavere belastningsgrad enn nominell, vil medføre forlenget levetid, men klimatiske og miljømessige forhold er langt viktigere. Tilgjengelige grunnlagsdata om alder er mye mer komplett for det regional- og sentralnettet enn for distribusjonsnettet Tabell 2.1 [30]. Dette har mange årsaker. Den enkelte komponent utgjør en større verdi enn i distribusjonsnettet, datamengden er mindre, og NVE har krevd innrapportering av denne type data fra konsesjonærene siden ordningen med regional kraftsystemplanlegging startet i 1988. Det er anslått teknisk- og gjenstående levetid basert på innsamlet data og anslag ved ekspertpersonell hos SINTEF, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet og ulike nettselskaper. Se resultater i.

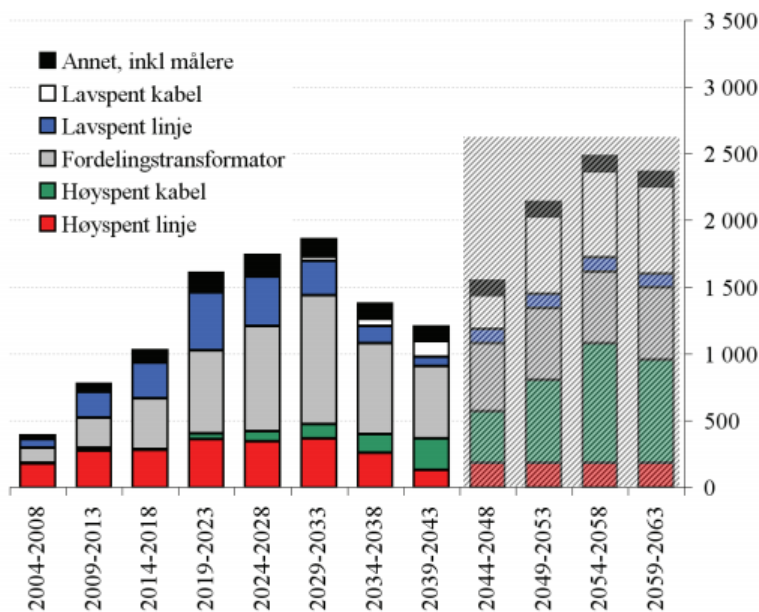
Tabell 2.1: Anslått levetid, gjennomsnittsalder og andel av anleggskategorien luftledninger som når sin forventede levetid i 2005 og 2015 basert på innsamlet data fra 34 norske nettskaper [30].

Anleggskategori		Anslått teknisk levetid [år]	Gjennomsnittlig alder [år]	Andel som når forventet levetid i 2005 [%]	Andel som når forventet levetid i 2015 [%]
Luftlinjer	Lavspent	35-45	22	1-16	16-50
	Høyspent	35-45	30	24-41	41-57
	Over 22 kV	35-45	33	19-49	49-70

Videre er det estimert reinvesteringsbehov for distribusjonsnettet og regionalnettet basert på anslått levetid. Resultatene er som vist i Avsnitt 2.1.2 og Avsnitt 2.1.2.



Figur 2.3: Reinvesteringsbehov i kNOK per år i femårsintervaller for regional- og sentralnettet, basert på teknisk levetid som anslått i Tabell 2.1 [30].

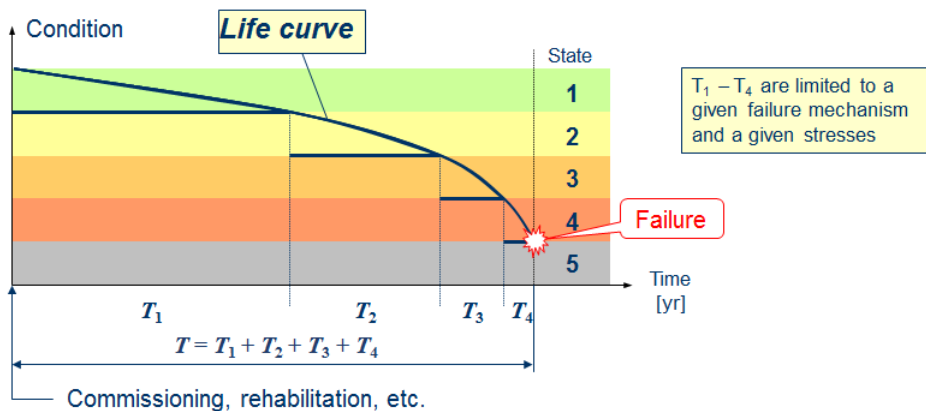


Figur 2.4: Reinvesteringsbehov i kNOK per år i femårsintervaller for distribusjonsnettet, basert på teknisk levetid som anslått i Tabell 2.1 [30].

### 2.1.3 Mer om framgangsmetoder for tilstandsvurdering

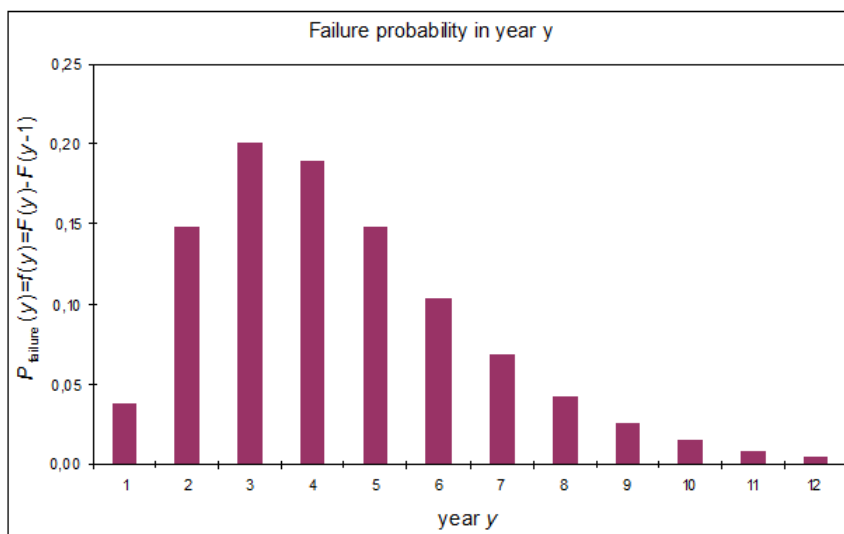
Som beskrevet i Avsnitt 2.1.1 så vil de fleste av komponentene være en sammensetning av flere delkomponenter [21]. Hver av delkomponentene har ulike degradering/aldringsmekanismer. Noen av komponentene kan allerede ha nådd slutten av levetiden, mens andre fortsatt fungerer utmerket i drift. Tidligere er det gitt en beskrivelse i bruk av sammensatt helseindeks slik at det gjerne er en verdi som settes for et helt komponentsystem. Det finnes andre måter å slå sammen enkeltstående statistikker eller informasjon til større statistiske målinger på, såkalt aggregering. Ulike tilstandsverdier kan aggregeres sammen slik at det er den delkomponenten med mest kritisk tilstand som utløser behovet for tiltak [34]. I en masteroppgave fra 2012 er gjort undersøkelser i samarbeid med Nord-Trøndelag Energiverk(NTE) i forbindelse med blant annet aggregering av tilstandsobservasjoner.

En levetidskurve beskriver tilstanden til en komponent basert på fire definerte nivåer for tilstand [31]. Komponentene degraderer sakte i startfasen før hurtigheten for degarderingsprosessen øker etterhvert som tilstanden forverrer seg. Det betyr at tilstand 1 ofte er den tilstanden/observasjonen med lengst varighet og tilstand 4 har gjerne kort varighet. Etter tilstand 4 vil komponenten få en uønsket hendelse som kan føre til utfall. Dette er som vist i Figur 2.5. En slik levetidskurve kan bli generert forutsatt at varigheten av de ulike observasjonene er kjent. Basert på informasjonene gitt ved levetidskurven er det mulig å generere en kurve som beskriver sannsynligheten for svikt som funksjon av alder. Dette forutsetter at det er gitt informasjon om når komponenten når 10% av sin tilstand (10%-kvantilen) og at tilstanden ved de ulike komponentene per dags dato er kjent. En slik kurve er som vist i Figur 2.6 og er den som gjerne brukes videre i analyser.



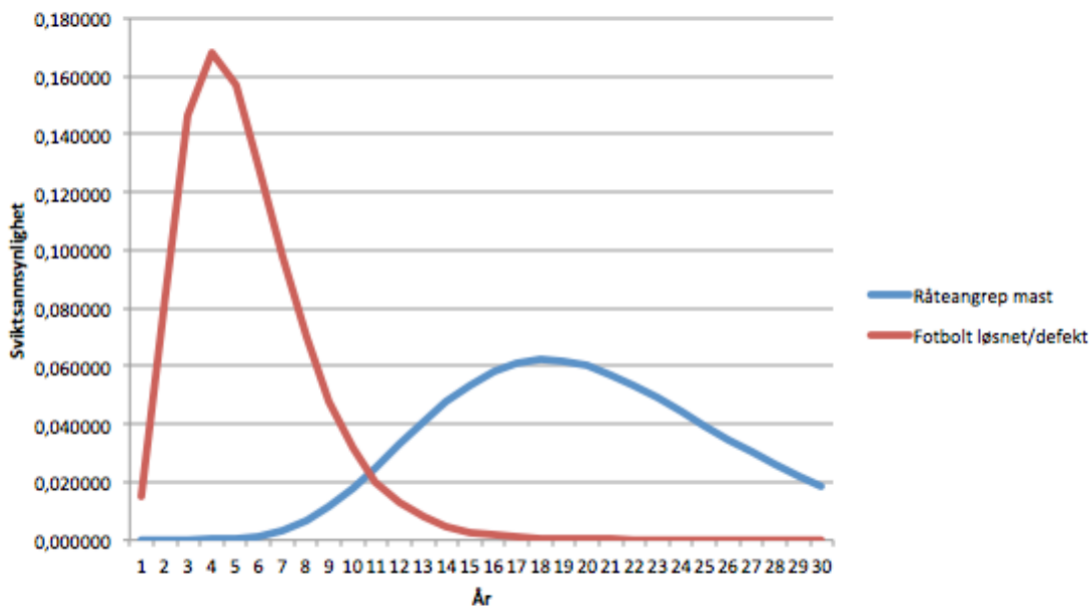
State	Description
1	No indication of degradation ('as good as new')
2	Some indication of degradation, the condition is noticeably worse than 'as good as new'
3	Serious degradation, the condition is considerably worse than 'as good as new'
4	The condition is critical
5	Fault state

Figur 2.5: En typisk levetidskurve med beskrivelse av ulike tilstandsnivåene en komponent vil gå gjennom i en degraderingsprosess [31].



Figur 2.6: En typisk kurve med informasjon om sviktsansynlighet som funksjon av tid for en komponent basert på Figur 2.5 [31].

I Figur 2.7 er det vist et eksempel på aggregering av to ulike observasjoner [34]. Figur 2.7 viser to kurver for sviktsannsynlighet basert på ulike observasjoner, en som følge av råteangrep på mast og den andre for løsnet/defekt av fotbolt ved en annen mast. Kurvene viser at sviktsannsynlighet for fotbolt er mye større enn råteangrep i mast i et tidligere stadiet og vil være den kritiske observasjonen. En kritisk observasjon trigger behov for tiltak.



Figur 2.7: Sviktsannsynlighet fra topunktsanalyse av ulike observasjoner fra to master. En med råteangrep og en med løsnet fotbolt [34].

## 2.2 Relevante teknisk maste- og miljødata

### 2.2.1 Bakgrunn og tidligere arbeid i analyse av tremaster

Det er anslått at den typiske levetiden til en tremast er på 70 år og stålmast 100 år [11]. Forskjellige tekniske masteegenskaper og miljøpåkjenninger bidrar til å redusere den forventede levetiden. Denne oppgaven ønsker å utføre analyser på en gruppe master hvor at en dominerende andel av master datagrunnlaget vil være tremaster. Derfor er det valgt å fokusere på trestolper i undersøkelsen. Den mest dominerende skademekanismen i trestolper er redusert mekanisk styrke [28]. Skader i tremaster skyldes som oftest slitasje og råte av treverket, og gjer-

ne som følge av insekter og hakkespetter som borer hull og lager tunneler i trematerialet. Her vil det bli lagt vekt på degraderingsmekanismen råte, og litt på effekten av slitasjer.

I 2006 har forskere ved SINTEF Energi AS gjort en undersøkelse på råteutvikling i de rundt 40 000 trestolpene rundt Oslofjorden [29]. I undersøkelsen er det blant annet foretatt en vurdering av hvordan klimaet og grunnforholdene påvirker sannsynligheten for jordbandsråte i kreosotimpregnerte trestolper. Modellen er basert på antagelser og forenklinger som følge av datamangel og usikkerheter rundt råtemekanismen i treverket. Oslofjord prosjektet har brukt statistisk materialet med hensyn til råteutviklingen i cirka 60 000 trestolper fra flere elverk som erfaringsgrunnlag, blant annet resultat fra trestolpeanalyse gjort av TE.

TE eier og drifter den totalt 4 748 km lange luftlinjen som ligger på kryss og tvers over Sør-Trøndelag (per 2013) [13]. TEs trestolpeanalyse er et produkt fra et planlagt tilstandkontrollprogram. I perioden 2001 til 2006 ble det utført kontroll av trestolper på et utvalgt sett av luftlinjer i TEs forsyningsområdet. Stolpene er kontrollert ved hjelp av bankemetoden, bor og råte sonde. Resultatet viser blant annet sannsynlighet for råteangrep som funksjon av mastkonstruksjon, alderen på masten og grunnforholdet for de ulike mastene [18]. Tilstandskontroll og analysen er utført av TE på master ved 29 luftlinjer, det som totalt danner en 477,8 km lang linje. Dette utgjør 3 659 mastpunkter eller 8 174 stolper i systemet. Et mastpunkt kan bestå av en eller flere stolper avhengig av mastkonstruksjonen. Kun 17 av linjene er undersøkt i forbindelse med sannsynlighet for råteangrep som funksjon av grunnforhold, dette på grunn av mangel i geografisk data for 12 av linjene [12]. Stolpene er merket med impregneringsårgang. Det vil si dersom en stolpe er merket med årgangen 1920, så er 1920 det året hvor at det ytterste impregneringslaget er ferdig lagt på trestolpen. Mer om trestolpeanalyse ved TE som beskrevet i Tillegg B.

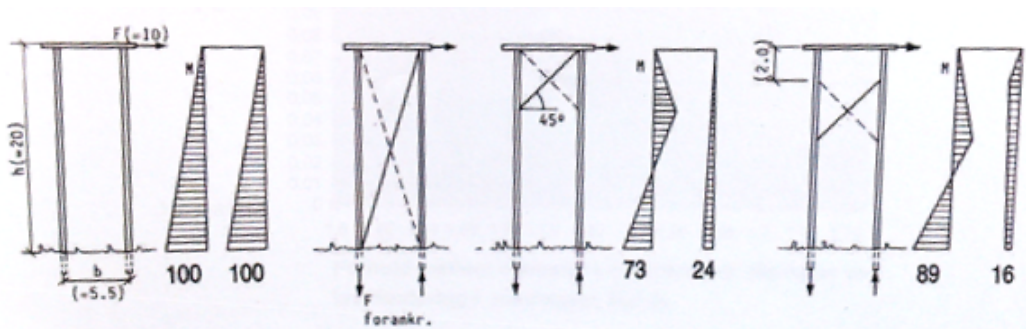
## 2.2.2 Fysisk forståelse av tremaster

Her er det gitt en beskrivelse av ulike tekniske masteegenskaper med hensyn til tremaster. Det er valgt å fokusere på tremaster i denne oppgaven med hensyn til datagrunnlaget som brukes i analysen som beskrevet i Avsnitt 2.2.1.

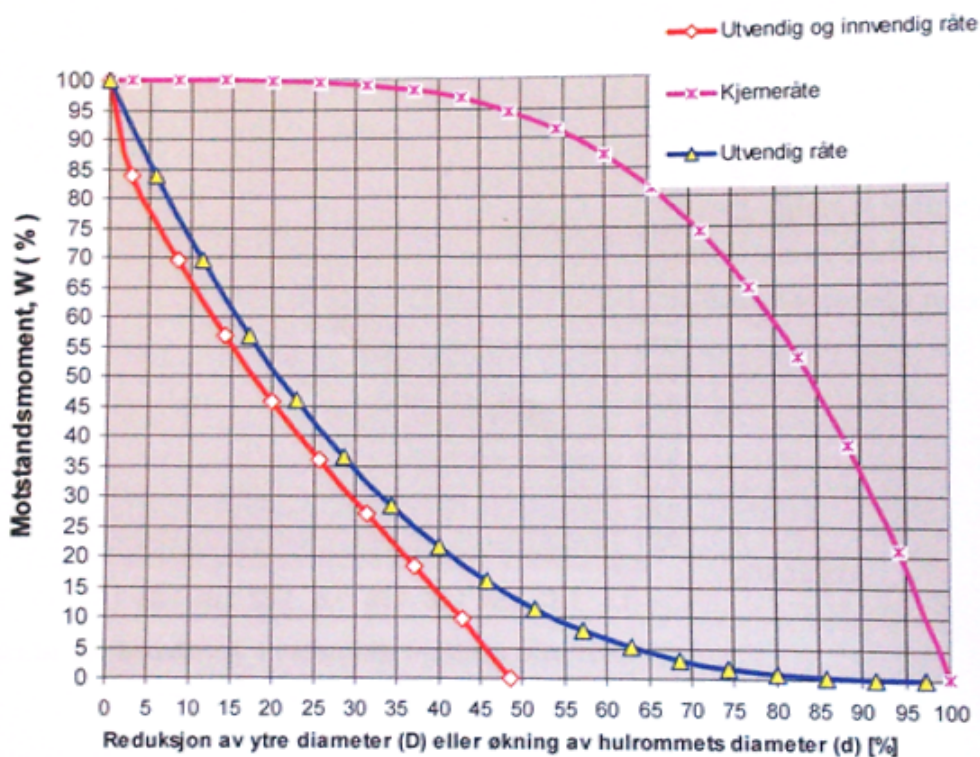
Informasjon på hvor mye mekanisk belastning en tremast tåler kan gi en indikasjon på tilstanden på tremaster, og dette kan beregnes ved hjelp av bøyespenning. Høy verdi i bøyespenning

tyder på at trestolpen tåler mye mekanisk belastning. Den maksimale bøyespenningen i en trestolpe  $\sigma_{maks}$  er gitt av bøyemotstand( $Mb$ ) delt på motstandsmoment( $W$ ) som vist i ligningen under. Horisontallast på trestolper bidrar til å øke bøyemotstanden på trestolpen. Motstandsmoment  $W$  reduseres ved råteangrep som vist i Figur 2.9. Typisk bøyemotstand for en stolpe er som illustrert i Figur 2.8.

$$\sigma_{maks} = Mb/W \quad (2.2)$$



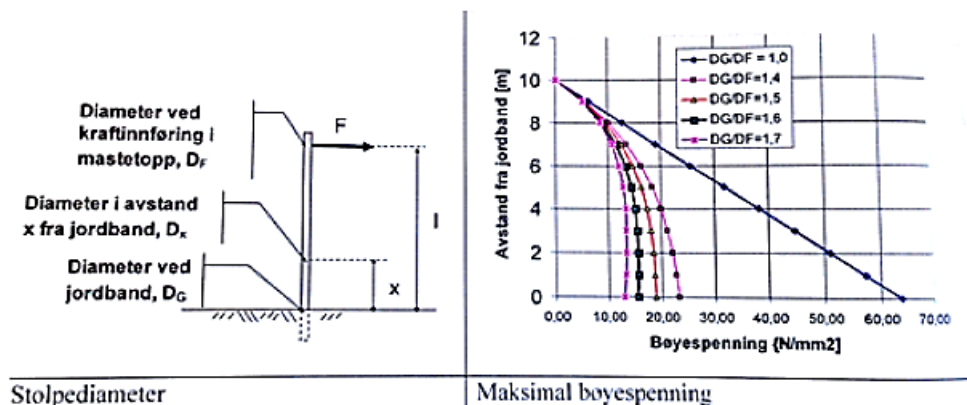
Figur 2.8: Teoretisk estimering av bøyemoment i H-master med og uten avstivninger basert på forskning og erfaring ved SINTEF [29].



Figur 2.9: Resultater fra kontroll av endringer i motstandsmoment i ulike mast som funksjon av ulike typer av råte basert på forskning ved SINTEF [29].

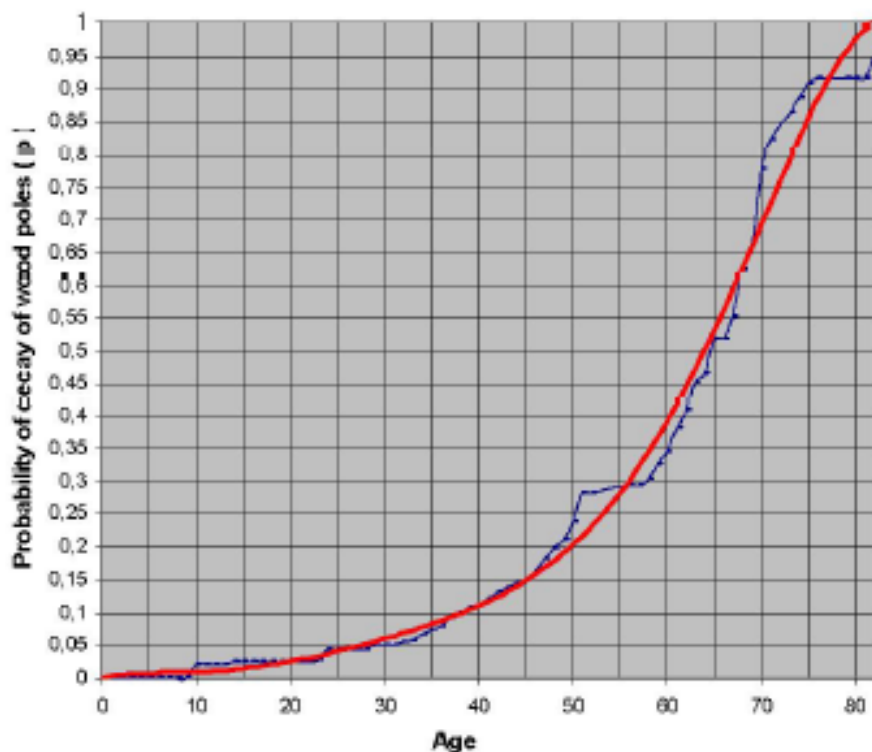
Bøyepeningen vil kunne variere opp langs en trestolpe og dette er avhengig av mastkonstruksjonen [29] som vist i Figur 2.9. For eksempel vil det være forskjell mellom avstivede og uavstivede master. Avstivede master vil ha  $\sigma_{maks}$  ved festepunkt for stag og barduner, mens for uavstivede master vil det opptre nær jordbåndet [29]. Dersom det antas at en mast har konisk form, er i perfekt tilstand og at det er horisontal påkjenning på mastetoppen så vil den største bøyepeningen oppstå ved stolpehøyden hvor diameteren på stolpen er 1,5 ganger av diameteren på mastetoppen. Dette er illustrert i Figur 2.10. Verdien er estimert basert på antagelser noe som bidrar til usikkerheter i resultatet.





Figur 2.10: Posisjonen for maksimal bøyenspenning i en avstivet, uskadet stolpe med dominerende horisontalkrefter i mastetoppen bestemmes av forholdet mellom diameter ved jordbandet,  $D_G$  og diameter i kraftoverføringspunktet i mastetoppen,  $D_F$ . ( $D_G/D_F$ ) basert på forskning ved SINTEF [29].

Alderen på master vil kunne påvirke tilstanden på komponenten og gi en indikasjon på hvor utsatt de er for degradering [28]. Sannsynlighet for råteangrep som funksjon av alderen på trestolpen er som vist i Figur 2.11. Figur 2.11 beskriver sannsynlighet for råteangrep på trestolpene som funksjon av alderen på trestolpene [28]. Resultatet er basert på undersøkelse av rundt 40 000 mastene rundt Oslofjorden utført ved SINTEF [28] [29]. Resultatet viser at sannsynligheten for råte stiger eksponentielt med alderen på masten.

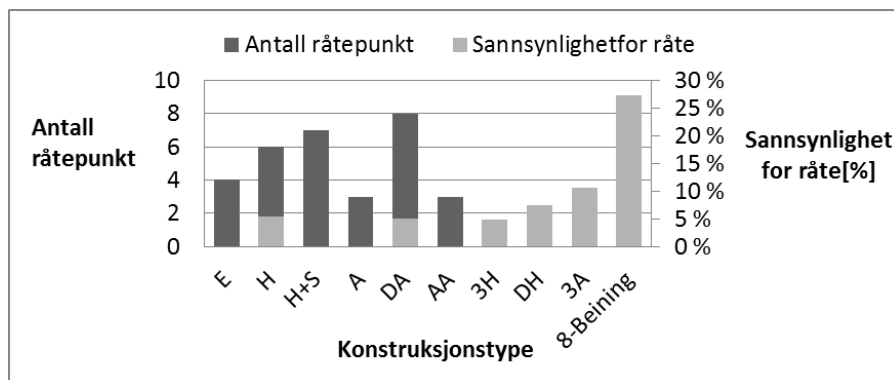


Figur 2.11: Sannsynlighet for råte som funksjon av alderen på trestolpen basert på forskning ved SINTEF [28].

Tremaster kan oppleve ulike degraderinger og ha ulike tilstand som følge av forskjell i impregneringsmetode [28]. Kreosotimpregnerte trestolper er hovedsaklig utsatt for råte i stolpekjernen, mens saltimpregnerte stolper er mye utsatt for råte på stolpeoverflaten. Ekponering for råte på stolpeoverflaten gir raskere redusering av fiberstyrken i forhold til råte som har sitt utspring i kjernen.

Tremaster finnes i ulike konstruksjoner og ulike konstruksjonene vil være utsatt for råte i ulike grad [29]. I Figur 2.12 er det gitt en beskrivelse av antall potensielle råtepunkter ved de ulike mastekonstruksjonene som følge av typiske råtepunkter ved master som for eksempel masteføtter, sammenføyninger, mastetopper uten hetter osv basert på forskning ved SINTEF [29]. I tillegg er det i Figur 2.12 også gitt en beskrivelse av sannsynlighet for råte basert på TE's trestolpeanalyse [12]. Potensielle råtepunkter for ulike mastekonstruksjoner som indikert i Fi-

Figur 2.12 er beskrevet i Tabell 2.2. Barduner og andre stolper som bidrar til støtte er med å øke sannsynligheten for råte. Dette ettersom sammenføyninger og bardunfester er typiske områder for råteutvikling og fordi disse fører til flere bolter og boltehull som også bidrar til råteutvikling.



Figur 2.12: Sannsynlighet for råte ved ulike mastkonstruksjoner basert på antall potensielle råtepunkter og sannsynlighet for råte basert på statistisk grunnlag fra TEs trestolpeanalyse [12].

Tabell 2.2: Utsatte råtepunkter som er identifisert ved ulike mastkonstruksjoner basert på forskning ved SINTEF [29].

Mastetype	Råtepunkt
E- og H-mast uten strever	Jordband Mastetopp uten topp hette Festepunkt for travers
H-mast med strever	Skråskjært fugen mellom stolpene Jordband Treramme under bakkenivå
A-mast	Skråskjært fugen mellom stolpene Jordband Treramme under bakkenivå
DA-mast	Sammenføyninger i de 4 stolpebeinene

Ulike fundamenter vil kunne føre til forskjell i råteutvikling ved tremaster. Sintef har i en un-

dersøkelse samlet inn 10-11 meter lange trestolper [29]. Mange av trestolpene er fra 22 kV-linjer. Resultatet fra undersøkelsen viser råteutvikling i trestolper som følge av ulike fundament. Oversikt over forskjell i ulike råteområder ved tremaster som følge av ulike fundamenter er som beskrevet i Tabell 2.3. Råteangrep i tremaster med ulike fundamenter er som vist Avsnitt 2.2.2 hvor at resultatene beskriver mengde fuktangrep og råteutvikling opp langs hele mastens høyde.

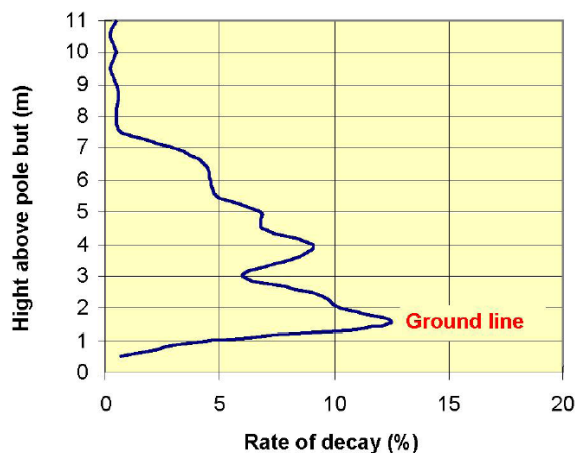
Tabell 2.3: Oversikt over utsatte råtepunkter for master med ulike fundamenttyper og typiske grunn typer hvor de ulike fundamentene gjerne brukes basert på forskning ved SINTEF [29].

<b>Grunntype</b>	<b>Stolpefundament</b>	<b>Utsatte punkter langs masten</b>
Jordsmonn	Betongfundament	Mastfoten Bolter Tildekking av stål plater Hull for klatrebøyle
	På jordsmonn med skoring (med masse, pukke og stein)	Mastfoten
Fjell	Bolting av mastefot og fjellstag	Mastfoten Boltehull for fjellstaget

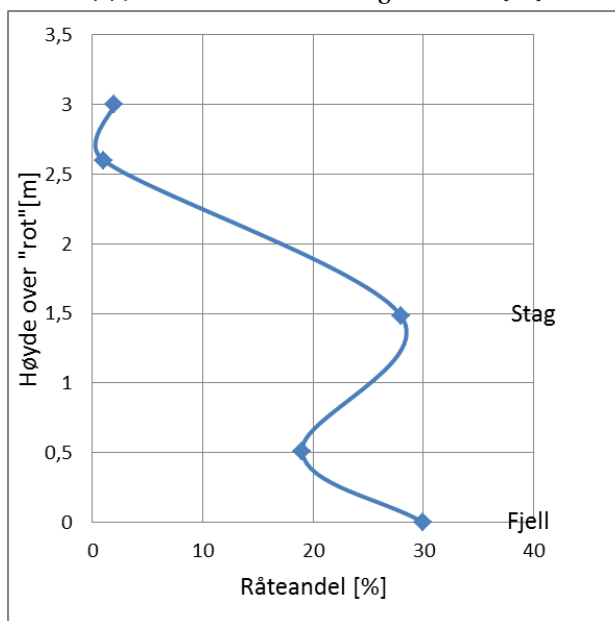
Tabell 2.3 viser at mastefoten er et viktig punkt for råteutvikling for alle fundamenttypene. Dette er på grunn av at mye organisk avfall ofte samler seg på betongfundamentet ved mastefoten. Organiske materialer som jord og gress bidrar til å holde på fuktigheten ved stolpebeina til fundamenter på jordsmonn [29]. Råte bidrar til å redusere maststyrke som beskrevet i Avsnitt 2.2.2 og forskjell i fundamenttyper bidrar til forskjell i utsatte råtepunkter på ulike trestolper. Dette vil si at sannsynligheten for redusert maststyrke ved ulike høyder av masten er avhengig av fundamenttypen som brukes for masten. Informasjon om fundamenttype på masten gir muligheten til å anslå utsatte råtepunkter på masten, og ut ifra det beregne den totale mekaniske belastningen en mast kan tåle.

Tabell 2.3 viser at valg av fundamenttype er avhengig av grunnforholdet. Master på fjellet har typisk fundamenttype fjellstag. Staget festes på stolpen omtrent 1,6-2,1 meter over bakken av-

hengig av lengden på staget etter anbefaling fra REF [9]. Masten er utsatt for råte ved monteringspunktene slik at ulike monteringshøyder er med å påvirke den råteprofilen for stolpen. Typisk råteprofil for fjellstag er som vist i Figur 2.13b, resultatet er generert ut ifra tilstandskontroll av råte langs en tilfeldig trestolpe med fjellstag. Det er gjort lignende undersøkelse på stolpene i en H-mast fundamentert i jord med skoring av oppgravd masse og resultatet er som vist i Figur 2.13a. Figur 2.13a viser at jordfundamenter vil ha størst sannsynlighet for råte på bakkenivå. Ettersom det hovedsakelig er på bakkenivået hvor fukt, sopp, bakterie og forurensning trenger seg gjennom de naturlige sprekene i tre og/eller tunneler som er laget av insekter [29].



(a) Jordsmonn med skoring av masse [28].



(b) Fjellstag [29].

Figur 2.13: Råteprofil for master med ulike fundamenttyper basert på resultater fra forskning ved SINTEF [29].

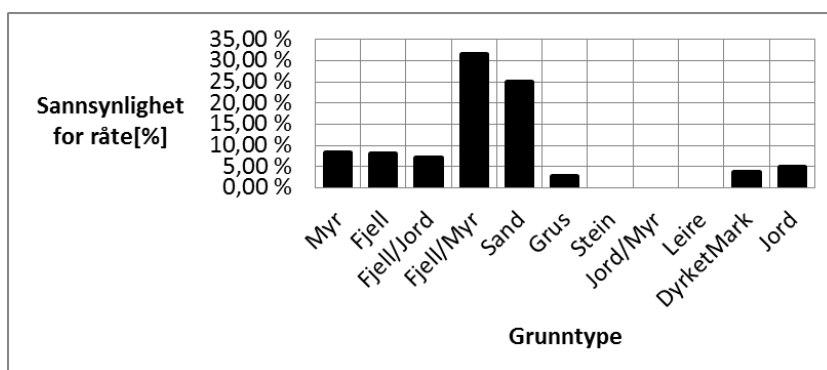
### 2.2.3 Miljøpåkjenning på tremaster

Her er det gitt en beskrivelse på ulike miljøfaktorer som vil kunne føre til degradering i tremaster. Det er valgt å fokusere på tremaster som beskrevet i Avsnitt 2.2.2. Miljøfaktorer vil ha

stor betydning for tilstand på master. Siden 1.november.1996 er det brukt dimensjoneringer som følger standarder gitt i Nye norske normer for mekanisk dimensjonering av kraftledninger NEK609 slik at trestolper dimensjoneres etter EN50341-1 og EN50425-1 med Nasjonale Normative Avvik(NNA) [29]. I de nye standardene som brukes utledes dimensjoneringen ut ifra sannsynlighetsberegninger basert på stokastiske klimalaster og materialegenskaper.

Grunnforhold er en viktig parameter for råteutvikling i tremaster. Det er produsert ulike resultater i forbindelse med påkjenning fra grunnforhold på tremaster ved ulike institutter. Resultater fra tilstandskontroll gjort av TE er som vist i Figur 2.14. REF har kategorisert de ulike grunntypene i fire klasser [29] [9]. Klassene er delt opp etter forholdet for fundamentering og råterisiko. I resultatene fra laboratorie- og statistiske resultater ved SINTEF er det påvist 0% i sannsynlighet for råte på steingrunn, 12% i myrområder og 16% i skogområder [28]. De fire klassene er som beskrevet i Tabell 2.4. Empirisk data fra Norsk Treteknisk Institutt(NTI) [17] er som beskrevet under:

- Nedbrytningshastigheten er dobbelt så rask i dyrket mark som i mose og myrområder.
- Asfalt og betong inntil stolpen gir forhold som kan gi rask råteutvikling.
- I skog med moldjord er risikoen for råte stor, men mindre enn i dyrket mark, da tilgangen på nitrater og vann er mindre.
- Stolper som står i vann i myrområder er mindre utsatt for råteangrep.
- Stolper som står i godt drenert morenejord med sand og grus er lite utsatt for råte.
- Stolper som står på fjell regnes å være lite utsatt for råte.



Figur 2.14: Sannsynlighet for råte i trestolper på ulike grunnforhold fra TEs trestolpe-analyse [12].

Tabell 2.4: Beskrivelse av ulike typer jordsmonn og sannsynlighet for råte i områder med de ulike jordsmonnstypene basert på forskning og erfaring ved REF [9] [29].

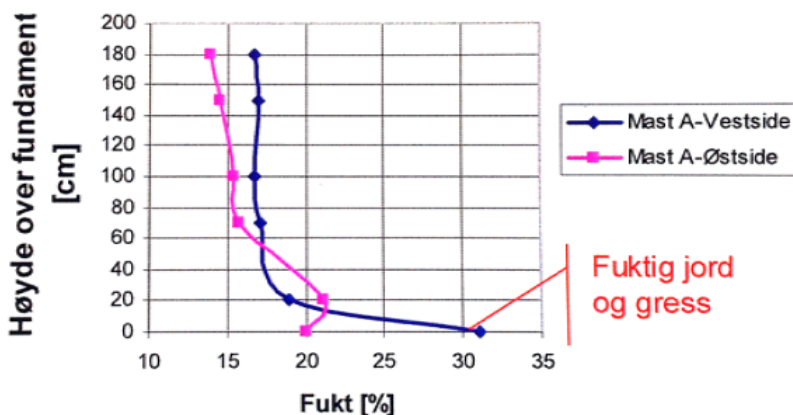
<b>Grunnforhold</b>	<b>Klasse for fundamentering</b>	<b>Råterisiko</b>
Fast pakket morenejord av steinblanding grus eller sand og tørrskorpeleire	Gode grunnforhold	Lite usatt
Grunn som består av løstlagret sand eller grus eller middels god leire	Middels gode grunnforhold	Lite utsatt
Grunn som består av vann med fin sand, løs leire, alminnelig god torvmyr og skog med næringsrik moldjord	Dårlig grunn	Høy
Grunn som består av meget bløt leire, silt, vannsyk torvmyr og lignende	Meget dårlig grunn	Mindre utsatt
Dyrket mark		Meget utsatt

Råteutvikling som følge av grunnforhold basert på undersøkelser fra de ulike instituttene er som vist ovenfor. Instituttene er enig om at det er dårlig sannsynlighet for utvikling av råte på grus. De er enige om at det er noe sannsynlighet for utvikling av råte på jord- og sandområder. Til forskjell fra TE har både NTI og REF identifisert ulike jordtyper i undersøkelsen, i tillegg har REF også identifisert ulike sandforhold. Det er noe forskjeller i resultater fra NTI, SINTEF og REF i forhold til resultater fra tilstandskontroll ved TE blant annet med hensyn til grunnforhold som dyrket mark og fjell. Ved både NTI og REF er det påvist høy sannsynlighet for råteutvikling på dyrket mark og lav råte risiko på fjell til forskjell fra TE. Dette skyldes forskjell i framgangsmetoder som brukes i undersøkelser ved disse to instituttene. Resultater fra NTI og REF antas å være generelle ettersom de er basert på ulike empiriske erfaringer og undersøkelser. Resultater fra TE er basert på en tilstandskontroll slik at analysen er utført på et mindre datagrunnlag og vil ikke kunne gi generelle resultater. Generelle resultater er avhengig av at data ikke er påvirket av irrelevante forhold og andre faktorer. Forskere fra SINTEF mener at det er påvist stor forskjell på fjellgrunn som følge av montasjemetode på mastene i fjellområder [27]. Kreosotimpregneringen er effektiv i beskyttelse mot inntrenging av fuktighet som fører til utvikling av råte. På fjellgrunn hvor det bores hull for stagsbolt og slås inn kramper for fotbolt, og hvor «rotenden» er skråskjært for at stolpen skal tilpasse et skrånende terreng, ville den beskyttende



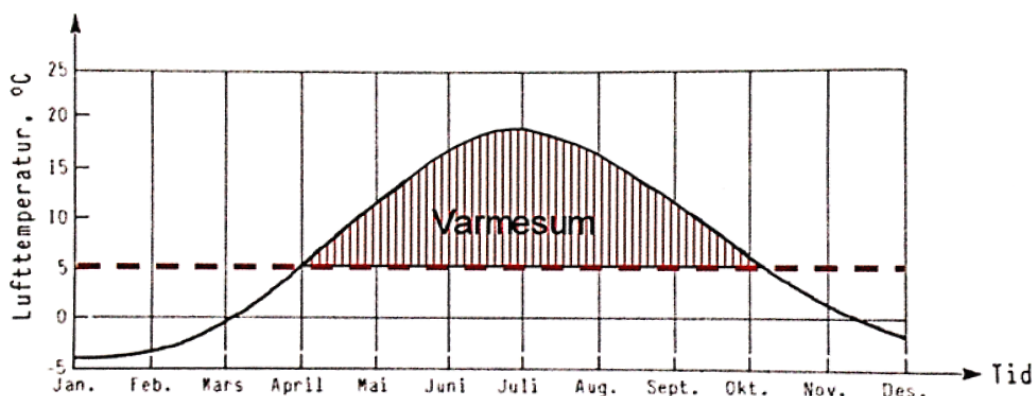
kreosotimpregneringen bli fjernet. Dette bidrar til økning av råteandel for stolper på fjell.

Egenlast og vind er de viktigste faktorene som fører til mekanisk belastning på trestolper [29]. Vind bidrar med horisontallast på tvers av linjeretningen. Påkjenning fra vind er avhengig av vindretningen som illustrert i Figur 2.15. Stolpen som vist i Figur 2.15 er under påkjenning av dominerende vindretning syd-sydøst (himmelretningen vinden blåser ifra). Illustrasjonen viser at det er påvist større risiko for fuktangrep på den siden hvor masten er utsatt for vinden og fukt bidrar til å øke sannsynligheten for råteutvikling. Vind vil kunne føre til at impregneringen blir vasket av på værsiden og resultatet som vist i Figur 2.15 kan blant annet skyldes at impregneringen er skylt vekk på værsiden (syd-sydøst).



Figur 2.15: Fuktighet i nedre del av en limtrestolpe som funksjon av himmelretning og fuktig jord og gress inntil mastefot. Begroing og jord oppå betongen på vestsiden av mastefoten gir trefuktighet (>30%) som kan initiere råte, hvis trebeskyttelsen ikke lenger fungerer tilfredsstillende [29].

Temperatur regnes som en viktig faktor for råteutvikling [29]. De fleste sopptypene vokser godt innenfor temperaturintervallet mellom 5°C og 24°C. Ved beregning av varmesum er det mulig å bestemme hvor raskt råtesoppen kan vokse innenfor et området. Varmesum per år er beregnet ut i fra temperaturdata fra meteorologiske stasjoner i nærheten av stolpene. Beregning av varmesum er basert på framgangsmåten som ble brukt i tidligere forskning ved SINTEF som illustrert i Figur 2.16. Grafen viser variasjon i månedlig normaltemperatur over et år. Varmesummen er gitt av arealet under kurven for normaltemperatur fra 5°C og oppover.



Figur 2.16: Varmesummen er gitt av arealet under kurven for lufttemperatur fra og med temperatur over  $5^{\circ}\text{C}$  basert på framgangsmåten i forskning ved SINTEF av sannsynlighet for råte på trestolper [29].

Trematerialet ønsker å ha et fuktighetsnivå i likevekt med luft- og grunnfuktigheten i næromgivelsen [29]. Luftfuktighet er et mål på vanndampnivå i luften og blir gjerne målt i absolutt og relativ fuktighet [3]. Absolutt luftfuktighet angir den faktiske vanndampmengde på et gitt tidspunkt og måles ofte i gram vanndamp per kubikkmeter luft ( $\text{g}/\text{m}^3$ ). Relativ luftfuktighet oppgir luftens evne til å ta opp vanndamp. Det er en funksjon av lufttemperaturen og oppgis i %. Ved likevekt vil mengden bundet vann i treverket stå i et visst forhold til luftens relativ fuktighet. Det tar lang tid før treverket oppnår likevekt. Tiden for at treverket oppnår likevekt er avhengig av dimensjonen på stolpen. Kreosotimpregneringen demper effekten av fuktsvingninger i treverket slik at tilfredsstillende beskyttelse med kreosotimpregnering kan preventere råte [28]. I teorien vil sopp typisk begynne å spire når treet har en fuktighet på 24-30% (ved fibermetningspunktet) og et fuktighetsnivå på over 20% er nok til at soppene skal kunne fortsette å vokse [29]. Fuktighet i treverk som følge av vegetasjon er som vist i Figur 2.15. Figur 2.15 viser at det er kontrollert høy andel fuktighet i master i områder hvor jord og gress legger seg inntil masten [29].

Brann kan oppstå på mastetopper eller traverser av tre [15]. Dette kan føre til spredning av brann til gress, lyn og i ekstreme tilfeller føre til skogbrann. Brann oppstår på tremaster når faseleder kommer i kontakt med trematerialet. Det er gjerne snakk om feil med isolatorer og benslingstråd. Men kontakt mellom faseleder og trematerialet vil ikke alltid kunne føre til brann. Slike utfall er ikke et vanlig fenomen og skyldes unormalt kraftige varmeutviklinger som oppstår i treverket. Erfaringen viser at det hovedsakelig er master i kystnære områder eller om-

råder med mye luftforurensning som er utsatt for mastebrann. Dette kan forklares ved at salt og andre typer forurensning bidrar til å øke ledningsevne i trevirket. Det er størst risiko for brann ved kortvarig nedbør eller andre typer for plutselig økning i fuktighetsnivå. Fuktighet fører til elektrisk strøm i tremaster. Elektriske strømmer er satt i gang av kapasitivt overføring av spenning til festearrangementet eller lekkasjestrøm over forurensede isolatorer, og fuktighet over sannsynligheten for slike reaksjoner i trevirket. Treet blir fort oppvarmet nær bolter og andre metalliske kontaktpunkter, i og med at høye lokale strømtettheter gjerne er å finne ved disse punktene ved eventuelle lekkstrømmer i traverser og stolper. Saltbelegg kan føre til lekkstrøm på 3-4 mA [15]. For blant annet 24 kV-nett er det spesielt lekkstrøm i området 2-5 mA som regnes som kritisk for nedbrytning av PEX-isolasjonen. Det er nevnt tidligere at det ofte er master langs kysten som utsettes for saltbelegg og mastebrann. Det antas at saltbelegget på master typisk stammer ifra saltholdig luft ved kysten som er virvlet opp fra havvannet.

### 3 | Sammenstilling av NIS- og GIS-data

Dette kapitlet beskriver framgangsmåten som er brukt for sammenstilling av NIS- og GIS-data i denne oppgaven. Ved hjelp av ArcGIS har det vært mulig å sette miljødata på mastene. I NetBas systemet hos TE er det samlet data fra vedlikehold- og tilstandskontroll. NIS-data er hentet ut fra NetBas. I tillegg er det utledet data basert på tidligere forskning, statistisk grunnlag og TEs erfaring. Innsamling av data er basert på beskrivelser av ulike tekniske mastedata og miljødata med hensyn til tilstand- og risikodata som er beskrevet i Kapittel 2. Resultatet fra det innsamlede datagrunnlaget er som beskrevet i Kapittel 4.

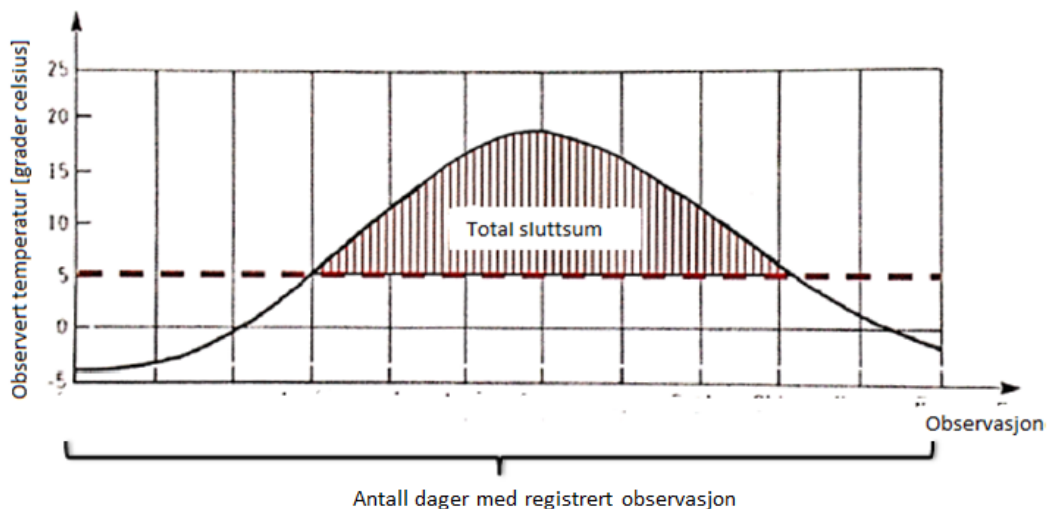
#### 3.1 Innsamling av miljødata med ArcGIS

##### 3.1.1 Datakilder for miljødataanalyse i ArcGIS

I Avsnitt 2.2 er det identifisert en rekke miljødata som er relevant for å kunne anslå fremtidige degraderinger i trestolper som følge av organisk aldring på grunn av miljøpåkjenning. I denne oppgaven er valgt å bruke programmet ArcGIS til å hente ut miljødata. Miljødata i ArcGIS er importert fra Meteorologisk Institutt, Skog og landskap og NILU [3] [8] [7].

For å kunne bruke temperaturdata i analysen er dataene regnet om til varmesum som beskrevet i Avsnitt 2.2.2. Varmesum er beregnet ut ifra daglige minimum-, midlere- og maksimal temperatur observert gjennom en 10 års periode (Januar 2004—Desember 2013). For noen av stasjonene mangler det data for deler av tidsperioden og det er ulike kvaliteter på det innsamlede datagrunnlaget. Ved de ulike værstasjonene er det registrert fire observasjoner per dag mellom klokka ett og klokka 19 med fire timer i mellom hver observasjon. Det er importert temperaturdata fra 28 værstasjoner fra Meteorologisk Institutt [5]. Det er registrert midlere temperatur ved alle værstasjonene med mangel på informasjon om minimum- og maksimum daglig temperatur fra tre av stasjonene. Temperaturverdi mellom 5 og 24°C er summert opp for hver av værstasjonene som illustrert i Figur 3.1. Gjennomsnittlig daglig varmesum er verdien av den totale sluttsummen på varmesum delt på total antall døgn med registrerte observasjoner fra

hele 10-års periode.

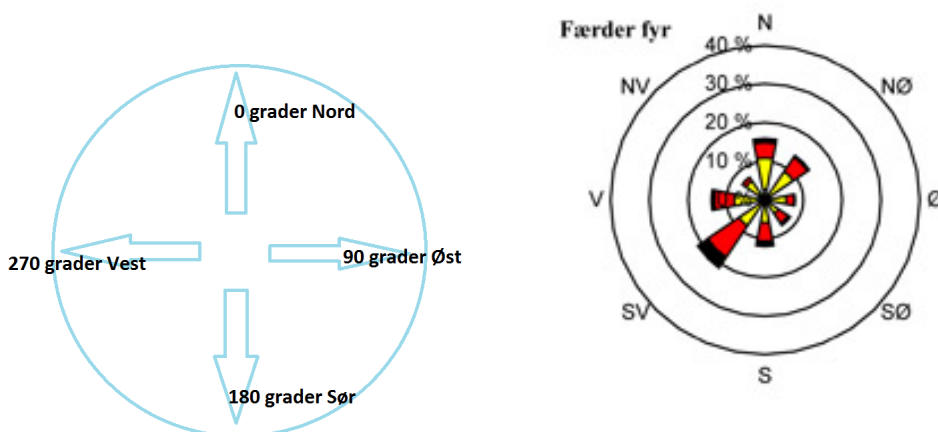


Figur 3.1: Beregning av varmesum ut ifra observert temperatur basert på framgangsmåten som er brukt i undersøkelse av trestolper rundt Oslofjorden utført ved SINTEF [29].

Fuktighet vil kunne føre til råteutvikling i tremaster som beskrevet i Avsnitt 2.2.2 [28]. Informasjon om nedbørmengde vil kunne gi en indikasjon på luftfuktighet og fuktighetsnivå i treverket, og vegetasjoner som legger seg inntil master bidrar til å øke fuktigheten i tremaster [29] [3]. Ved nedbør indikerer det at luften har en relativ fuktighet på 100% [3]. Luft har evne til å ta opp ytterligere vanndamp dersom relativ luftfuktighet er under 100%. Når luftfuktigheten har en verdi på 100% eller mer resulterer det i skydannelse, tåke og/eller nedbør. I forbindelse med undersøkelse av råteutvikling i trestolper i tidligere forskning er det valgt å ikke inkludere miljøfaktoren nedbør på grunn av usikkerheter rundt nedbørmengdens innflytelse på jordbåndsrate [28]. I denne analysen er det valgt å anslå miljøpåkjenning basert på nedbørmengde til tross for usikkerhetene. Nedbørsdata er hentet ut ifra bakgrunnskart tilpasset ArcGIS lastet ned fra Meteorologisk institutt [3]. Kartet inneholder geografifestede informasjon om normalnedbørmengde per år beregnet fra en 30-års periode.

Vinddata er hentet ut fra Meteorologisk Institutt på samme måte som temperaturdata [5]. I likhet med temperatur er det basert på fire observasjoner per døgn registrert ved 28 ulike værstasjonene. De fire registrerte observasjonene på vindhastigheter fra et døgn summeres opp

til å gi vindsum per døgn. Vindretning måles i grader basert på visuell observasjon og instrumentelle målinger. Visuell måling kan slå fast vindretning med  $\pm 10$  grader og instrumentelle med  $\pm 1$  grader [3]. Her er det inkludert døgnobservasjoner fra 17 ulike målestasjoner rundt omkring i Sør-Trøndelag i opp til 10 års periode for værstasjoner som har vært i drift i lengre tid. Fra værstasjonene er det registrert fire datamålinger per dag til faste tidspunkt i likhet med andre værdata [5]. Ved Meteorologisk institutt blir vindhastigheten som oftest målt i en høyde på 10 meter over bakken. Vindhastigheten er gitt med gjennomsnittsverdi for målinger registrert fra de 10 siste minuttene før observasjonen. Det blir beregnet middelverdier av vindhastighet for vindkast som varer i mer enn 3 sekunder, dette i samsvar med den internasjonale standard får måling av vind [3]. Vindretningsdata som er tilgjengelig for hver av værstasjonene er angitt i Tillegg C. I behandling av observasjoner fra værstasjonene er vindretning delt opp i sektorer på 1 grader som illustrert i Figur 3.2a. I databehandlingen er vindhastigheter registrert for hele 10-årsperioden for hver av værstasjonene summert opp for de ulike vindretningene i en forenklet form for vindroser som vist i Avsnitt 3.1.1.



(a) Fordeling av vindsum i ulike vindretninger oppgitt i %

(b) Vindrose [4]

Figur 3.2: Vindsum og vindretning.

Data for grunnforhold er hentet ut fra Skog og landskap [8]. I denne analysen er det brukt arealressurskart i målestokk 1:5000 (AR5) utgitt gjennom Geovekst og Norge digitalt. AR5 deler inn landarealet etter parametere arealtype, skogbonitet, treslag og grunnforhold [10]. Disse fire parametere utgjør i kombinasjon 106 ulike grunnkategorier [16]. Se Tillegg A for detaljert oversikt

over de ulike kategoriene og klassene. AR5-kartet brukes også til å gi informasjon om bonitet. Ved utledning av forurensningsdata er det brukt AR5 og meteorologisk data. Informasjon om luftbrakt forurensning er utledet fra rapporter fra NILU [7]. Rapportene viser at:

- Temperatur: Lav temperatur bidrar til økning i fyring og høy forurensning.
- Regn: Reduserer forurensning ved at nedbør renser lufta. Øker forurensning ved at det frakter støv til veier.
- Vind: Blåser vekk støv og NO<sub>2</sub> i lufta slik at forurensning går ned, men virvler opp nytt støv og på denne måten går forurensning opp.
- Grunntype: Samferdselsområder (veier) bidrar med forurensning ved riktig regn- og vindforhold. Fyring ved lavtemperatur skjer ved bebygde strøk. Det vil si at det vil være høyest konsentrasjon av forurensning ved samferdselsområder og bebygde områder.

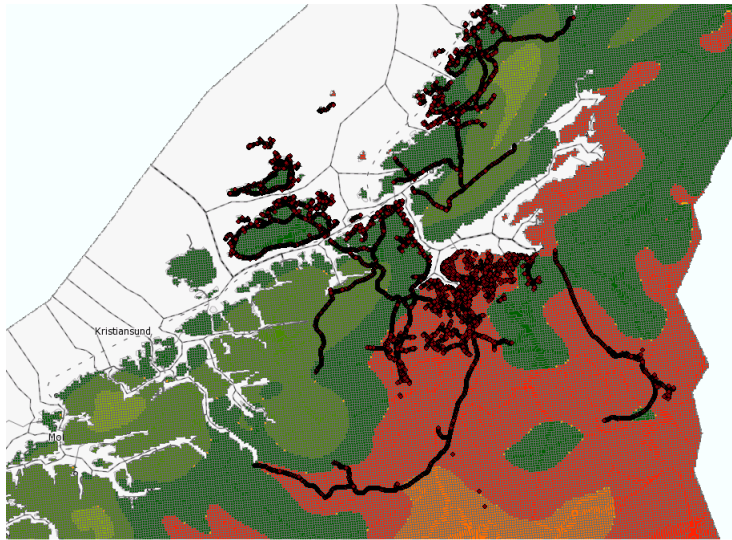
Saltdata kan beregnes ut ifra avstanden fra masten til kystlinjen basert på TEs erfaring [18]. Påkjennning fra salt vil også være avhengig av faktorer som vind og nedbør. Vind og nedbør bidrar til å spre saltholdig luft fra kysten til mastene. Vind bidrar til mekanisk kraft i overføring av luftmassen og nedbør kan rense luften for salt.

### 3.1.2 Databehandling av miljødata i ArcGIS

I dette prosjektet er det brukt Esri's ArcGIS Desktop 10.1 med lisensnivå Desktop Standard (ArcEditor) i forvaltning av geografiske informasjoner i en database. Ved TEs NetBas er det i totalt registrert 66 180 master [14]. Koordinater for 23 754 master er importert fra NetBas til ArcGIS (per juni.2013) for henting av relevant miljødata for de ulike mastene.

Nedbørskart er lastet ned fra Meteorologisk institutt som bakgrunnskart tilpasset ArcGIS [3]. Det importerte kartet er av rasterdatasett med flyttall, celle størrelse 1000 m x 1000 m. Flyttall er tall uttrykt ved hjelp av en desimalbrøk og en eksponent [1]. Tallet 1000 kan for eksempel skrives som  $1,0 \times 10^3$  hvor verdien er representert med desimaltallet 1,0 og eksponenten verdien 3. Flyttall brukes typisk i datamaskiner for å representere reelle tall. Her vil datasettet bli konvertert til polygoner for at det skal mulig å utføre videre analyser på kartet. For at kartet skal bli konvertert til polygoner forutsettes det at datasettet er gitt med heltall. Et tall uten desimalbrøk regnes som heltall. Funksjonen "Raster Math" brukes for å konvertere flytverdier i

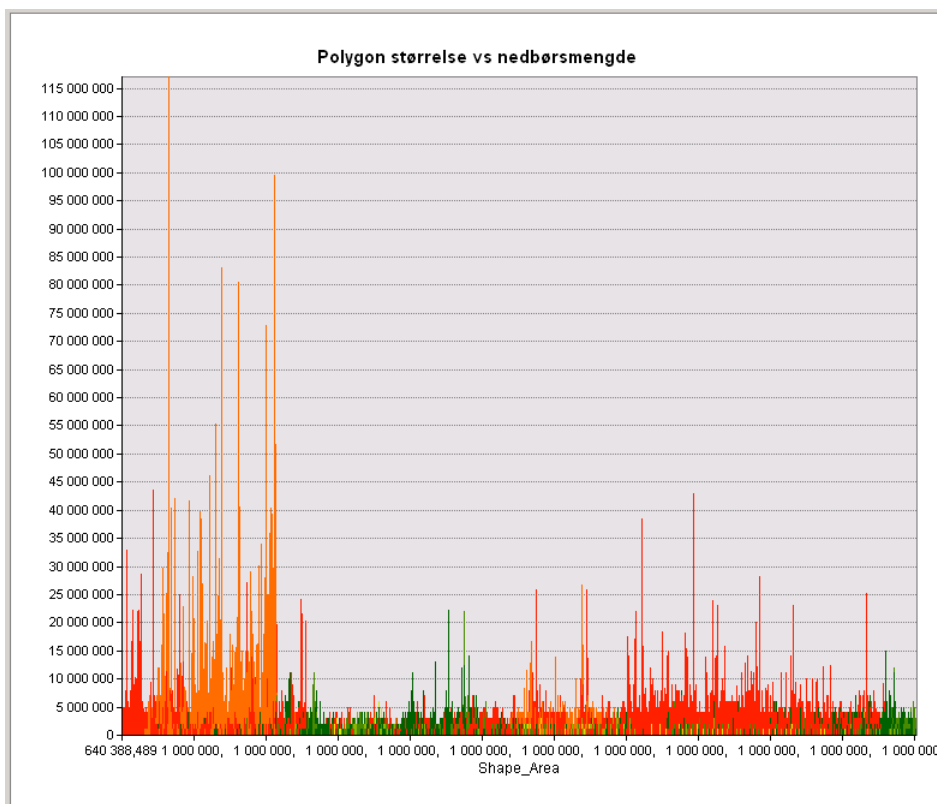
rasterdatasettet til et sett med heltall. “Conversion”-funksjonen brukes for å konvertere rasterdatasettet med heltall til polygoner. Nedbørskart i polygoner er som vist i Figur 3.3.



Figur 3.3: Kartlag med informasjon om variasjon i nedbørmengde over området importert fra Meteorologisk Institutt [3].

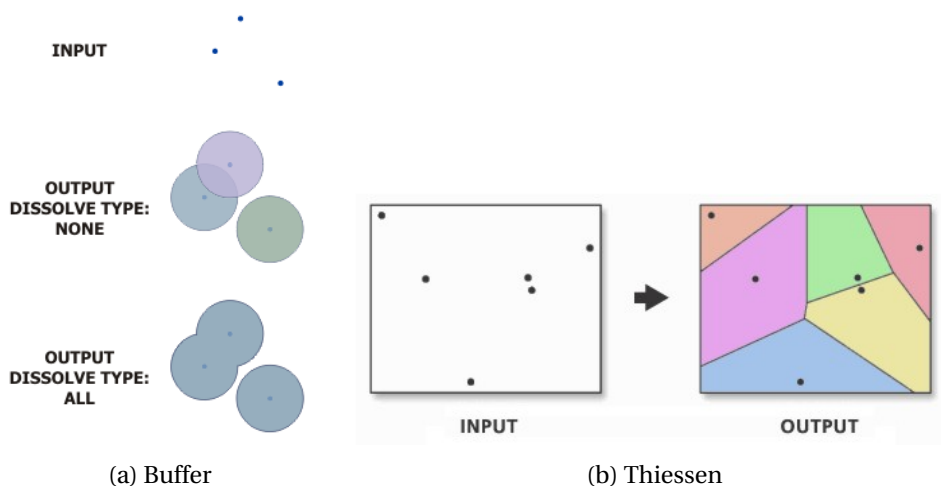
Polygonene i Figur 3.3 er av ulike størrelser ettersom nabopolygoner med samme verdi automatisk blir slått sammen med funksjonen “Conversion”. I ArcGIS er det en applikasjon som kan brukes til å generere statistikk over variasjon i polygonstørrelse og sette opp en oversikt over antall polygoner med de ulike størrelsene. En slik statistikk er generert for nedbørkartet i Figur 3.3 og er som vist i Figur 3.4. Nedbørinformasjon fra nedbørpolygoner legges til maste-punkter med funksjonen “Spatial join”.





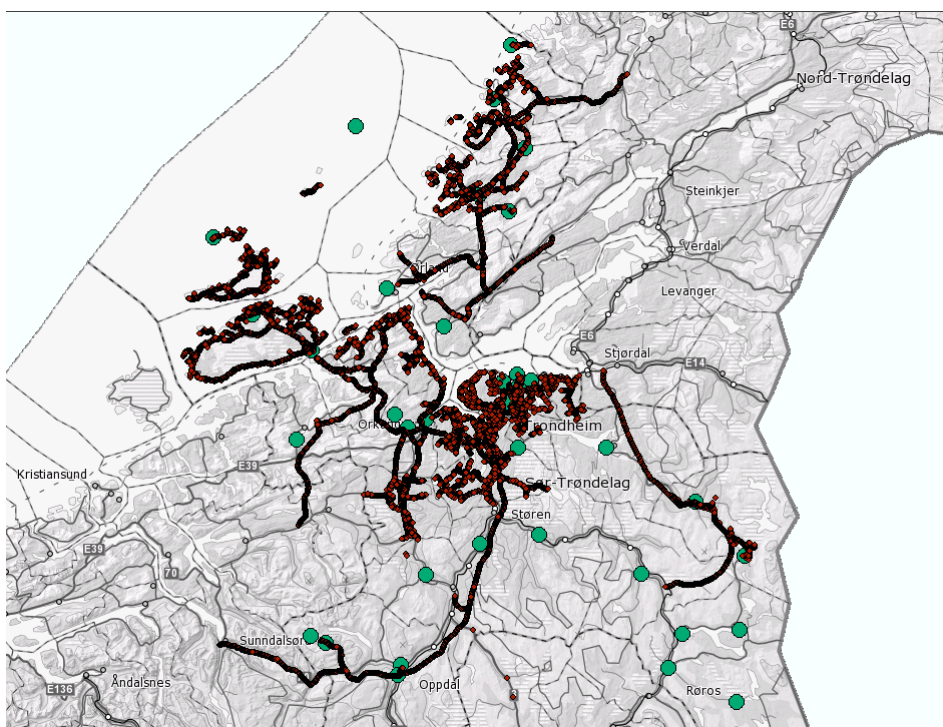
Figur 3.4: Statistikk over frekvensen av ulike polygonstørrelser i kartlag som vist i Figur 3.3 generert i ArcGIS.

Varme- og vindsum er beregnet basert på data fra værstasjoner i Sør-Trøndelag. Observasjonene er målt for et geografisk punkt. Ved hjelp av interpoleringsverktøy i ArcGIS er det mulig å anslå værddata for et større område basert på punktdataene. Varme- og vindsum er beregnet basert på data eksportert fra Meteorologisk Institutt som beskrevet i Avsnitt 3.1.1. Beregningen er utført i Excel og importeres til ArcGIS ved analyse. I ArcGIS er det opprettet en geodatabase slik at relevante celler fra ulike Excel-ark kan importeres inn til ArcGIS og legges inn som geodatabase tabell. Resultatet er at data fra de ulike værstasjonene er importert til i ArcGIS som punktdata. Videre er det behov for å interpolere punktdataene til å gi informasjon for forsyningsområdet. Til dette er det blant annet mulig å bruke funksjonen "Buffer" eller "Thiessen polygoner".



Figur 3.5: Uilke interpoleringsverktøy [1]

For å bruke “Thiessen polygoner” krever det et høyere lisensnivå på ArcGIS, derfor er det valgt å bruke funksjonen “Buffer”. Funksjonen “Buffer” er tilgjengelig for alle lisensnivåene [1]. Med nåværende lisensnivå i ArcGIS er det kun mulig å interpolere data radially utover. Med høyere lisensnivå vil det også være muligheter å benytte seg av flate eller firkantede bufferfigurer. Det er muligheter for å importere data direkte til ArcGIS som Excel-fil, men i denne omgang er den importert som CSV-filer. For å importere Excel-filer til ArcGIS må det enten være installert Excel 2007 eller The 2007 Office System Driver i systemet. Resultatet er som vist i Figur 3.6. Her er værstasjoner representert med grønne punkter på kartet.

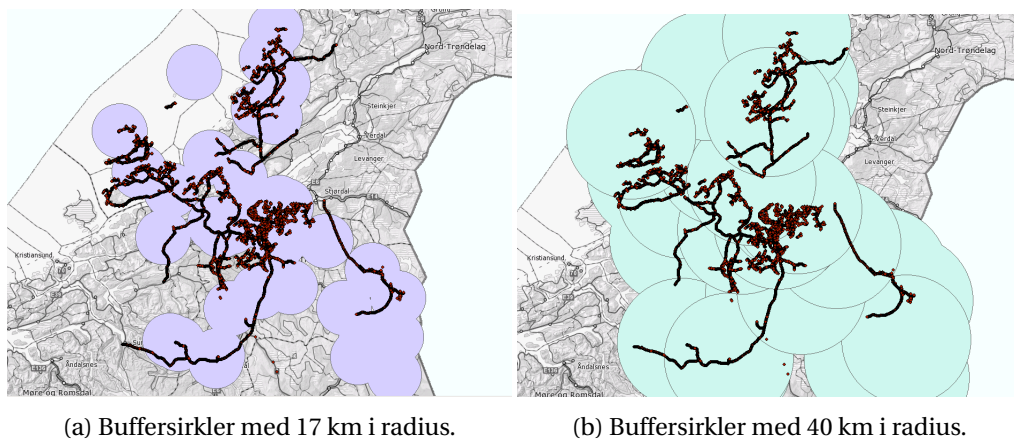


Figur 3.6: Geografisk plassering av de 22 værstasjonene som importerer som punkt-data importert fra Meteorologisk Institutt [5].

Ved hjelp av funksjonen “Buffer” er punktdataene interpolert radially utover forsyningsområdet [1]. Størrelsen på radialene kan stilles inn etter behov. Buffersirkler av optimal størrelse vil kunne dekke alle mastene i forsyningsområdet med minimal overlapping mellom de ulike radialene. Overlapping av bufferradialer kan føre til usikkerheter i modellen. For å sette en god størrelse på bufferradialer er det gjort målinger av avstand mellom noen av værstasjonene i ArcGIS. Buffersirkler er interpolert radially ut ifra værstasjonene slik at informasjon om avstand mellom værstasjonene vil kunne gi en pekepinn på hvor store bufferradialene eller buffersirklene bør være. Avstandene kan måles med funksjonen “Measure”. Ut ifra dette er det valgt buffersirkler med radius på 17 km for at det skal være minst mulig overlapping mellom sirkelene. Som Figur 3.7a viser er det kun noen overlappinger mellom sirkelene, men til gjengjeld er det flere master som ikke vil være mulig å sette bufferdata for ettersom buffersirklene ikke dekker disse områdene. Det er valgt å sette værstasjonsdata på flere master på bekostning av mer overlapping mellom sirkelene, slik at radius på buffersirklene er utvidet til 40 km.

Som Figur 3.7b viser har det vært mulig å dekke over de fleste av mastene ved bruk av buf-

fersirkler av radius 40 km, men dette er utført på bekostning av mye overlappende områder. Ved de overlappende områdene vil master få tildelt en verdi fra de ulike sirklene ved hjelp av funksjonen “Dissolve”. “Dissolve” er en integrert funksjon i “Buffer” som håndterer de overlappende buffersirklene [1]. Resultatet er at mastene i de overlappende områdene får verdi fra en av de overlappende buffersirklene. Verdien er valgt automatisk i ArcGIS. På denne måten kan store buffersirkler bidra til usikkerheter i modellen for de mastene som er dekket med mange overlappende buffersirkler, men små sirkler vil igjen kunne føre til datamangel for flere master. Utfordringer i forbindelse med generering av buffersirkler samt forslag til løsninger er beskrevet i detaljer i Avsnitt 3.5.2. Data fra buffersirklene legges til mastepunkter med funksjonen “Spatial join”.



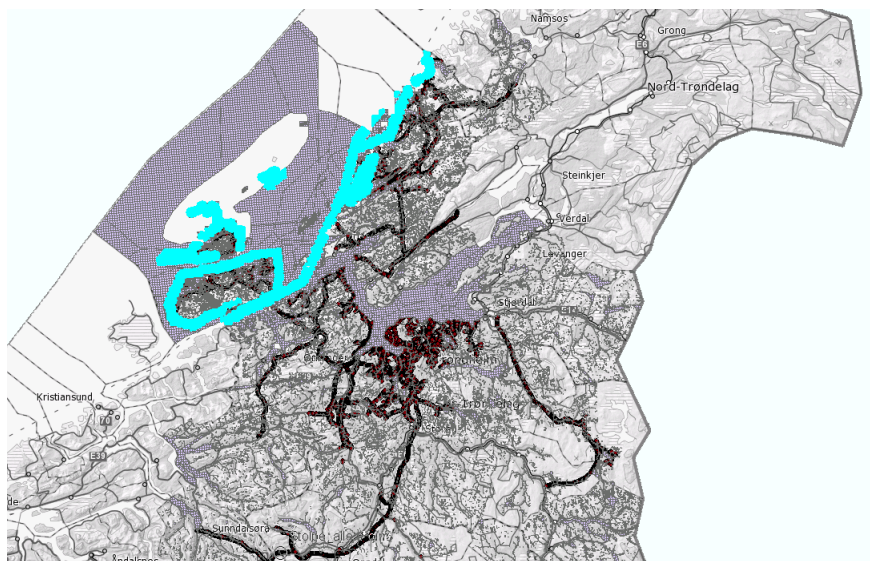
Figur 3.7: Værstasjon med ulike størrelser i buffersirkler.

Vinddata er behandlet i ArcGIS på samme måte som for temperatur ved at de legges til værstasjoner og interpoleres over forsyningsområdet ved hjelp av “Buffer”-analyse. Med denne framgangsmåten har det vært mulig å legge til data for vindsum og dominerende vindretning til de ulike mastene. Vindsum per dag og dominerende vindretning er beregnet basert på vinddata importert fra Meteorologisk Institutt som beskrevet i Avsnitt 3.1.1 [5]. Påkjenning fra vind på master er avhengig av vindretningenretning. Derfor er det valgt å beskrive påkjenning fra vind på master med den  $Vind_{per\ retning}$ . Som vist i ligningen under er  $Vind_{per\ retning}$  gitt som produktet av vindsum per dag gitt i m/s og dominerende vindretning gitt i %.

$$Vind_{perretning} = Vindsum_{per\ dag} * Vindretning_{Dominerende} \quad (3.1)$$

For å legge til data for grunnforhold på master er det importert FKB/AR5-kart fra TEs data-system. Kartet er importert som vektorkart med 936 968 polygoner og 106 ulike AR5/FKB-kombinasjoner. De ulike AR5-kombinasjonene er beskrevet i Tillegg A. Data for AR5-kombinasjonen legges til master med funksjonen “Spatial join”. Ved utledning av salt- og forurensningsdata er det behov for informasjon om avstand mellom master og AR5-kombinasjonene “Vann”, “Samferdsel” og “Bebygd”. Det er utledet egne kartlag for hver AR5-kombinasjon. Master er representert i et eget kartlag med punktdata. I denne analysen er det valgt å bruke funksjonen “Join” til å beregne avstanden mellom punktdata og punktets nærmeste polygon i kartlagene “Vann”, “Samferdsel” og “Bebygd”.

I FKB/AR5 er det et kartlag med oversikt over vannpolygoner uten at det skilles mellom fersk- og saltvann. Ved sammenstilling av saltdata er det behov for å begrense analysen til saltvannsområder med antagelsen om at det kun er vannpolygoner langs kysten og utover havområdet som bidrar med salt til luften. Vannpolygonene som regnes som saltvann og som brukes i analysen er merket på kartet som illustrert i Figur 3.8. Som Figur 3.8 viser er det kun de vannpolygonene i havområdet som ligger i nærheten av master som er merket ut. Undersøkelsen utføres ved at det blir laget et nytt kartlag med kun de markerte saltvann-polygonene ved hjelp av funksjonen “Select”. Deretter er det brukt funksjonen “Join” til å beregne avstanden mellom mastepunkter og de markerte polygonene for saltvann.



Figur 3.8: Vannområder i TES forsyningsområdet markert med lilla polygoner basert på data fra AR5 [10]. Vannpolygonene som antas å være saltvann er merket med lyseblå.

Ferdigbehandlede data i ArcGIS eksporteres ut til Excel som CSV-filer med funksjonen “Export Feature Attribute to ASCII (Spatial Statistics)”. Det er ingen applikasjon/verktøy i ArcGIS som kan brukes til å eksportere attributt tabeller direkte til Excel, men det er mulig å laste ned programmer som gjør det mulig. For å bruke disse programmene er det behov for å sette opp Excel eller The 2007 Office System Driver i systemet, men ettersom det ikke er Excel installert på det eksterne skrivebordet og det krever tillatelse fra administratoren for at dette kan bli gjort noe med er det valgt å ikke eksportere data direkte til Excel. Data eksporteres som CSV-fil hvor at filene konverteres til data tilpasset Excel i Excel.

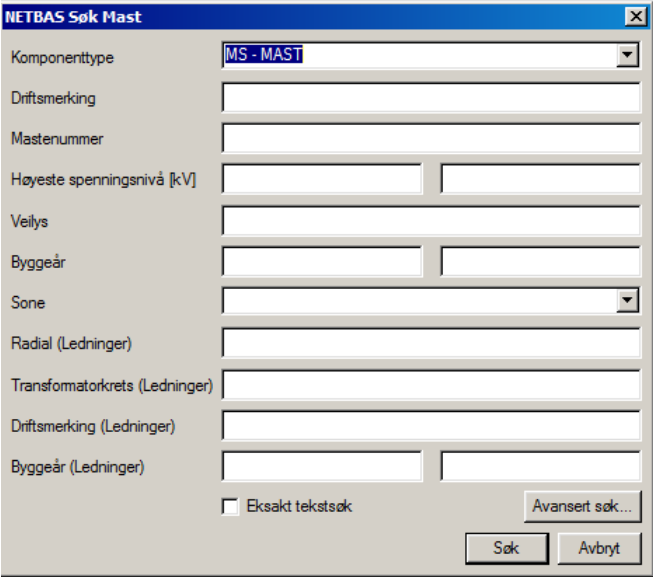
## 3.2 Etablering av datagrunnlag med NetBas

### 3.2.1 Framgangsmåte for uthenting data fra NetBas

Dette delkapitlet beskriver framgangsmåten for sammenstilling av NIS-data. For etablering av datagrunnlaget i NIS er det brukt programmet NetBas. NetBas er beskrevet i dette delkapitlet. De ulike NIS-dataene som hentes ut er beskrevet. Usikkerheter i utføring av arbeidet er

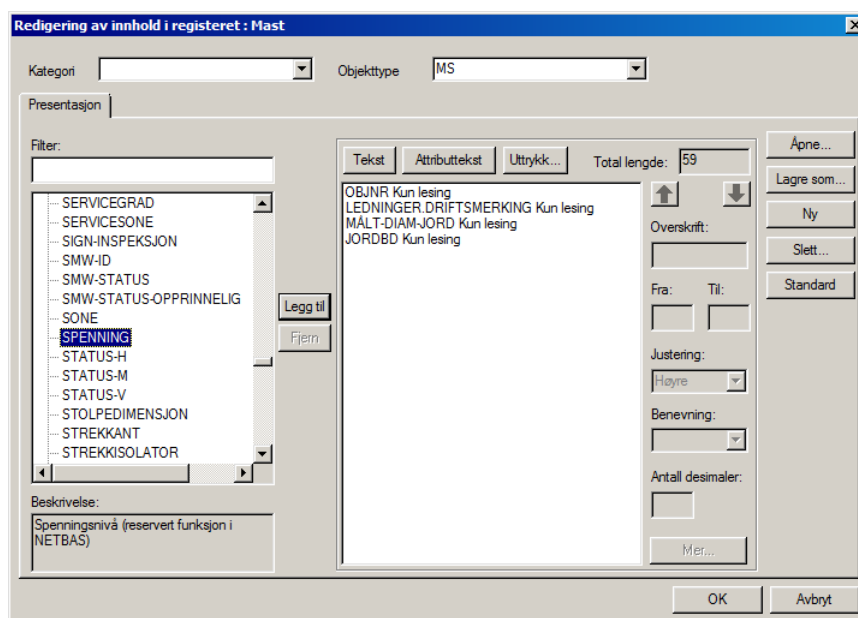
også beskrevet. Powell NetBas er et GIS-basert nettinformasjonssystem som gir anleggsinformasjon, støtte til effektiv planlegging og analyse- og avgjørelsesmodeller [6]. Det sentrale nettarkivet holder orden på all relevant informasjon om komponent og anlegg. Resultat og data er presentert etter behov i kart, grafer, linjediagram og oppslag. Alle linjer, kabler og transformatorer er digitalisert. Komponentene er stedfestet hovedsaklig fra kart i målestokk 1:50 000, men også fra 1:5 000. Noe av disse nøyaktig koordinatbestemt. NetBas er et program som ofte brukes ved norske nettselskaper i forbindelse med de oppgavene som nevnt ovenfor, men funksjonaliteter og egenskaper innenfor programmet kan variere ved de ulike nettselskapene. I dette prosjektet er det brukt NetBas 11 installert ved TE.

En måte å jobbe på er å hente ut data for de ulike nettkomponentene fra sentralarkivet ved at de eksporteres som Excel-filer. Ved uthenting av data er det mulig å velge komponent og egenskaper som skal vises for de ulike komponentene som vist i Figur 3.9 og Figur 3.10. Data søkes opp slik som vist i Figur 3.9. Ved datasøk er det muligheter for å begrense mengde søkeresultat ved at resultatet filtreres og tilpasses basert på egenskaper som spenningsnivå, byggeår også videre. Etter at søkeresultatene kommer opp i en liste så vil det være muligheter for å velge egenskaper som skal vises for de ulike nettkomponentene i resultatet. Dette kan gjøre som vist i Figur 3.10. Som Figur 3.10 viser er det her valgt å vise egenskaper som objektnummer, driftsmerking på ledninger også videre.



The screenshot shows a window titled "NETBAS Søker Mast" with a search criteria form. The "Komponenttype" dropdown is set to "MS - MAST". Other fields include "Driftsmerking", "Mastnummer", "Høyeste spenningsnivå [kV]", "Veilys", "Byggeår", "Sone", "Radial (Ledninger)", "Transformatorkrets (Ledninger)", "Driftsmerking (Ledninger)", and "Byggeår (Ledninger)". There is a checkbox for "Eksakt tekstsøk" and buttons for "Avansert søk...", "Søk", and "Avbryt".

Figur 3.9: Her er det gjort et søk på objekttypen mast.



Figur 3.10: Her velges egenskapene som skal vises for objekt(et/ene).

### 3.2.2 Beskrivelse av uthentet data fra NetBas

I dette prosjektet utføres undersøkelsen på data som finnes i TE sitt NetBas sentralarkiv. Det antas at det er betydelig mengde med innsamlet data som er arkivert i andre elektroniske former og på papir/i perm i tillegg til de som finnes i NetBas. I denne analysen vil kun det kun bli brukt nettinformasjon som er arkivert i NetBas, det vil ikke bli tatt hensyn til data lagret i andre formater. I forbindelse med analysen er det importert data fra systemet inn til Excel og ArcGIS. Dataene er importert fra sentralarkivet i NetBas hos TE 03-2014.

- Objektnummer på mast
- Spenningsnivå på mastene
- Byggeår på konstruksjon
- Impregneringsmetode
- Mastekonstruksjon
- Material(er) som masten består av



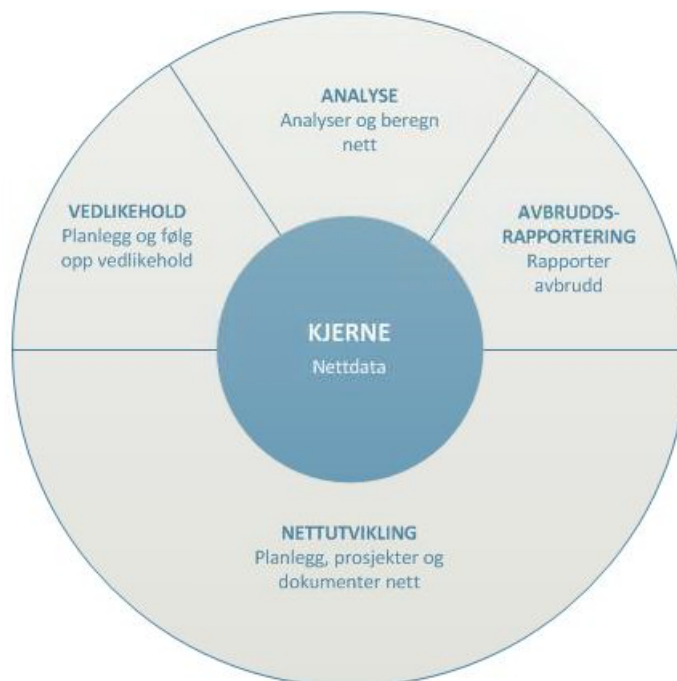
- Objektnummer på ledninger(HK og LL) som støttes opp av masten
- Linjerekning (LS) masten hører til
- Fundamenttype
- Tilstand på komponenten, type tilstandsvurdering som har blitt foretatt med dato for tilstandsvurdering
- Sone

Alle nettkomponentene får generert et objektnummer automatisk i NetBas når de legges inn i systemet. Komponentene er gitt med informasjon om det maksimale spenningsnivået de typisk vil kunne jobber under og byggeår som er det året de ble satt ut i drift. "Sone" gir informasjon om hvilken kommune de ulike nettkomponentene hører til. Komponenttype mast er gitt med informasjon om impregneringstype, konstruksjonstype, matetial og fundamenttype.

I forbindelse med vedlikehold har det blitt opprettet linjerekning (LS) hvor et utvalgt antall delkomponenter til linjen er samlet [37]. Linjerekning er ikke en fysisk komponent, men et samlingseier som er blitt brukt til å gruppere linjene for å enklere drive vedlikehold. Delkomponenter som per 03.05.2014 står registrert under LS er kabelskap(KB) og master(MS) [14]. For å illustrere linjer i NetBas er det brukt samlingseier ledning. Samlingen inkluderer komponenttypene luftledning(LL), hengekabel(HK) og kabel(KA). Regelen for at komponenter kan defineres som ledninger er at de skal være en sammenhengende ledning så lenge det ikke er noe avgreininger til andre objekttyper [37]. Ved forsyning av lavspennnett vil det være nødvendig med en splitting av ledninger i NetBas. I tillegg er det en relasjon mellom MS (Mast) og de ulike kablene/ledningene. Hvis en ledning strekker seg over en eller flere master så er det mulig å få presentert alle mastene som er knyttet til luftledningen.

En linjerekning kan bestå av flere seksjoner med ledninger avhengig av behovet for forgreininger og blanding av ulike ledningstyper innenfor linjen, derfor er det ofte flere master i en linjerekning enn i en ledning. Derfor antas det at det skal være mulig å utlede flere data ved hjelp av informasjon om ledninger enn linjerekning. Det er mulig å føre statistikk over delkomponenter som er knyttet til de ulike linjerekningene. Mye av informasjonene står under oppslaget for hver enkelte komponent. For å få opp riktig oppslagsbilde er det viktig å sette NetBas i riktig modul [37]. Det er fire ulike moduler i NetBas 11 brukes ved TE. De fire modulene og deres funksjoner er som beskrevet i Avsnitt 3.2.2. Oversikt over master tilknyttet til en

linjestrekning kan leses under «Oppslag» for LS i registret forutsatt at NetBas er satt i vedlikeholdsmodulen. Her er det valgt å eksportere nettdata fra arkivet/registret til Excel, dette kan gjøres uavhengig av modulen NetBas er i.



Figur 3.11: De fire modulene i NetBas [14].

I løpet av de siste årene er det også registrert informasjon om tilstand på komponenter. Tilstand er gitt med tilstandsnivå fra en til fem som beskrevet i Figur 2.5. Ulike typer tilstandskontroll kan bli utført for de ulike delkomponentene i et mastesystem noe som er beskrevet i og det finnes forskjellige typer av feil. Informasjon om type feil, alvorlighetsgraden på feilen gitt med tilstandsnivå og tidspunktet for når vurderingen er foretatt er registrert i NetBas.

### 3.3 Kombinere data fra NetBas og ArcGIS

Teknisk mastedata fra TEs NetBas databasen og miljødata fra ArcGIS importeres inn til Excel for at det skal bli mulig å foreta tilstandsvurdering av mastene. I NetBas databasen er det i søkeresultatet kommet opp 23 671 master. Master fra NetBas kan identifiseres ved hjelp de

unike objektnumrene som automatisk blir generert for master etterhvert som de legges inn i NetBas-systemet. Det skal også være satt driftsnummer på de ulike mastene. Det er forskjell på standard i hva slags system som brukes når driftsnummer settes på master avhengig av nettselskap mastene hører til [37]. I Trondheim er det etablert system for unik driftsmerking der driftsnummer som brukes er av formatet RL, HL og LS + 4 siffer, mens på for eksempel Frøya brukes det ikke unike driftsmerker. Ekspertpersonell ved TEN beskrev grunnen til at det per i dag ikke er fått på plass noe form for system på driftsmerking av master som en konsekvens av sammenslåing av områder som tidligere har etablert ulike standarder. Det som på sikt skal bli standarden er MS+6 siffer. Da skal montørene merke alle master når de går inspeksjon/befaring og rapportere inn driftsmerking og koordinater.

Det er importert 23 754 master fra ArcGIS. Master fra ArcGIS har fått unike objektsnummer som er automatisk konfigureres i ArcGIS for de ulike mastene ved importeringen fra NetBas til ArcGIS. Hver av mastene har fått et nummer fra 1 til 23 754. Ved importering av mastedata fra NetBas til ArcGIS er det kun tatt med informasjon om mastekoordinater fra NetBas. For at analyse skal kunne bli foretatt med mastedata fra både NetBas og ArcGIS er det gjort et forsøk på å matche mastedata fra NetBas og ArcGIS ut ifra informasjon om mastekoordinater. Mastekoordinater som brukes i ArcGIS er direkte importert fra NetBas, men ved importering av mastekoordinater fra NetBas til ArcGIS er mastekoordinatene for de ulike mastene rundet av til to desimaler. Dette resulterer i forskjell mellom mastekoordinater som gitt i NetBas og ArcGIS med maksimalt  $\pm 0,01$  i både lengdegrad og breddegrad. Mastekoordinater fra NetBas og ArcGIS er sammenstilt ved hjelp av funksjonen Join i ArcGIS. Funksjonen legger sammen de mastene som har tilnærmet like koordinater. Ved hjelp av ArcGIS har det vært mulig å sammenstillede 23 667 mastepunktene.

### **3.4 Implementering av datagrunnlag basert på antagelser**

I dette delkapitlet er det utledet data basert på datagrunnlaget som er etablert ved hjelp av ArcGIS og NetBas etter beskrivelsen gitt i Avsnitt 3.1 og Avsnitt 3.2. Data er utledet basert på tidligere forskning og erfaring ved TE. I Avsnitt 3.4.1 er det utledet ulike teknisk mastedata basert på TE's erfaring [18]. I Avsnitt 3.4.2 er det utledet fundamentdata basert på erfaring fra tidligere forskning ved SINTEF [29]. I Avsnitt 3.4.3 er det utledet data i forurensning basert på

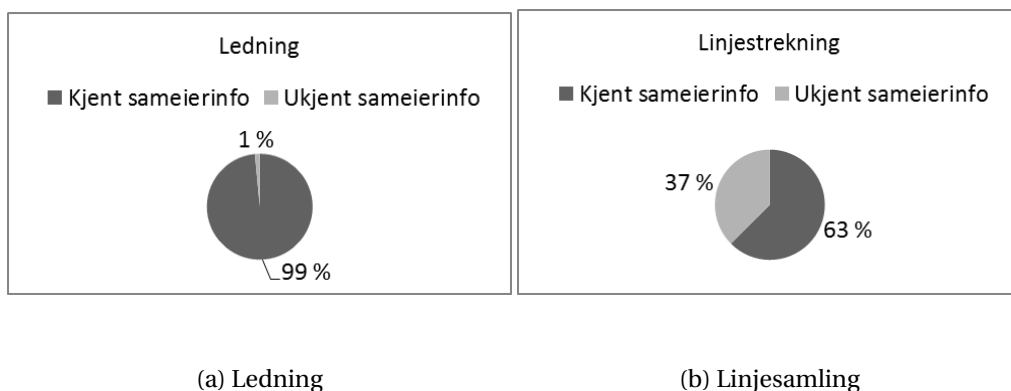
tidligere forskning i luftforurensing [7]. I Avsnitt 3.4.4 er det utledet ulike teknisk mastedata basert på TEs erfaring [18].

### 3.4.1 Utledning av data basert på radial

Ofte vil stolper være satt i drift samtidig i en radial og disse vil ofte kunne ha mye av de samme egenskapene, for eksempel byggeår, impregneringsmetode og materialeegenskaper [18]. En slik antagelse kan brukes til å utlede teknisk mastedata som er nevnt basert på et begrenset mengde med tilgjengelig mastedata. Her er det valgt å utlede data ved hjelp av informasjon om ledninger og linjesamlinger. Her er det gjort et forsøk på å utlede data basert på antagelsen om det vil være samme byggeår, impregneringsmetode og material på:

- Alle mastene som hører til en ledning.
- Alle mastene som hører til en linjestrekning.

Det er begrenset oppdatering på informasjon om tilknytning av mastedata til ledninger og linjer, derfor er det i dataregistret mangel på informasjon om ledninger og linjestrekning som de ulike mastene hører til. Oversikten over omfanget av informasjonmangel er som vist under i Avsnitt 3.4.1 og Avsnitt 3.4.1. Grafene under viser at det er bedre kvalitet på innlagt informasjon av ledning enn linjestrekning i NetBas dataregister.



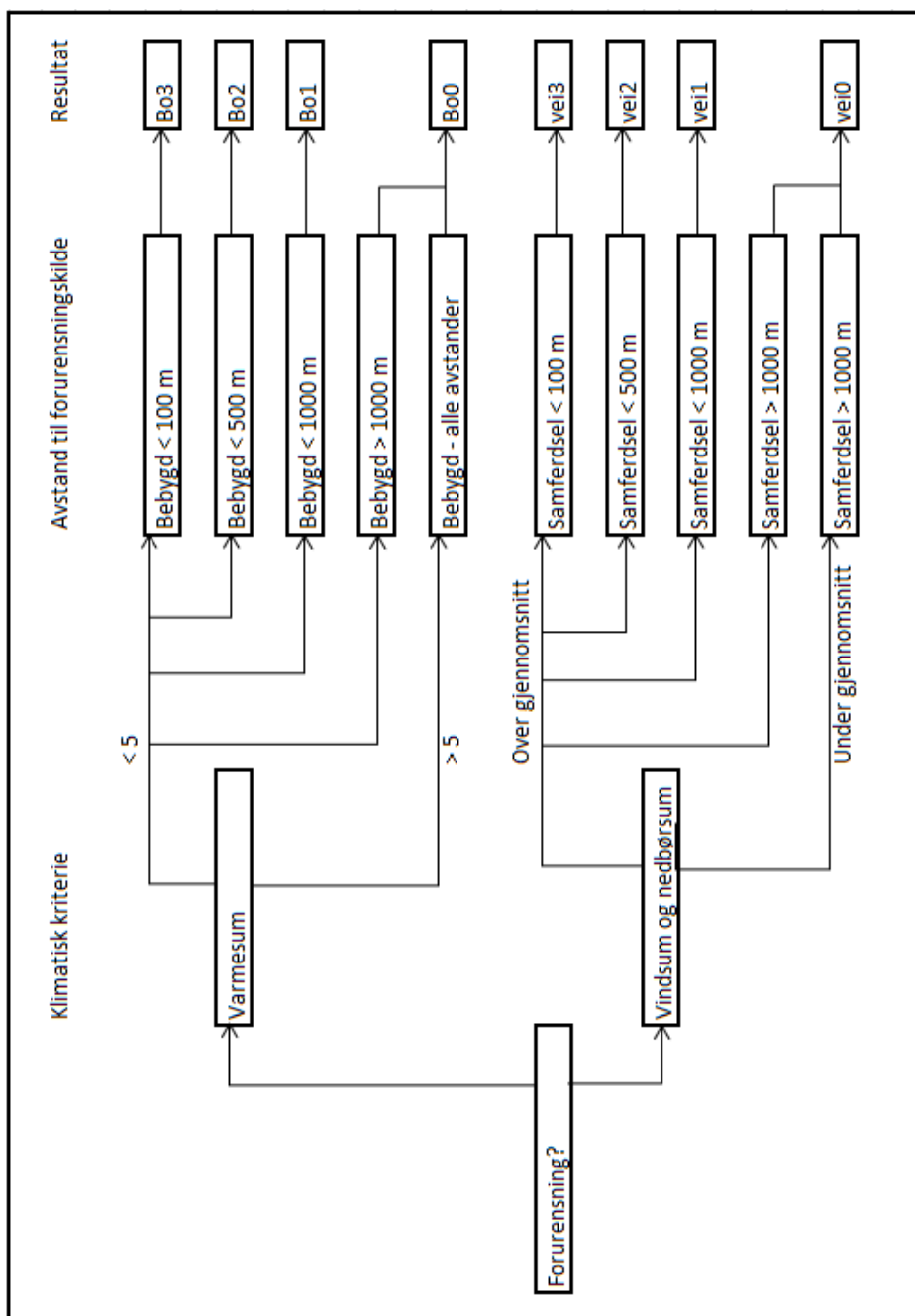
Figur 3.12: Antall mastedata som er registrert ved de ulike samleiere ledning og linjesamling [14].

### 3.4.2 Utledning av fundamentdata fra GIS-data

I Avsnitt 2.2 er det gitt en beskrivelse av sammenhengen mellom valg av mastefundament og grunnforhold. Som beskrevet i Avsnitt 2.2 er det som regel brukt fjellstag på fjellet og på jordsmonn brukes det betongfundament eller skoring av masse, pukkk og stein. Ut ifra dette er det valgt i dette prosjektet å utlede fundamentdata ut ifra tilgjengelig grunndata. I denne analysen er det brukt grunnkategorier definert i TE sin trestolpeanalyse [12]. Her utledes data basert på antagelsen om at alle mastene som står på grunnforhold av kategorien “Fjell” har fundamenttype fjellstag. Master som ikke står på grunnstype “Fjell” antas å ha fundamenttype skoring med masse og pukkk som gjerne brukes på jordsmonn. Dette inkluderer grunntypene “Fjell/jord”, “Jord”, “Dyrket mark”, “Grus”, “Myr”, “Stein” og “Jord/Myr”.

### 3.4.3 Utledning av forurensningdata fra GIS-data

Som beskrevet i Avsnitt 2.2 er det mulig å estimere forurensningsnivået i området ut ifra informasjon om vind, nedbør og temperatur. I tillegg vil avstanden mellom bebygde områder, veier og den gjeldende masten ha betydning for mengde forurensning som en mast eksponeres for. Forurensningsfaktor er definert basert på modellen som illustrert i Figur 3.13.



Figur 3.13: Modellen for utledning av forurensningsfaktor.

Data er utledet basert på rapport fra luftkvalitet.info med beskrivelse av parametere som bidrar til forurensning. Informasjon om vind og regn integreres i modellen med gjennomsnitts-

verdier for hvert av de miljøfaktorene. Dette er som indikert i «Over gjennomsnitt» og «Under gjennomsnitt» som er gitt i flytdiagrammet i Figur 3.13. I modellen antas det at det er mye vind dersom vindsum ved den gjeldende masten er over den totale gjennomsnittlige vindsummen. Gjennomsnittsverdi for vindsum er beregnet basert på datagrunnlaget samlet inn ved hjelp av GIS som beskrevet i Avsnitt 3.1). Det er brukt samme antagelsen og framgangsmåte ved implementering av gjennomsnittlig nedbørmengde i modellen. Avstand mellom master og områder med mye forurensning antas å være viktige parametere for å anslå forurensning ved mastene som beskrevet i Avsnitt 2.2. På dette grunnlaget er avstand til bebygde- og samferdselsområder inkludert som betingelser i modellen for å anslå mengde forurensning ved mastene.

Det estimerte forurensningsnivået angis med koder som "vei1", "bo1" og lignende. Koden gir informasjon om forurensningskilde og mengde på forurensningen. "Vei" indikerer at forurensningen stammer ifra samferdselsområder og "Bo" fra bebygde strøk. Mengde forurensning oppgis med faktorer fra 0 til 3. Faktor 0 tyder på at det er lite eller ingen forurensning og når faktoren er 3 er det svært mye forurensning.

#### 3.4.4 Utledning av ulike data basert på TEs erfaring

Det er utledet data basert på intervju med ekspertpersonell fra TE [18] i impregneringmetode, konstruksjon og materialdata.

Det er valgt å utlede data for impregneringsmetode basert på TEs erfaring med tilgjengelig data fra NetBas [18] [14]. I følge er det brukt har kreosotimpregnering på 99% av trestolpene i TE regionalnettet [18]. De resterende antas å ha saltimpregnering. Linjen Sagberg-Buvika som ble bygd i 1977 er et av unntakstilfellene som finnes [18] [14]. Det var vanlig å bruke kreosotimpregnering fram til 1990-tallet; fram til da hadde ikke produsentene oversikt over innholdet i kreosotimpregneringen. Med den voksende miljøbevegelsen er det kommet i medias søkelys at kreosot inneholder kreftfremkallende kjemikalier [35]. Derfor er det gjort forsøk på å benytte seg av alternative impregneringsmetoder. Saltimpregnering på linjen Sagberg-Buvika er utført på dette grunnlaget [18]. Saltimpregneringen som brukes oftest er CCA; en kjemisk sammensetning av kobber, krom og arsen [18]. CCA skal i utgangspunkt være et godt alternativ til kreosot med hensyn til effektivitet i å redusere råteutvikling, men etterhvert er det påvist at

også CCA inneholder skadelige kjemikalier. Arsenforbindelser er giftig for mange organismer i små konsentrasjoner og kan forårsake kreft [35]. Saltimpregneringen som brukes på trestolper inneholder typisk mindre kjemikalier enn “vanlige” saltimpregnering, men til gjengjeld er disse også mindre effektive i kamp mot råte [18]. Derfor er det valgt å fortsette med kreosotimpregnering fram til i dag, men kreosotimpregnering fra etter 1990-årene inneholder mindre kjemikalier enn tidligere. Mindre kjemikalier i impregneringen fører til at den kreosotimpregneringen fra de siste årene er forholdsvis mindre effektive med hensyn til råteprevensjon. Det antas at alle kreosotimpregnerte mastene etter rundt 1990 er av dårligere kvalitet enn de før 1990. Ut ifra informasjonen fra intervjuet vil utledning av data i videre analysen være basert på antagelser om at:

- Det er brukt saltimpregnering på Sagberg-Buvika-linjen. Informasjon om master knyttet til linjen er hentet ut fra NetBas.
- Det er brukt kreosotimpregnering ved alle de andre mastene i datagrunnlaget.
- Master med kreosotimpregnering og byggeår etter 1990 er av bedre kvalitet enn kreosotimpregnerte master før 1990. Informasjon om byggeår er hentet ut fra NetBas.

Det er utledet materialdata basert på TEs erfaring og NIS-data [18] [14]. Konsernet TrønderEnergi overtok Trondheim Energi Nett AS i 2010 og resultatet er dagens TrønderEnergi [13]. To ulike nettselskaper vil ofte ha ulike praksis. Slike forskjeller vil ofte tre frem ved sammenslåing av selskaper. I følge TEs erfaring er det brukt mye trestolper hos den tidligere TEN, ettersom trestolper er lett tilgjengelige og billigere enn stålmaster [18]. Svakheten med trestolpene er at de er sårbare for ytre påkjenninger og er utsatt for råte. Hos den gamle Trondheim Energi Nett er det brukt mye stålmaster. I følge TE var den tidligere TEN eier av et større nettstruktur med flere master enn Trondheim Energi Nett. Dette fører til større utgifter i forbindelse med investering, vedlikehold, drift og reinvestering av tremastene i nettet. Trondheim Energi Nett eier en mindre andel av nettet, og følgende færre master. Det antas at det har vært brukt stålmaster ved Trondheim Energi Nett av to sannsynlige grunner:

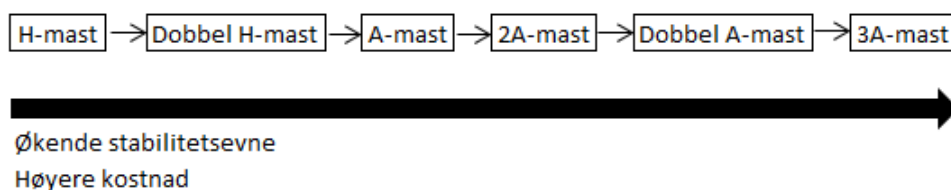
- Stålmaster er dyrere enn tremaster. Med et lite nett og behov for et mindre antall master er det lettere å ty til det alternativet som er dyrere, men som til gjengjeld byr på bedre kvalitet.
- Det er muligheter for at det tidligere er påkrevd stålmaster i by-regionen i Trondheim.



Ved den fusjonerte TE er det nå vanlig praksis å bruke stålmaster på steder med mye klimapåkjenning som typisk er kystområder [18]. Det er også valgt å bruke stålmaster på for eksempel Hitra og andre øyer av samme grunn. Basert på intervju med TE er det mulig å utlede materialdata ut ifra antagelsene under:

- Det er brukt stålmaterial på alle mastene ved tidligere Trondheim Energi Nett. Det vil si alle mastene innenfor forsyningsområdet til Trondheim Energi Nett fram til 2010 kan antas å være stålmaster. Dette kan utledes basert på informasjon om byggeår og sone fra NetBas.
- Stål på master plassert på øyområdene (eksempel Hitra). Dette er valgt å utlede data basert på informasjon om sone fra NetBas.
- De resterende mastene antas å ha vært bygd i trematerialer.

Det er gjort et forsøk på å utlede konstruksjonsdata basert på TEs erfaring og tilgjengelig NIS-data [18] [14]. Basert på erfaring fra TE finnes det rundt 60% H-master i TEs regionalnett per i dag og E-master brukes typisk i distribusjonsnett. I følge TEs erfaring velges mastekonstruksjonener etter behov for stabilitet. H-mast er den konstruksjonstypen med dårligst stabilitetsevne, men brukes ofte på grunn av den lave kostnaden, i og med at det regnes å være den konstruksjonstypen som inneholder mindre mengde med treverk og er enkel i konstruksjon. DH er en konstruksjonstype som har vært mye brukt tidligere, men er nå utkonkurrert av A-master og det settes ikke lenger opp nye DH-master i TEN. Viktig egenskap ved DH er at den har flere bein enn H-master og er dermed stødigere enn H-master. Likheten mellom DH- og A-master er at de har like mange bein, men A-master er mye stødigere enn DH. Stabilitetsevne, kostnad og hvor komplisert oppbyggingen er i de ulike konstruksjonene er som indikert i Figur 3.14. Figur 3.14 viser blant annet at H-mast er den mastetypen som antas å ha dårligst stabilitetsevne men har fordelene med at den er billig, og 3A-master er svært stabile men til gjengjeld fører til høye utgifter.



Figur 3.14: Rangering av ulike mastkonstruksjoner etter stabilitetsevne og kostnad basert på TEs erfaring [18].

Ved ytterligere behov for stabilisering vil det ofte bli benyttet barduner, strever og andre eksterne støttemekanismer som beskrevet i Avsnitt 2.2.2 [29]. Behov for stabilitet er avhengig av terrengforholdet med tanken på at det er større behov for stabilitet ved skråninger [18]. Linjetykkelsen og avstanden mellom mastepunkter er andre faktorer som påvirker behovet for stabilitet og valg av mastkonstruksjon. Tykke linjer vil ofte ha mer vekt og fører til større mekanisk belastning på konstruksjoner. Lang avstand mellom mastepunkter vil også føre til større mekanisk belastning på konstruksjoner. Gjennomsnittsavstand mellom mastepunkter er på 125 meter, men ofte vil det være behov for å ha stor avstand mellom master på grunn av fjorder og daler mellom mastepunkter eller ved områder med mye vind og islast. Høy mekanisk belastning kan kompenseres ved hjelp av master med god stabilitetsevne.

En enkel måte er å utlede data basert på informasjon om antall mastebein som er gitt i NetBas. I NetBas er det registrert informasjon om hvor mange mastebein det er ved de ulike mastkonstruksjonene [14]. I denne undersøkelsen er det valgt å utlede data som beskrevet i Tabell 3.1 basert på informasjon om antall mastebein ved ulike konstruksjoner som beskrevet ved SINTEF [29]. Utleddning av maste data som beskrevet i Tabell 3.1 er basert på usikkerheter. Master med to bein kan i praksis både være H- og A-mast, og både 2H-, DA- og 2A-master kan ha fire mastebein. Her er det valgt å anta H-master ved tilfeller hvor det er usikkerheter om en mast er av konstruksjonstype A eller H. Dette ettersom H-master antas å være den vanligste mastetypen, men også fordi H-master er den svakeste mastetypen, som beskrevet i Avsnitt 3.4.4 basert på TEs erfaring [18]. Svakere mastkonstruksjoner vil ha kortere levetid og tidligere behov for utskiftning som beskrevet i Avsnitt 5.1. Dette vil si at undersøkelsen kan være basert på antagelser om at nettet er i dårligere tilstand enn hva det faktiske forholdet er i virkeligheten. Et slikt valg vil kunne føre til god forsyningssikkerhet, men på bekostningen av økonomien med tanken på høyere sannsynlighet for unødvendige utgifter. Av samme grunn er det valgt å basere videreundersøkelse på at de mastene som gjenstår uten informasjon om

konstruksjon, etter innsamling av data i NetBas og utledning av mastedata basert på informasjon om mastebein, er H-master.

Tabell 3.1: Utledning av konstruksjonsdata basert på informasjon om antall mastebein. Antagelser er satt opp basert på tidligere forskning ved SINTEF og TEs erfaring [29] [18].

Antall mastebein	Anslått mastekonstruksjon
1	E-mast
2	H-mast
3	H-mast med strever
4	2H-mast

## 3.5 Usikkerheter i sammenstilling av NIS- og GIS-data

### 3.5.1 Usikkerheter i innsamling av NIS-data

Ved innsamling av NIS-data er det hentet ut data fra NetBas som beskrevet i Avsnitt 3.2. Data er hentet ut med tilpasset søk i NetBas slik at det er komponenttype master av spenningsnivå på 22 kV og oppover som hentes ut. I resultatet er det inkludert 359 master på 0 kV og 46 master på 230 V, disse mastene skal i utgangspunkt ikke komme med i resultatet som følge av filtreringen som er satt ved importering av data. I tillegg “mangler” det 7 master på 22 kV; disse skulle ha vært inkludert i det tilpassede resultatet. Avvikene er spesifisert i parentes i Tabell 3.2. Dette viser at søkeresultatet store sett er i samsvar med det forhåndsinnstilte kriteriene, men med noe unntak. Dette fører til usikkerheter i analysen. Blant de 23 671 mastene som blitt eksportert fra NetBas til Excel er 23 667 av disse som tas med videre til analyse i ArcGIS. I videreanalyse er det behov for informasjon fra både ArcGIS og NetBas, derfor er det kun 23 667 master som taes med videre i datagrunnlaget for analysen.

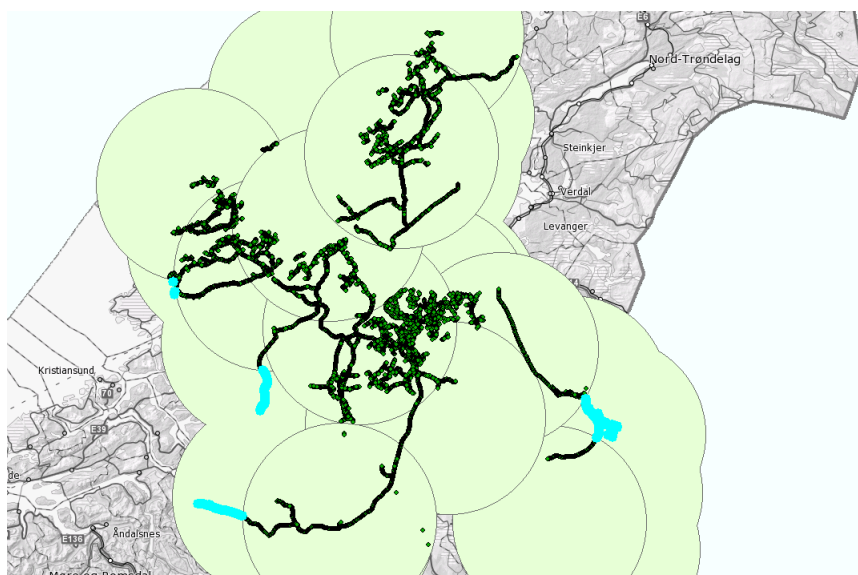
Tabell 3.2: Oversikt over antall master registrert i TEs NetBas-sentralarkivet, master importert fra NetBas og de som er tatt med i analyse sammen med data fra ArcGIS [14].

Spenningsnivå [kV]	Sentralarkiv (Alle)	Sentralarkiv (>22 kV)	Til analyse
0	6 959	359 (+359)	359 (+359)
0,23	33 669	46 (+46)	46 (+46)
0,4	246	0	0
1	905	0	0
6	78	0	0
6,6	73	0	0
11	976	0	0
22	16 231	16 224 (-7)	16 221 (-10)
66	4 779	4 779	4 778 (-1)
132	2 261	2 261	2 261
300	2	2	2
Sum	66 179	23 671	23 667

### 3.5.2 Usikkerheter i innsamling av GIS-data

Det er usikkerheter i datakildene som er brukt i forbindelse med uthenting av data ved hjelp av ArcGIS som beskrevet i Avsnitt 3.1.1. Miljødata som vind, fuktighet og temperatur er hentet ut fra Meteorologisk Institutt. Det er datamangel og blandet kvalitet på innsamlet data fra ulike værstasjoner eid av Meteorologisk Institutt. Vindretningdata som brukes i analysen har en usikkerhet på 1 og 10 grader avhengig av om det er resultater fra visuell eller instrumentell målingsmetode. I data for fuktighet er det brukt nedbørd data noe som gir en forenklet beskrivelse av luftfuktighet som beskrevet i Avsnitt 3.1.1. Ved behandling av nedbørd data i ArcGIS er det behov for å konvertere rasterdata til vektordata. Data angitt med en usikkerhet på flere desimaler konverteres til å ha en usikkerhet på  $\pm 1$ . Grunn data er gitt i AR5 med en nøyaktighet på 500  $m^2$ . Salt data er estimert ut ifra avstand til kysten basert på antagelsen om at det finnes salt ved vannlinjen langs øyene og fastland og at disse områdene bidrar til salt i luften i like stor grad. Forurensning er anslått ut ifra miljødata.

I analyse av værdata er det valgt å bruke funksjonen “Buffer” som kan brukes til å interpolere data fra et punkt og radially utover som beskrevet i Avsnitt 3.1.2. Det er valgt å bruke buffersirkler av samme størrelse i denne analysen. Med ulike avstander mellom punktene som det vil bli interpolert data ifra byr dette på utfordringer i å sette opp en jevn fordeling av buffersirkler over foryningsområdet. Små sirkler fører til at mange av mastene ikke blir dekket i analysen. Store sirkler fører til at det blir mye overlapping mellom sirkelene. I denne analysen er det brukt buffersirkler med radius på 40 km slik at områdene overlappes med flere buffersirkler. Samtidig er det fortsatt noe av mastene som ikke blir dekket som vist i Avsnitt 3.5.2. En mulig løsning er å benytte buffere med ulike figurformer, men dette krever et høyere nivå på lisens enn det som brukes i denne analysen. Med “Advanced”-lisens er det mulig å generere både sirkulære og rektangulære/flate bufferfigurer. En annen måte å løse dette på er for eksempel å sette ut buffersirkler av ulike størrelser. For at det skal være mulig å endre på buffersirkler for et utvalgt sett med punktdata er det behov for å lage et eget kartlag med kun disse dataene. Datasettene kan velges ut med funksjonen “Select” for at det skal være mulig å generere buffersirkler for kun disse. Det kan være gunstig å utføre testing og sammenligning av ulike bufferkombinasjoner med hensyn til størrelse og former for optimal modellering av området.



Figur 3.15: Vinddata legges til stolper med sirkulære buffere. Mastene som ikke kommer med i bufferanalysen er merket med lyseblå.

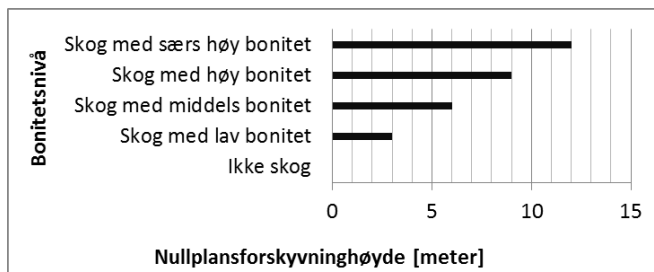
Det er valgt å bruke vinddata fra Meteorologisk Institutt i denne analysen som beskrevet i Av-

snitt 3.1.2. Vinddata fra Meteorologisk institutt er typisk målt ved en 10-meters høyde. Målinger ved lavere høyde nivåer er mer utsatt for lokale variasjoner som vegetasjon og bygninger noe som ofte kan bidra til usikkerheter i målinger [2]. Usikkerheter i vinddata fører til usikkerheter i analyseresultatet. En annen framgangsmåte for uthenting av vinddata er å bruke data fra fra Kjeller Vindteknikk [2] [4]. Data fra Kjeller Vindteknikk er målt fra 50, 80 og 120 meters høyde og vil kunne gi bedre nøyaktighet enn data fra Meteorologisk Institutt målt ved 10 meters høyde. Kjeller Vindteknikk har kartlagt vindressurser over fastland-Norge og havområdene utenfor. Kartet gir informasjon om årsmiddelvind med en horisontal løsnings på 1x1 km. Kartet er for øyeblikket nedlastbare som PDF-filer fra NVE [6] [2].

Data fra Kjeller vindteknikk gir informasjon om vindhastighet ved tre ulike høyder [2]. Informasjon om vindhastighet ved ulike høyder gir muligheten til å estimere variasjon i vindhastighet som funksjon av høyde. En informasjon som vil være nyttig ved beregning av mekanisk belastning på tremaster som beskrevet i Avsnitt 2.2.2. Vind vil kunne føre til ulike grad av mekanisk påkjenning i tremaster avhengig av størrelsen på vindstyrken som treffer ved de ulike høydene på masten. Informasjon om mastekonstruksjon, mastetilstand, fundamenttype som brukes ved masten og vindstyrken ved ulike høyder er det mulig å estimere bøyespenningen på masten som en funksjon av mastehøyden. Svakheten med valget om å bruke data fra Kjeller Vindteknikk er blant annet at det da er ferdigberegnete årsmiddelverdier brukes i analysen. I denne undersøkelsen er det interessant med informasjon om total mengde vind som blåses over området for total belastning fra vinden på master. Data fra Kjeller Vindteknikk vil ikke kunne gi informasjon variasjon i vindpåkjenning i løpet av et år. Det vil typisk blåse mer i vinterstid og informasjon om maksimal vindstyrke vil være mer nyttig enn gjennomsnittlig vindstyrke i en slik analyse. Fordelen med data fra Meteorologisk institutt er at her er det gitt registrerte observasjoner fra flere tidspunkter i døgnet [3].

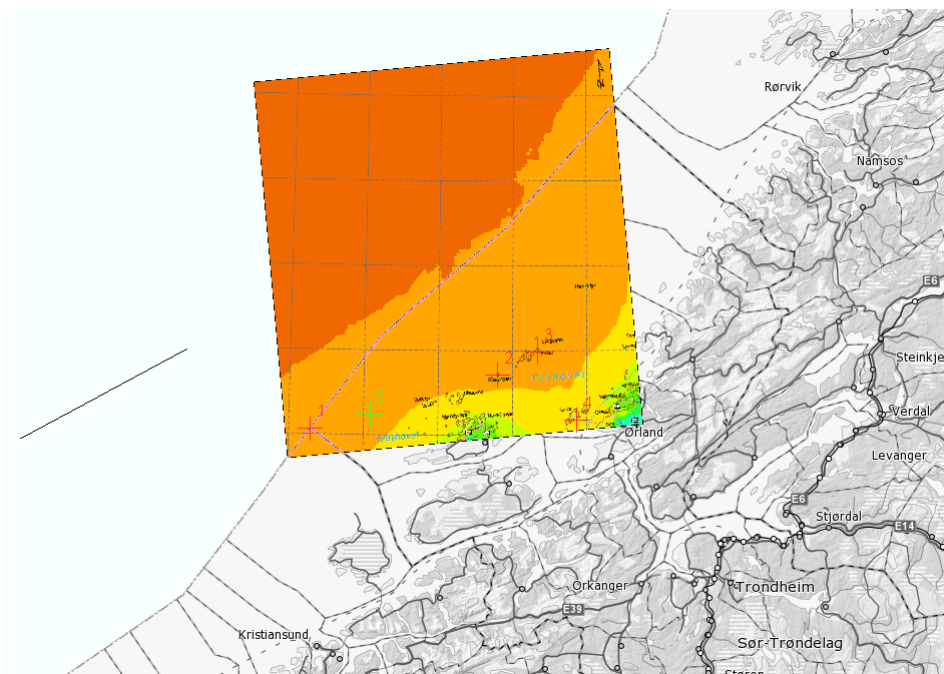
For å kunne bruke data fra Kjeller Vindteknikk er det behov for å importere kartet inn til ArcGIS for at data kan hentes ut. I data fra Kjeller vindteknikk er årsmiddelvinden beregnet for målinger fra høyder på 50, 80 og 120 meter over nullplansforskyvningen. Nullplansforskyvningen antas typisk å være i størrelsesorden 80% av vegetasjonshøyden. Dette vil si at nullplansforskyvningen for et område kan være i ulike høyder i forhold til bakkehøyden avhengig av vegetasjonsnivået. Nullplansforskyvningen kan typisk ha en høyde på 0 til 12 meter. Ved høy vegetasjonsnivå kan nullplansforskyvningen ha en verdi på 12 meter, og ved lav vegetasjonsnivå kan det ha en verdi tilnærmet lik null [2]. Det er mulig å estimere nullplansforskyvningen

ved hjelp av AR5. Her er det valgt å estimere nullplansforskyvningen for ulike områder ved hjelp av AR5 kategorier ut i fra beskrivelsen som er gitt av vegetasjonsnivå i AR5, se Figur A.1. I denne analysen er det gjort antagelser slik at ulike AR5 kategoriene tilsvarer ulike høyder på nullplansforskyvningen basert på informasjon om bonitet som er gitt i AR5 og at nullplansforskyvningen er innenfor intervallet fra 0 til 12 meter. Antagelsen er beskrevet i tabell Figur 3.16.



Figur 3.16: Nullplansforskyvningshøyde som funksjon av vegetasjonshøyde som gitt i AR5.

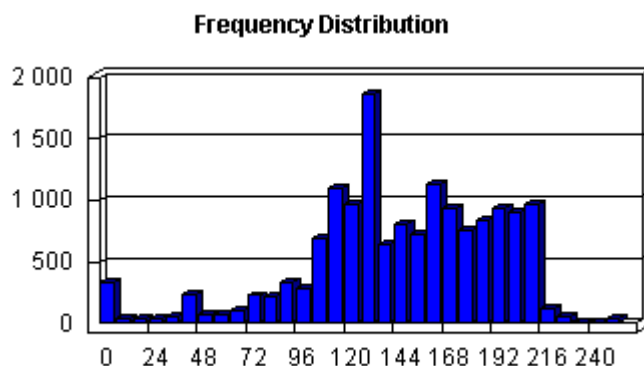
Vindhastighetskart fra Kjeller Vindteknikk i PDF-filer importeres som bildefil i PNG-format til ArcGIS. Først koordinatfestes bildet slik at det overlapper geografisk med de andre kartlagene i systemet. Dette gjøres ved at geografisk informasjon legges inn i bildefilen (Eng: Georeferencing). Resultatet av et koordinatfestet kart ved hjelp av funksjonen Georeferencing er som vist i Figur 3.17. Her er kartet festet med fire referansekoordinater.



Figur 3.17: Resultat etter å ha brukt funksjonen Georeferencing på kart i PDF-format utgitt ved Kjeller Vindteknikk [2].

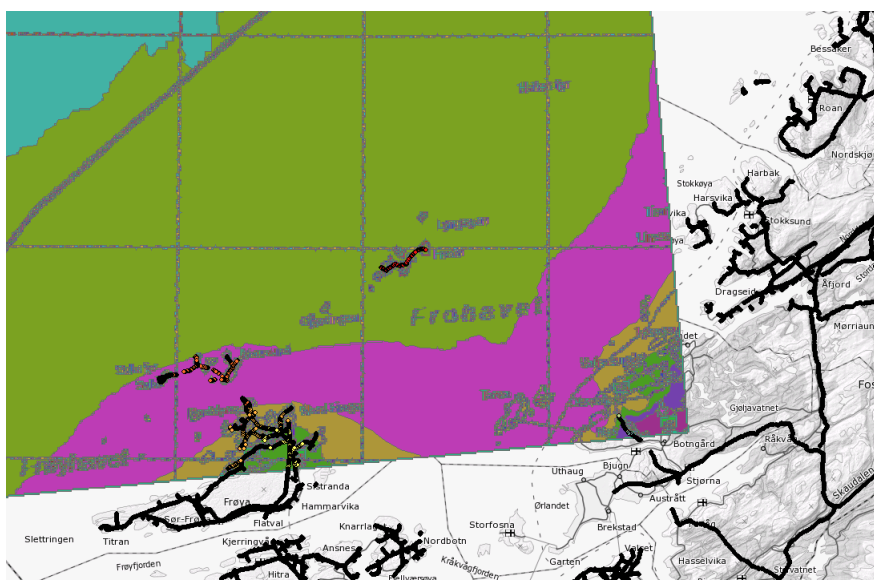
Det koordinatfestede bildene i PNG-format må videre konverteres til vektordata for at data fra bilde kan legges til de ulike mastene. PNG-bilde brukes her er et 4-bands raster bilde (RGB-raster) og må slås sammen til singleband raster før den kan videre bli konvertert til vektordata. Dette kan bli gjort i verktøyssettet Image Analysis Window. Et RGB-raster har fire fargebånd med fire fargelag. I Image Analysis Window er det mulig å velge vektlegging av de ulike fargelagene før de slås sammen til et singleband-bilde. Her er det valgt å vektlegge de ulike båndene likt. Resultatet fra Image Analysis Window viser et kart med hele 255 ulike celle verdier. De 255 celleverdiene er fargeverdier automatisk generert i ArcGIS. Antall celler på hver av de ulike fargeverdiene er som vist i Figur 3.18.





Figur 3.18: Antall celler med de ulike fargeverdiene av kartet som vist i Figur 3.17.

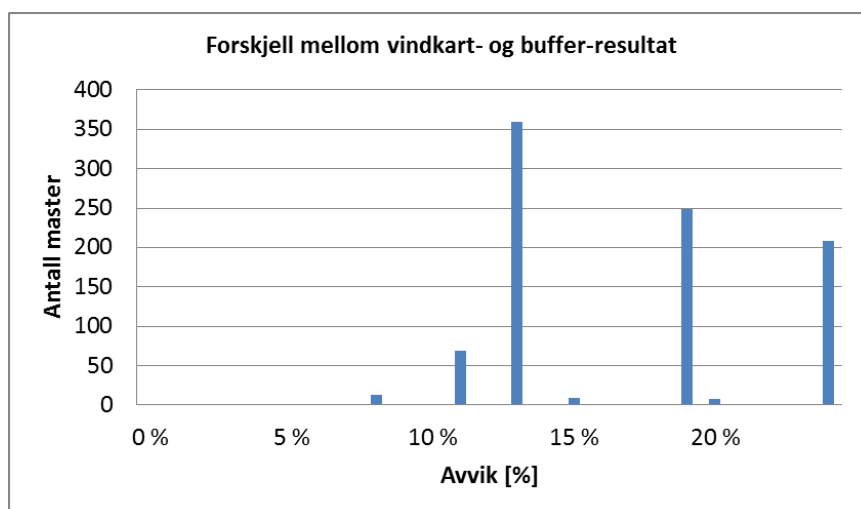
Videre må polygoner for de ulike fargeverdiene legges til verdier for vindhastighet. Dette kan blant annet gjøres med å velge polygoner manuelt fra kartet og deretter legge til vindhastighetsdata i tabellen for de valgte polygonene ute i fra data som er gitt med vindkartet på PDF-filen. Funksjoner som brukes er Select og Field calculator. Resultater er som vist i Figur 3.19. Resultatene er eksportert til analyse i Excel.



Figur 3.19: Vindhastigheten som beregnet ved Kjeller Vindteknikk legges her til ulike stolper [2].

Ved hjelp av en slik framgangsmåte er det mulig å legge inn vinddata fra PDF-filene, men det

er en tidskrevende og lite effektiv framgangsmåte. Det kan ta flere timer å legge inn en PDF-fil. For at hele forsyningsområdet skal kunne bli dekket må den samme prosessen utføres for sju ulike kartlag, og med tre høydenivåer for hvert kartlag er det hele 21 kart som må legges inn. Det er muligheter for å bygge nye funksjoner i ArcGIS som forenkler denne prosessen ved hjelp av Python Scripting, men det har ikke blitt gjort i løpet av masteroppgaven. Det er muligheter for å jobbe videre med dette i senere arbeid, men i denne masteroppgaven er analysen kun utført for tre kartblad som dekker et begrenset forsyningsområdet over tre høydenivåer. Kartlagene er som vist i Tillegg D. Resultatet er som vist i Figur 3.20 for 914 master som har fått vinddata ved hjelp av vindkart. I Figur 3.20 er det beregnet avvik i resultater utledet ved hjelp av bufferanalyse i forhold til resultater utledet fra vindkart. Avviket er gitt i prosent. Som Figur 3.20 er det betydelig avvik mellom resultater funnet ved hjelp av disse metodene, men ettersom vinddata her er gitt med lave verdier så kan til og med de minste utslag gi betydelig avvik. Det er beregnet et avvik på 23,5% på det maksimale med 6,5 m/s i forskjell. Verdien er beregnet basert på en forskjell i vindhastighet på 2 m/s med bufferanalyse og 8,5 m/s med vindkartanalyse.



Figur 3.20: Prosent avvik mellom resultater som utledet fra et vindkart og ved hjelp av bufferanalyse.

Informasjon om vindhastighet for tre ulike høydenivåer eksporteres til Excel. I Excel er det mulig å interpolere data for vindhastighet opp langs hele mastens høyde ved hjelp av funksjonen Forecast. Forecast estimerer ukjente verdier basert på kjente verdier med bruk av metoden lineær regresjon. Det er varierende motstandsmoment for ulike punkter opp langs mastehøy-

den som følge av begynnede aldring/degradering; for en mast uten avstivning i perfekt tilstand vil momentet i teori øke lineært fra mastetoppen og nedover. I tillegg reduseres motstandsmomentet for punkter utsatt av råteangrep opp langs masten. Reduksjon av moment som følge av råteangrep kan anslås ut ifra informasjon om fundament. Se Avsnitt 2.2 for sammenheng mellom fundament og sannsynlighet for råte og variasjon i motstandsmoment i en mast. Med informasjon om variasjon i påkjenning fra vind og motstandsmoment ved ulike høyder på masten er det mulig å anslå sannsynlighet for utfall som følge av råte på en mer nøyaktig måte.

### 3.5.3 Usikkerheter i utledning av data

I Avsnitt 3.4.1 er det gitt en beskrivelse av utledning av data basert på radial ved hjelp av informasjon om ledning eller linjeseksjoner. Her er det gjort et forsøk på å utlede teknisk mastedata som byggeår, impregneringsmetode og materialegenskaper. På grunn av datamangel for ledning har det vært mulig å utlede data for et begrenset antall master noe som fører til usikkerheter i datagrunnlaget. Det er mulig å utlede data uten å bruke informasjonen om ledning, og isteden utføre analyse basert på geografisk informasjon ved hjelp av ArcGIS. Analysen kan bli utført i ArcGIS med antagelsen om at mastene innenfor de samme geografiske områdene vil ha samme byggeår, impregneringsmetode og materialegenskaper. Dette kan utføres ved at tilgjengelig teknisk mastedata importeres inn til ArcGIS. Deretter er det mulig å bruke funksjonen "Buffer" for å interpolere teknisk mastedata slik at det dekker master uten informasjon. Til slutt kan data fra "Buffer"-polygonene legges til mastepunktene med datamangel.

I Avsnitt 3.4.4 er det valgt å utlede data for mastekonstruksjon basert på TEs erfaring. Det er valgt å utlede data basert på informasjon om antall mastebein og anta H-master for de resterende mastene. Data er utledet basert på antagelser og fører til mye usikkerheter. I Avsnitt 3.4.4 er det kun brukt en liten del av informasjonen gitt ved TE. Her er det satt opp en annen framgangsmåte for utledning av konstruksjonsdata med hensikten å bruke informasjonen gitt ved TE på en mer effektiv måte. Basert på TEs erfaring er det mulig å utlede data for mastekonstruksjon basert på antagelser om at det er mer enn to mastebein på mastekonstruksjonen (H-mast) dersom:

- Masten står på ujevnt terrengforhold med mye skråning. Her er det mulig å bruke ArcGIS for uthenting av informasjon.

- Kabelen er tung og det er stor avstand mellom mastene med linjer imellom. Vekten på kabelen kan utledes fra informasjon om kabeltype. Informasjonen finnes i NetBas [14].
- Store mengder med vind og islast. Dette er også en type informasjon som kan hentes ut ifra ArcGIS.

Kart med terrenginformasjon finnes ved ulike kartverk og kan importert til ArcGIS. Funksjonen “Add surface information” kan brukes på terrengkartet i ArcGIS for å utlede informasjon om skråning i terrenget med verdier i prosent/grader. Informasjonen legges til de importerte mastepunktene før de eksportere til Excel der analysen blir foretatt.

Avstand mellom master kan beregnes ved hjelp av ArcGIS. Dette kan gjøres med funksjonen “Join” i ArcGIS som gir avstanden mellom de mastepunktene med nærmest beliggenhet til et utvalgt mast, og med betingelsen om at mastene er fra samme ledning/linje er funksjonen begrenset til å beregne avstanden mellom master med luftkabler imellom seg [26]. Beregning av avstand uten betingelser er som beskrevet i Avsnitt 3.1.2. For at det skal være mulig å bruke funksjonen “Join” med betingelser er det behov for å lage nye funksjoner i ArcGIS basert på funksjonen “Join”. Dette kan gjøre ved å sette opp Python scripter med bruk av en integrert applikasjon i ArcGIS “ModelBuilder” [1]. Informasjon om ledninger som er knyttet til ulike master er registrert i NetBas [14].

Innsamlede data for konstruksjon kan settes opp for mastepunkter fra 66 kV og oppover i en liste med rangering etter deres behov for stabilitet ut ifra parametere: avstand mellom mast, vekten på kabler, vind og skråningsgrad på terrenger. Alle mastene i listen vil være fra regionalnettet ettersom de har spenning fra 66 kV og opp. Ut ifra TEs erfaring er det 60% H-master i regional nettet. Dette vil si at de 60% av mastene som har minst behov for stabilitet på listen kan antas å være H-master. H-master er den mest ustabile mastekonstruksjonen i forhold til de andre konstruksjonstypene og det antas at det finnes rundt 60% H-master i regionalnettet til TE basert på TEs erfaring [18]. Noen av de resterende 40% med master kan antas å være dobbelmaster (2H og 2A) og de med med ustabile forhold kan antas å være trippelmaster (3A og 3H) i samsvar med TEs erfaring [18]. Det er også muligheter for å gjøre antagelser på om dobbel- og trippelmaster er en 2/3H- eller 2/3A-mast ved hjelp av byggeåret for master; 2/3A master er av nyere årgang enn 2/3H ettersom 2/3H skal ha blitt utkonkurrert av 2/3A i følge TEs erfaring [18].

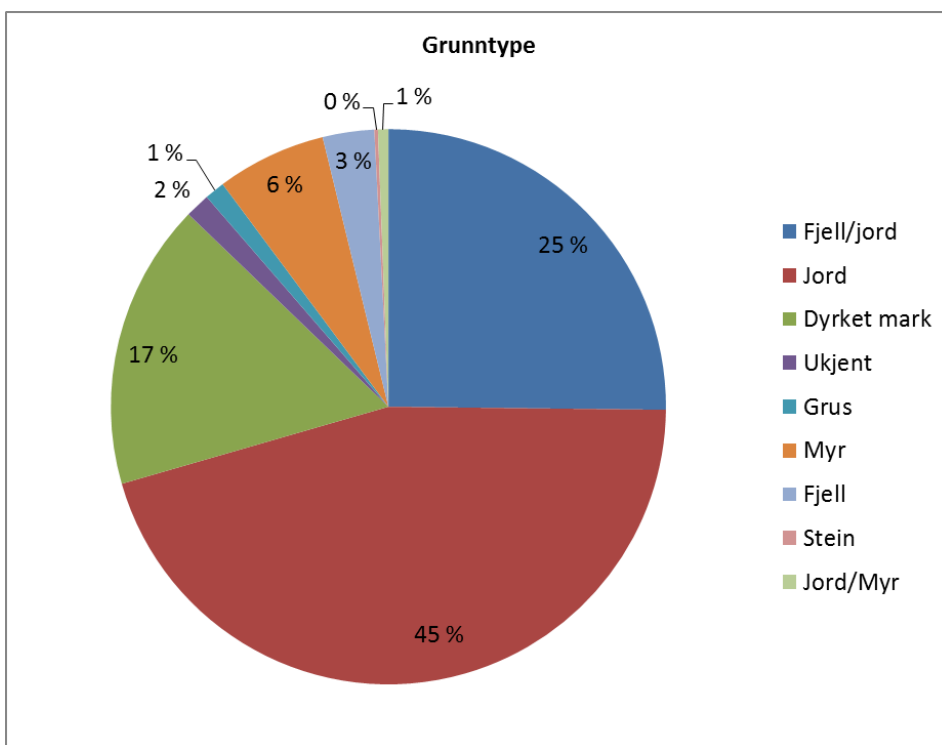
## 4 | Relevant statistikk for reinvesteringsanalyse

Relevant data med hensyn til organisk aldring av trestolper er identifisert i Avsnitt 2.2. I Kapittel 3 er det beskrevet framgangsmetoder i importering av relevant miljø- og teknisk mastedata, samt utledning av data ved hjelp av importert data basert på tidligere forskning ved blant annet SINTEF [29], erfaring fra TE [18] og statistiske grunnlag [12]. Dette kapitlet gir en oppsummering på resultater fra innsamling av data. Kapitlet består av statistiske resultater basert på sammenstilt NIS- og GIS-data med hensyn til både direkte eksporterte og utledet data. Statistikken viser oversikt over tilgjengelig data og gir en indikasjon på kvaliteten og påliteligheten av datagrunnlaget. Disse er viktige informasjoner å ha med videre når det blir utført analyser i Kapittel 6 og Kapittel 7 basert på levetidsmodeller i Kapittel 5 ved hjelp av datagrunnlaget som er beskrevet i dette kapitlet.

### 4.1 Miljødata

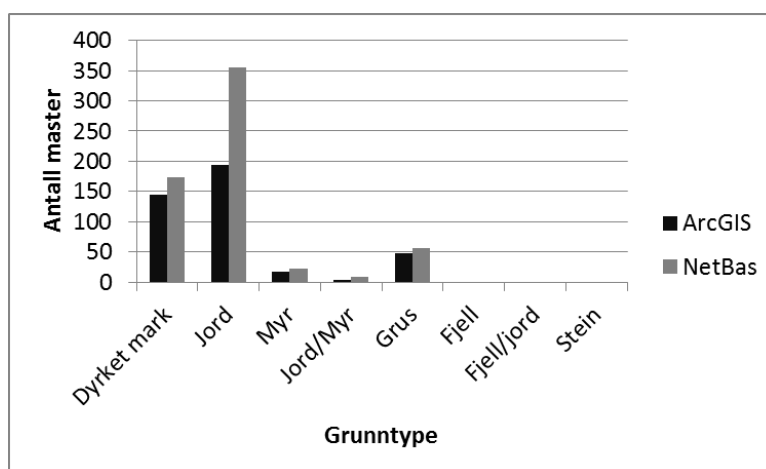
#### 4.1.1 Grunntype

Figur 4.1 viser fordeling av master på ulike grunntyper. Master er importert fra NetBas [14] til ArcGIS som beskrevet i Avsnitt 3.2. Statistikken er basert på de 23 754 mastene som er blitt analysert ved hjelp av AR5 i ArcGIS. Datakilden AR5 er beskrevet i Avsnitt 3.1.1 [10] og framgangsmåten i ArcGIS er som beskrevet i Avsnitt 3.1.2 [1]. Som Figur 4.1 viser så står mastene hovedsakelig på grunntypene jord, grus og dyrket mark. Det finnes noen master i myr- og fjellområder. Svært få master står i fjell/jord-, jord/myr- og steinområder. I tillegg er det 2% av mastene som det ikke har fått lagt til informasjon om grunnforhold ved hjelp av analysen i ArcGIS. Master står på ukjent grunnforhold bidrar til usikkerheter i modellen.



Figur 4.1: Fordeling av master på ulike grunntyper basert på analyse i ArcGIS på maste-kordinater fra NetBas og AR5 [14] [1] [10].

Analysen som beskrevet i Kapittel 6 og Kapittel 7 er utført basert på GIS-datagrunnlaget som er beskrevet i Figur 4.1, men det finnes også et begrenset datagrunnlag for grunnforhold i Net-Bas [14]. I NetBas er det funnet data for grunnforhold på 617 master under komponentinfor-masjon av typen miljø. Her er gjort et forsøk på å sammenligne tilgjengelig NIS- og GIS-data fra NetBas og ArcGIS for grunnforhold. Dette i forbindelse med å se samsvar mellom datagrunn-lagene. Data for grunnforhold som er utledet i ArcGIS sammenlignes med data tilgjengelig i NetBas. Resultatet er som vist i Figur 4.2. Som Figur 4.2 viser er det godt samsvar mellom re-gistrert data i NetBas og data generert ved hjelp av databehandling i ArcGIS.

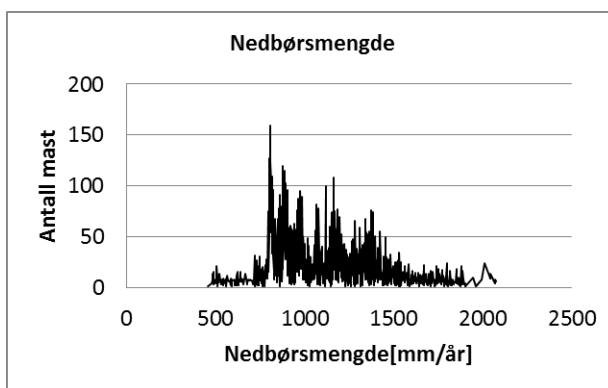


Figur 4.2: Informasjon om grunnforhold basert på analyse ved hjelp av ArcGIS basert på data fra NetBas og AR5 [14] [1] [10].

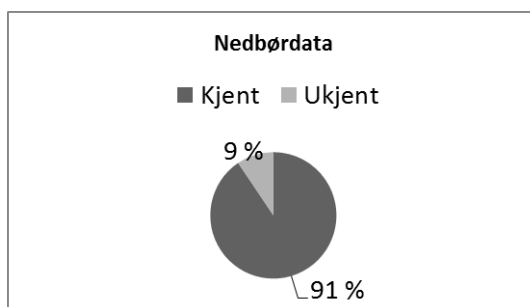
#### 4.1.2 Nedbør

Figur 4.3 og Figur 4.5 er begge statistisk oversikt over antall master under påkjenning av ulike nedbørsmengder. Data er hentet ut ved hjelp av ArcGIS for 23 754 mastepunkter med koordinater importert fra NetBas som beskrevet i Avsnitt 3.2 [14]. Ved innsamling av nedbørsdata er det brukt normalnedbørsmengde beregnet for per år i en 30-års perioden utført av Meteorologisk Institutt [5] [3]. Mer informasjon om datakilden er beskrevet i Avsnitt 3.1.1. Framgangsmåten for analysen i ArcGIS er beskrevet i Avsnitt 3.1.2 [1]. Resultatet fra analysen i ArcGIS er som vist i Figur 4.3 og Figur 4.5. I Figur 4.3 er nedbørsmengden gitt med en nøyaktighet på  $\pm 1$  mm/år. Kurven er kun basert på statistikk over master med kjent nedbørsinformasjon. I tillegg er det et betydelig antall med master som det ikke har vært mulig å legge ved nedbørsinformasjon for ved hjelp av analyse i ArcGIS. Dette er indikert i Figur 4.4.

I Figur 4.3 viser resultatet at mastene vil oppleve nedbørsmengde på et området mellom 500 og omtrent 2000 mm/år, og spesielt i området mellom 750 og 1000 mm/år. I Figur 4.3 er det som sagt kun inkludert master med kjent nedbørsmengde. Fordeling av andel master med og uten informasjon om nedbør er som vist i Figur 4.4. Figur 4.4 viser at det mangler informasjon for 9% av alle de 23 754 mastene som har vært analysert i ArcGIS.



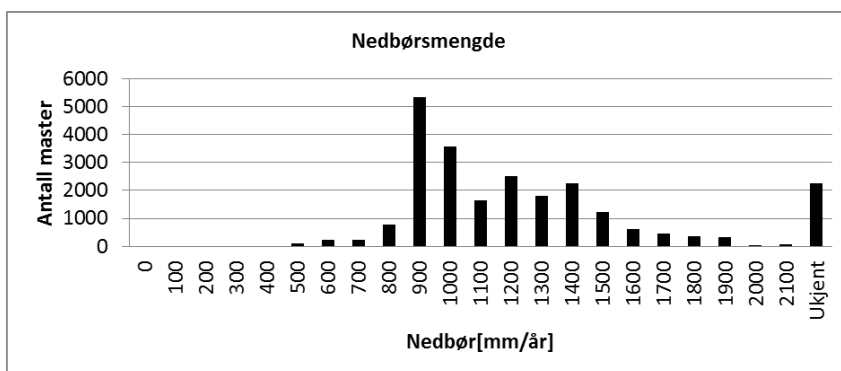
Figur 4.3: Nedbørmengde som opplevd ved de ulike mastepunktene gitt med en nøyaktighet på  $\pm 1$  mm/år, basert på analyse ArcGIS med mastekoordinater fra NetBas og nedbørdata fra Meteorologisk Institutt [14] [1] [5].



Figur 4.4: Nedbørmengde som opplevd ved de ulike mastepunktene, andel master med kjent/ukjent nedbørdata [14] [1] [5].

I Figur 4.5 er nedbørmengde for mastene gitt med en nøyaktighet på  $\pm 100$  mm/år. Antall master som står i områder hvor det ikke er gitt informasjon om nedbørmengde er inkludert i grafen i en egen kategori under "Ukjent". Figur 4.5 viser at de fleste av mastene er under på kjenning av en nedbørmengde på 900 mm/år.

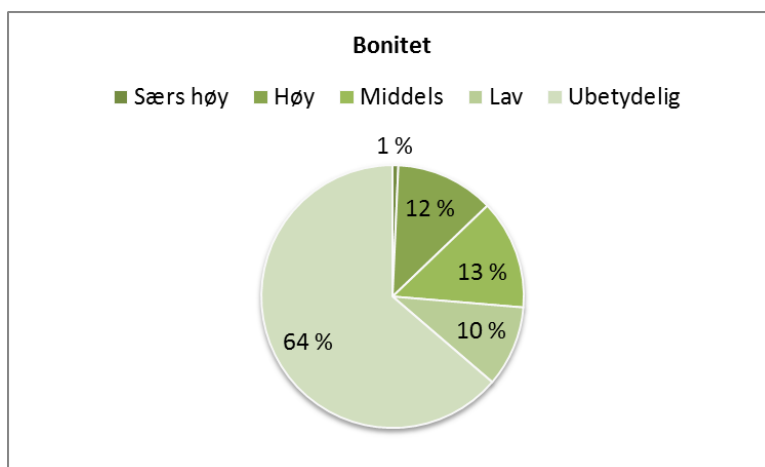




Figur 4.5: Nedbørsmengde som er observert ved de ulike mastepunktene gitt med en nøyaktighet på  $\pm 100$  mm/år [1] [14] [5].

### 4.1.3 Bonitet

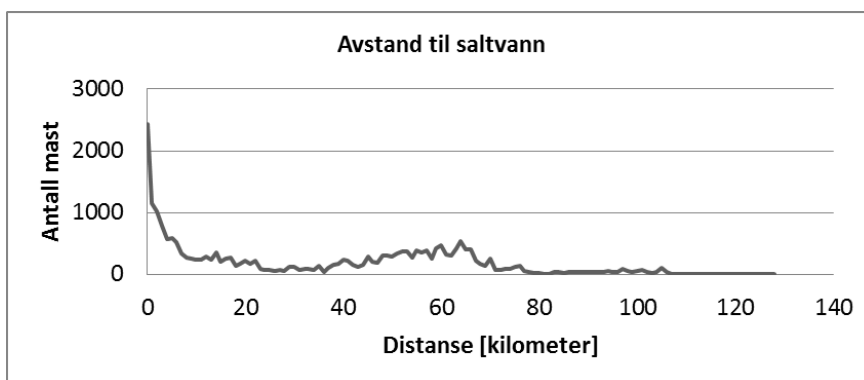
Master står i områder med forskjellige vegetasjon- eller bonitetsnivå. Statistikk over andel master som befinner seg i de ulike bonitetsområdene er som vist i Figur 4.6. Statistikken er satt opp basert på analyse av 23 754 master hvor at koordinater på mastepunktene er importert fra NetBas [14] til ArcGIS som beskrevet i Avsnitt 3.2. Analysen er utført basert på informasjon om grunnforhold gitt ved AR5/FKB [10] som er beskrevet i Avsnitt 3.1.1. Nivå på bonitet er beskrevet med sju definerte kategorier i AR5: ubetydelig, lav, middels, høy, særs høy, ukjent og ikke relevant. Definisjon på de ulike nivåene er som beskrevet i Figur A.1. Kategorien "Ubetydelig" som brukes her inkluderer de kategoriene i som er gitt som "Impedient", "Ikke relevant" og "Ikke registrert". Analysen er utført i ArcGIS [1] med framgangen som beskrevet i Avsnitt 3.1.2.



Figur 4.6: Bonitetsforhold ved de ulike mastepunktene basert på undersøkelse i ArcGIS med mastedata fra NetBas [14] og miljødata fra AR5 [10].

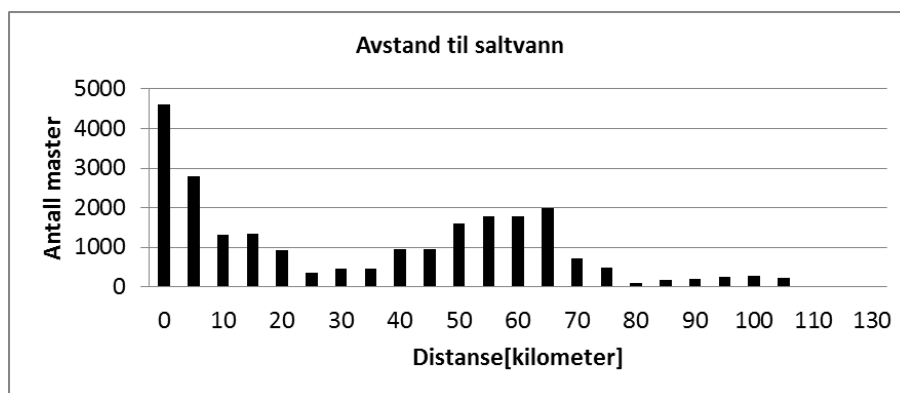
#### 4.1.4 Avstand til saltvann

Figur 4.7 og Figur 4.8 viser statistikk over avstanden mellom de 23 754 mastepunktene importert fra NetBas [14] (som beskrevet i Avsnitt 3.2) og kystlinjen/saltvann. Avstanden er målt i ArcGIS [1] med framgangen som er beskrevet i Avsnitt 3.1.1 basert på grunndata fra AR5 [10] som beskrevet i Avsnitt 3.1.2. Utvalgte vannområder identifisert ved hjelp av ArcGIS er definert som saltvann etter deres geografisk plassering i forhold til fastlandet og øyene. De ferdigberegnete avstandene er eksportert fra ArcGIS til videreanalyse. Avstanden er eksportert i meter med en nøyaktighet på 8 desimaler. I Figur 4.7 er statistikken satt basert på avstanden målt med nøyaktighet på  $\pm 1$  km, tallene rundet av til den nærmeste kilometer i Excel (med nøyaktighet på  $\pm 1000$  meter.). Figur 4.7 viser at en stor andel master har kort avstand til kysten.



Figur 4.7: Avstand mellom mastepunktene og dets nærmeste saltvannsområder med nøyaktighet på  $\pm 1$  km [14] [1] [10].

I Figur 4.8 er avstanden gitt med en nøyaktighet på  $\pm 5$  km. Figur 4.8 viser at de fleste av mastene, over 4 500 master, ligger mindre enn 5 km fra saltvannsområder.

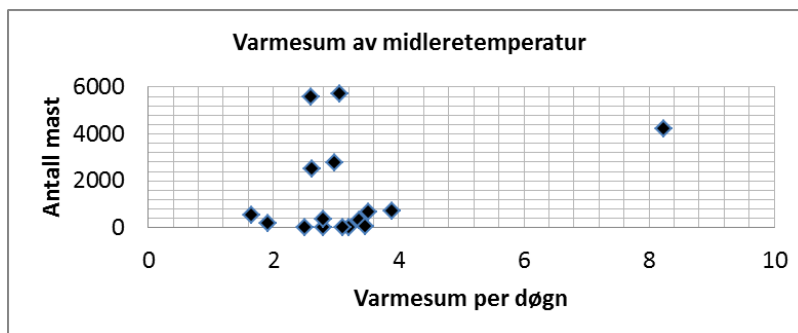


Figur 4.8: Avstand mellom mastepunktene og dets nærmeste saltvannsområder med en nøyaktighet på  $\pm 5$  km [14] [1] [10].

#### 4.1.5 Temperatur

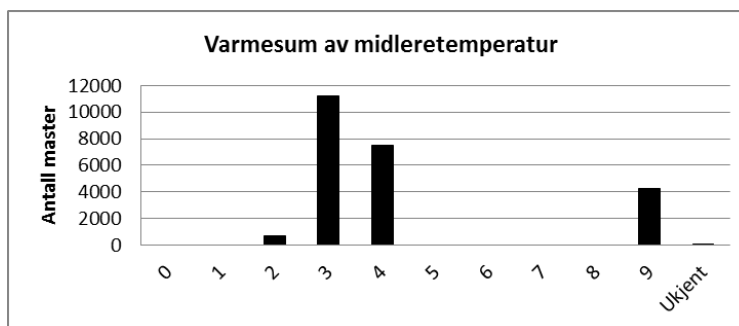
Figur 4.9 og Figur 4.10 er statistiske resultater av master fordelt over områder med ulike varmesum. Varmesummen er beregnet ut ifra midlere døgnetlig temperatur registrert ved Meteorologisk Institutt [3] [5] ved hjelp av funksjonen Buffer i ArcGIS [1] som beskrevet i Avsnitt 3.1. 23 754 mastepunkter er importert fra NetBas [14] som beskrevet i Avsnitt 3.2. I Figur 4.9 er varmesummen gitt i grader med en nøyaktighet på 6 desimaler. Figur 4.9 viser at det er master

med varmesum på mellom 2 og 4 grader som dominerer.



Figur 4.9: Varmesum ved mastepunkter. Varmesum gitt som grader med en nøyaktighet på 6 desimaler [14] [1] [5].

Figur 4.10 er en oversikt over varmesum ved mastepunkter hvor at varmesummen er rundet av oppover til det nærmeste heltallet. Figur 4.10 viser store antall av master med varmesum på 3 og 4 grader, deretter 9 grader. Det er noe master med 2 grader. I tillegg er det noen få med ukjent varmesum.

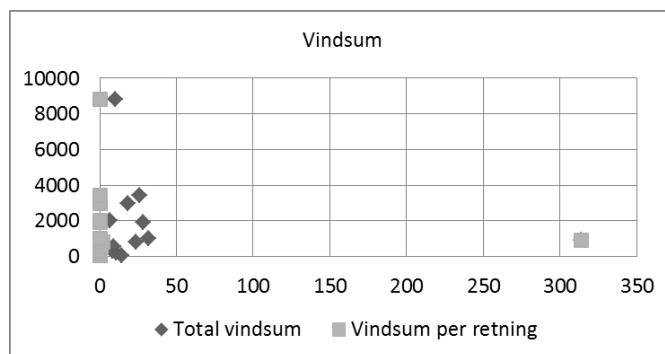


Figur 4.10: Varmesum ved mastepunkter. Varmesum i  $\pm 1$  grader [14] [1] [5].

#### 4.1.6 Vind

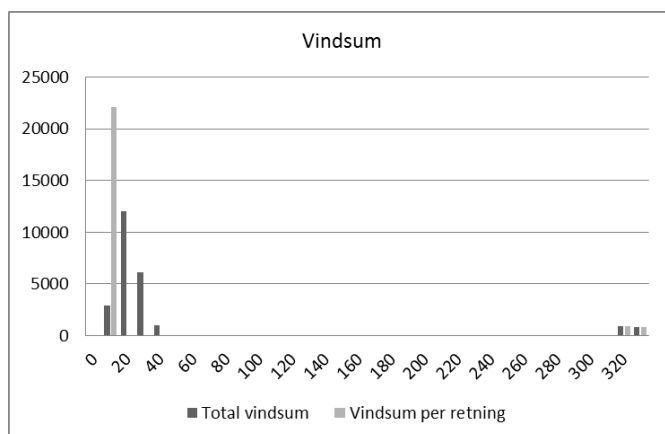
Diagrammene under viser fordeling av master med ulike total vindsum. Vindsum er gitt av gjennomsnittlig sammenlagt vindobservasjoner per døgn registrert ved Meteorologisk Institutt [3]. Vinddata fra Meteorologisk Institutt er beskrevet i Avsnitt 3.1.1. Stasjondata er interpolert over forsyningsområdet med funksjonen Buffer i ArcGIS [1] som beskrevet i Avsnitt 3.1.2. Undersøkelsen er utført for 23 754 master importert fra NetBas [14] som beskrevet i Avsnitt 3.2.

Den blåe linjen viser gjennomsnittlig sammenlagt vindobservasjoner per døgn gitt i hastighet m/s og uavhengig av retning. Den røde viser resultatet dersom retning er tatt med i beregningen. I beregning av vindsum per retning er retningen gitt med en nøyaktighet på  $\pm 1$  grader. I Figur 4.11 er vindsum oppgitt i m/s med en nøyaktighet på 6 desimaler.



Figur 4.11: Maksimal total vindsum ved mast og maksimal vindsum per retning. Vindsum i m/s, datanøyaktighet på 6 desimaler [14] [1] [5].

I Figur 4.11 er vindsum oppgitt i m/s med en nøyaktighet på  $\pm 1$  m/s.



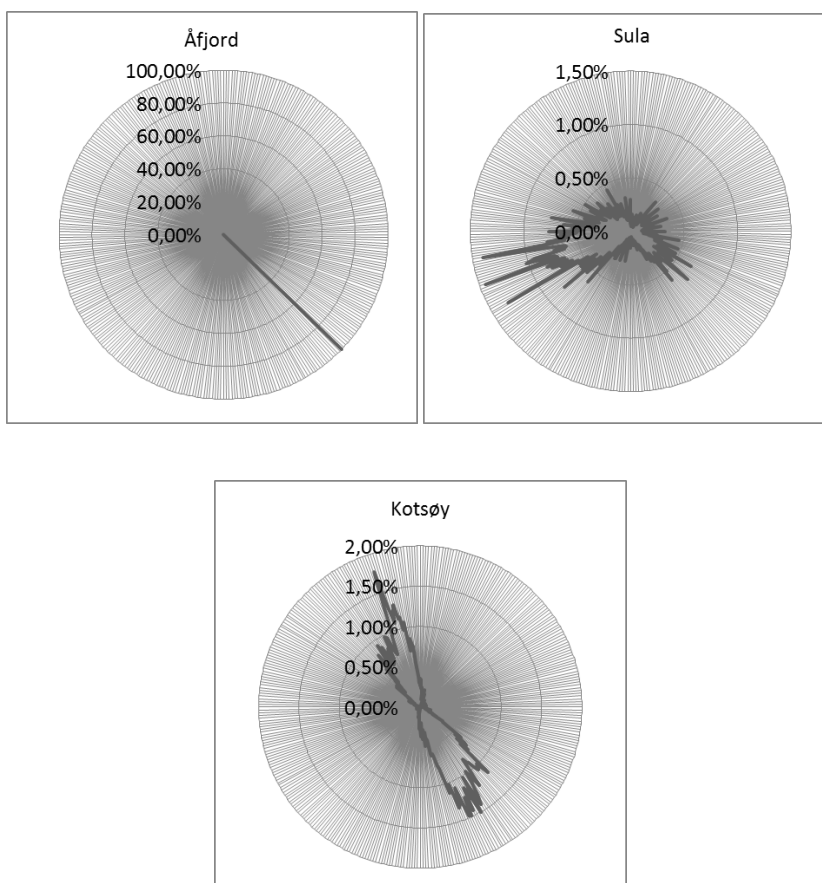
Figur 4.12: Maksimal total vindsum ved mast og maksimal vindsum per retning. Vindsum i m/s, datanøyaktighet på  $\pm 1$  m/s [14] [1] [5].

Det er stor forskjell i variasjon av retninger vinden blåser i for de ulike stasjonene. I denne analysen er det funnet observasjoner av vindretning registrert ved 17 stasjoner i Sør-Trøndelag. Undersøkelsen er utført basert på vinddata fra Meteorologisk Institutt [3] [5] i Excel som beskrevet i Avsnitt 3.1.2. Datakilden for vinddata er beskrevet i Avsnitt 3.1.1. Resultatet fra tre av

værstasjonene er som vist i Avsnitt 4.1.6, Avsnitt 4.1.6 og Avsnitt 4.1.6. Resultatet viser andel av den totale vindsum som blåser i hver av retningene. Retninger er gitt med en nøyaktighet på  $\pm 1$  grader. Andel vindsum er beregnet som beskrevet i ligningen under.

$$\text{Prosent vindsum} = \frac{\text{Sum av observert vindhastighet per retning}}{\text{Sammenlagt sum av observert vindhastighet for alle retningene}}$$

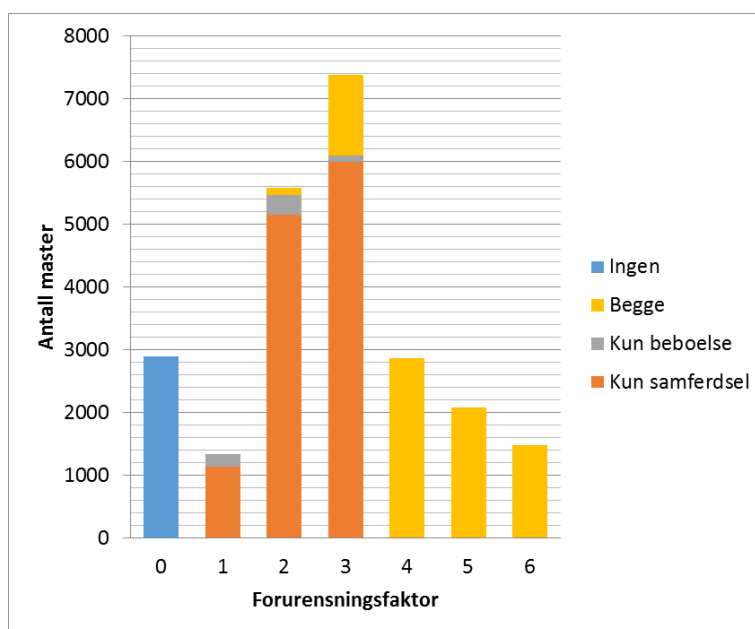
Resultater fra alle de 17 værstasjonene samt informasjon om datagrunnlaget for analyse av vindretning kan bli funnet i Tillegg C. I dette kapitlet er det valgt å sammenligne resultater fra tre ulike stasjoner. De tre resultatene er valgt ut for å demonstrere forskjell mellom resultater fra de ulike stasjonene. Ved Åfjord er det en dominerende vindretning, ved Sula viser det jevn fordeling og ved Kotsøy er det to retninger som skiller seg ut.



Figur 4.13: Andel vindsum per retning ved ulike værstasjoner [5].

### 4.1.7 Forurensning

Diagrammet under viser statistiske resultater av mengde luftforurensning som finnes i området ved de ulike mastene. Forurensning er utledet ved hjelp meteorologisk og geografisk informasjon [3] [10], og er undersøkt for alle de 23 754 mastene importert fra NetBas [14]. Utledning av data er beskrevet Avsnitt 3.4.3, data er utledet basert på import og behandling av datagrunnlaget som beskrevet i Avsnitt 3.1. Forurensningsfaktor er definert basert på modellen illustrert i Figur 3.13. Ved hjelp av modellen har det vært mulig å utlede mengde forurensning som bidrar fra hver av de ulike kildene. Denne informasjonen kommer ikke frem i Figur 4.14. Her er det kun gitt en indikasjon på om hver av de kildene bidrar med forurensning eller ikke, men ikke hvor mye hver av de bidrar med.

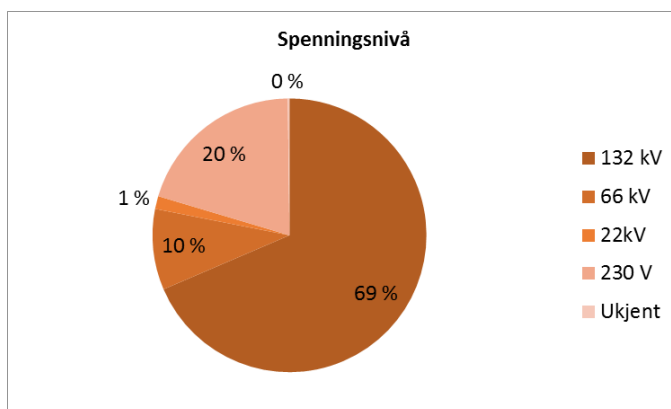


Figur 4.14: Mengde forurensning ved mastepunkter [14] [3] [10].

## 4.2 Teknisk mastedata

### 4.2.1 Spenningsnivå

Fordeling av spenningsnivå på 23 669 av mastene som er importert fra NetBas [14] som beskrevet i Avsnitt 3.2. I Avsnitt 3.2 er det nevnt at resultatet fra importering av master fra NetBas er tilpasset til å inkludere alle mastene med spenninger på 22 kV og opp ettersom det er valgt å fokusere på regionalnettet i denne analysen, men det har vist seg at det er importert master som ikke svarer til filtreringen som er satt ved importering av master. Figur 4.19 viser resultatet fra uthentet data fra NetBas med en nøyaktighet på  $\pm 1\%$ . Som Figur 4.19 viser er det rundt 79% master fra regionalnettet i datasamlingen. Det er noen få master som ikke er registrert med informasjon om spenning, men ettersom det er mindre enn 1% med master uten spenningsinformasjon så viser grafen at det er 0% med master av ukjent spenningsnivå. Resterende master er fra distribusjonsnettet, slik at det tilsvarer 21% av datasamlingen.



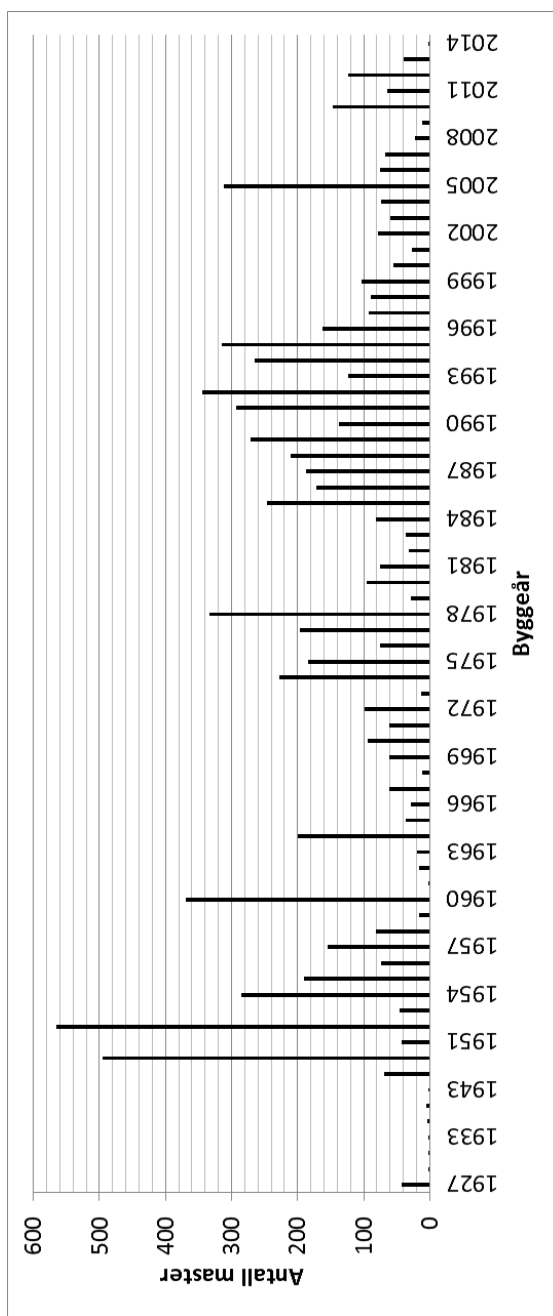
Figur 4.15: Prosentandel master med ulike spenningsnivåer [14].

### 4.2.2 Byggeår

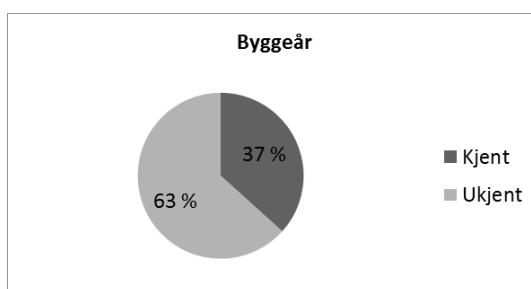
Her er oversikt over fordeling av alder/byggeår på de 23 669 mastene som er importert fra NetBas [14] som beskrevet i Avsnitt 3.2. Disse mastepunktene er også blitt undersøkt i ArcGIS som beskrevet i Avsnitt 3.1. Det er gjort forsøk på å utlede byggeår data med antagelsen om at alle mastene som hører til en linje er fra samme byggeår som beskrevet i Avsnitt 3.4.1 basert



på TEs erfaring [18]. Undersøkelsen basert på utledning av data ga ingen resultater. Figur 4.16 viser antall master som er fra de ulike byggeårene. Her er det kun oversikt over master som har fått registrert informasjon i om byggeår i NetBas. Det er et antall av master som mangler informasjon om byggeår, disse er ikke inkludert i diagrammet under. Andel av master med og uten byggeår er indikert i Figur 4.17. Figur 4.17 viser at det mangler informasjon om byggeår for en stor andel av master.



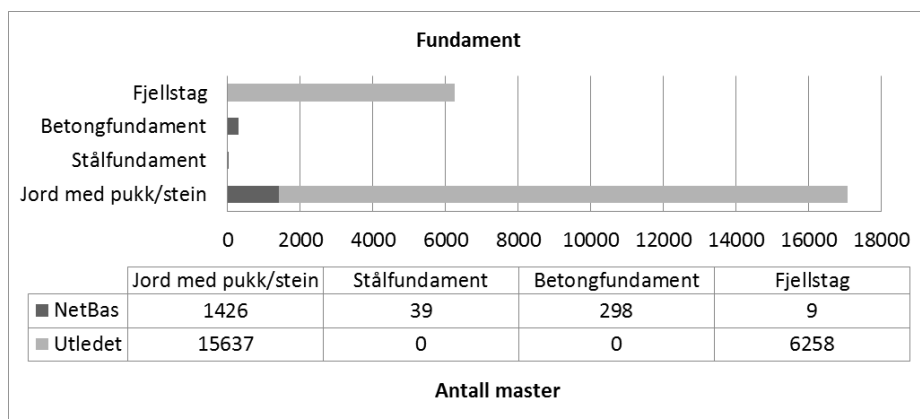
Figur 4.16: Byggeår på mastene [14].



Figur 4.17: Prosentandel master med med og uten informasjon om byggeår [14].

### 4.2.3 Fundament

I diagrammet under er det vist type fundament som er valgt å bruke ved ulike master. Det er samlet inn og utledet data for 23 669 master. Datagrunnlaget består av data direkte importert fra NetBas [14] og data utledet ut ifra grunndata i AR5 [10] ved hjelp av databehandling i ArcGIS [1]. Innsamling av data i NetBas er beskrevet i Avsnitt 3.2. Framgangsmåten for utledning av data er beskrevet i Avsnitt 3.4.2. Data er utledet basert på grunndata som er samlet inn i ArcGIS som beskrevet i Avsnitt 3.1 basert på erfaring fra tidligere forskning [29]. Som Figur 4.18 viser så er det utledet store mengder data ved hjelp av denne antagelsen. Resultatet viser at det er store mengder med fundament på jordsmonn med skoring av pukk/stein og et mindre antall med fjellstag. Resultatet svarer til forventningen med tanken på at datautledning er basert på antagelsen om at master i fjellområder har fjellstag og master på jordsmonn har skoring med masse og pukk som beskrevet i Avsnitt 3.4.2. Tidligere i dette kapitlet er det vist at en stor andel av master er plassert på jordområder og noe få på fjellområder som vist i Avsnitt 4.1.1. Lite fjellområder fører til forventningen om få fjell stag og mye jordområder kan føre til mye skoring med masse og pukk. NetBas sentralarkivet viser også at det dominerende fundament-typen er skoring i jord [14]. Figur 4.18 viser at det er registrert betydelig færre fjellstag enn jord med pukk/stein, for den begrensede mengden med master som er registrert i NetBas.

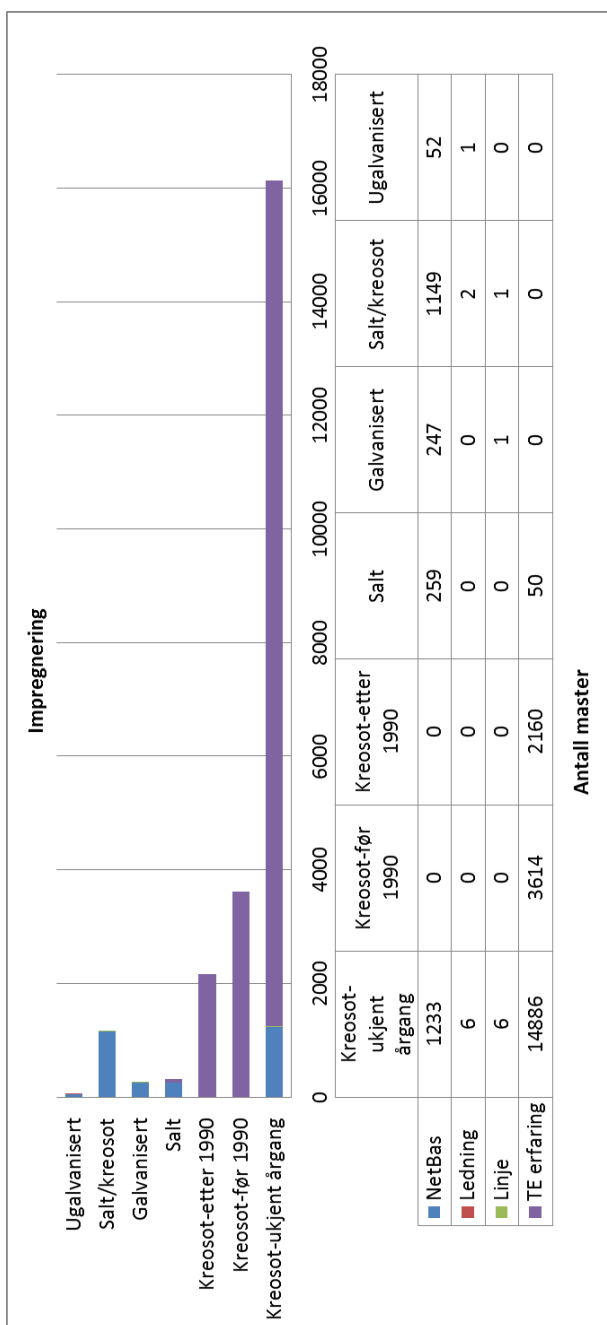


Figur 4.18: Fundamenttyper som brukes ved mastene [14].

#### 4.2.4 Impregneringsmetode

Dette diagrammet viser impregneringsmetode som brukes på 23 669 master. Datagrunnlaget er basert data importert fra NetBas [14], og data utledet basert på erfaring fra TEN og antagelsen om samme impregneringsmetode på master langs en og samme ledning og linje [18]. Først utledes data etter ledningsnummer, de gjenstående master med ukjent data etter linjesamlingsnummer og til slutt TE erfaring. Data importeres fra NetBas som beskrevet i Avsnitt 3.2. Utledningen er utført ved hjelp av importert data fra NetBas som beskrevet i Avsnitt 2.2 basert på ledning/linje som beskrevet i Avsnitt 3.4.1 og TEs erfaring som beskrevet i Avsnitt 3.4.4.

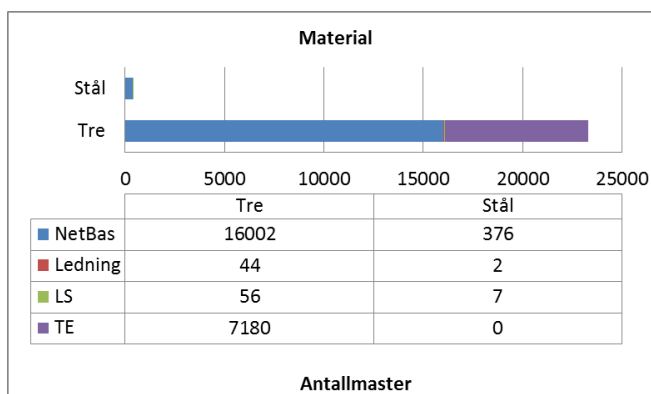
Ut ifra TEs erfaring er kreosotimpregnering fra før rundt 1990 av bedre kvalitet enn de som brukes på master etter 1990. Dette er basert på antagelser, dermed er årgang kun av betydning i utledet data ved TE. Her av er det også inkludert forskjellige "impregneringsmetoder for stålmaster. Stål kan galvaniseres for bedre motstandsdyktighet. Salt/kreosot er en impregneringskategori i NetBas. Dette gir ikke direkte informasjon om impregneringsmetode, men at stolpen er av tre og ikke stål og dermed eliminerer sannsynligheten for at konstruksjonen har galvanisert impregnering. Resultatet viser at det er svært lite tilgjengelig data om impregneringsmetode i NetBas. Mye av data er utledet ved hjelp av erfaring fra TE. Noen få data er også utledet ved hjelp av informasjon om ledninger og linjesamlinger. Resultatet stemmer bra med antagelsen basert på TEs erfaring om 99% kreosot.



Figur 4.19: Impregneringsmetode som brukes ved ulike mastepunkter [14].

### 4.2.5 Material

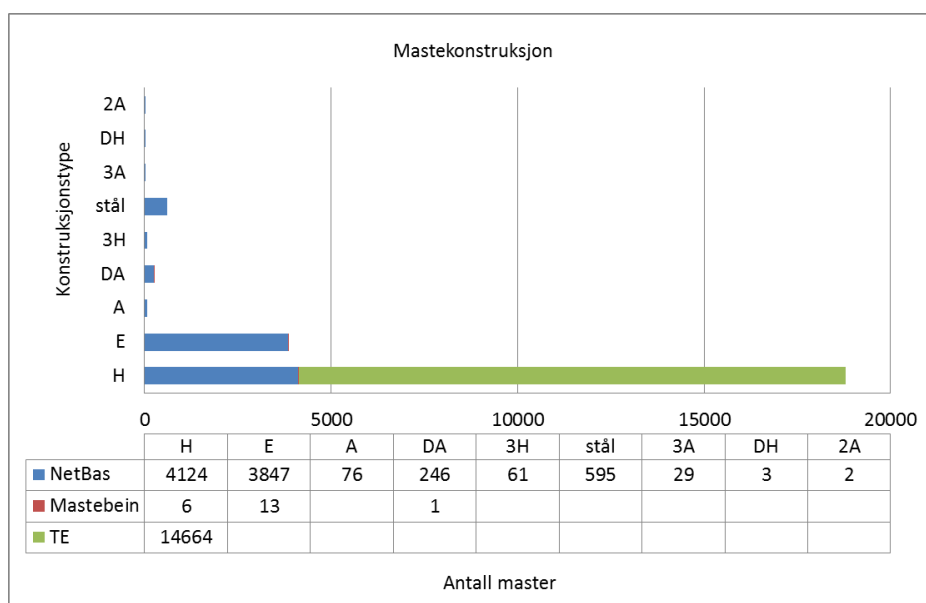
Figur 4.20 er en oversikt over materialer som brukes i de ulike mastene. Statistiske resultater med informasjon om materialer som brukes i master er basert på et datagrunnlag med 23 669 mastepunkter importert fra NetBas [14] som beskrevet i Avsnitt 3.2. Figur 4.20 viser at det allerede er registrert store mengder data i NetBas, men det er også utledet betydelig mengde med data, spesielt på tremaster. Data utledes først for master uten registrert data i NetBas basert på antagelse på samme bruk av materialer over ledninger og linjer som beskrevet i Avsnitt 3.4.1. Deretter utledes det data for resterende master uten informasjon om material basert på TEs erfaring som beskrevet i Avsnitt 3.4.4. Resultater fra importert data og data utledet med ulike framgangsmåter er som vist i Figur 4.20.



Figur 4.20: Bygningsmaterialet som brukes i mastekonstruksjonen [14].

### 4.2.6 Konstruksjon

Datainnnsamling er utført for 23 669 master i forbindelse med undersøkelse av konstruksjonsmetoder. Resultatet er basert på data importert fra NetBas [14] som beskrevet i Avsnitt 3.2. For master uten registrert data i NetBas er det utledet data basert på informasjon om antall bein på masten som beskrevet i Avsnitt 3.4.4 basert på TEs erfaring og forskning ved SINTEF [18] [29]. For master som det ikke har vært mulig å hente ut konstruksjonsinformasjon verken fra NetBas eller utledning basert på informasjon om mastekonstruksjon er det gjort antagelse på at master er av konstruksjonstype H-master som beskrevet i Avsnitt 3.4.4 basert på TEs erfaring [12]. På denne måten er det har det vært mulig å enten hente ut eller sette konstruksjonsdata på



Figur 4.21: Konstruksjonstype som brukes for de ulike mastene [14].

master basert på antagelser slik at alle mastene i analysen har kjent konstruksjonsinformasjon. Figur 4.21 er en oversikt over mastekonstruksjoner som brukes. Som Figur 4.21 viser er det anslått rundt 79% H-master. Basert på TEs erfaring er det rundt 60% H-master i regionalnettet. Som beskrevet i Avsnitt 4.2.1 er det inkludert 21% master fra distribusjonsnettet i datasamlingen hvor at resterende er master fra regionalnettet, og disse kan være av konstruksjonstype H-master. Denne analysen er basert på alle mastene fra regionalnettet som vist i Tabell 3.2 og noen master fra distribusjonsnettet. Det er en viss sannsynlighet for at 60% av de 79% H-mastene i datagrunnlaget er fra regionalnettet og at de resterende er H-master fra distribusjonsnettet i samsvar med TEs erfaring.

E-master er en type mast som brukes mye i distribusjonsnettet basert på TEs erfaring [18]. Som Figur 4.21 viser er det en stor andel av E-master i datasamlingen. Med 21% master fra distribusjonsnettet i datasamlingen er det god sannsynlighet en del av disse kan være av konstruksjonstype E-master. I tillegg er det også en viss mengde E-master i regionalnettet som beskrevet i resultatet fra tidligere tilstandskontroll ved TE [12].

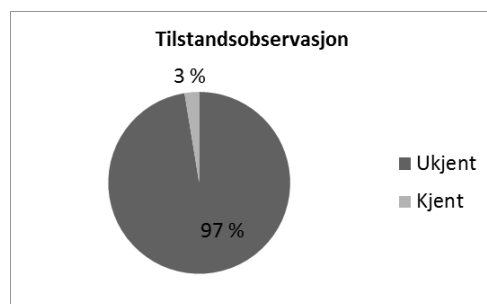
## 4.2.7 Tilstand

Her er oversikt med informasjon om tilstand på de 23 669 mastene importert fra NetBas [14] som beskrevet i Avsnitt 3.2. Oversikt over antall master som er registrert med ulike tilstandsnivå og årstall for registreringen er vist i Figur 4.22.



Figur 4.22: Antall master med ulike tilstand registrert ved ulike tidspunkt [14] [18].

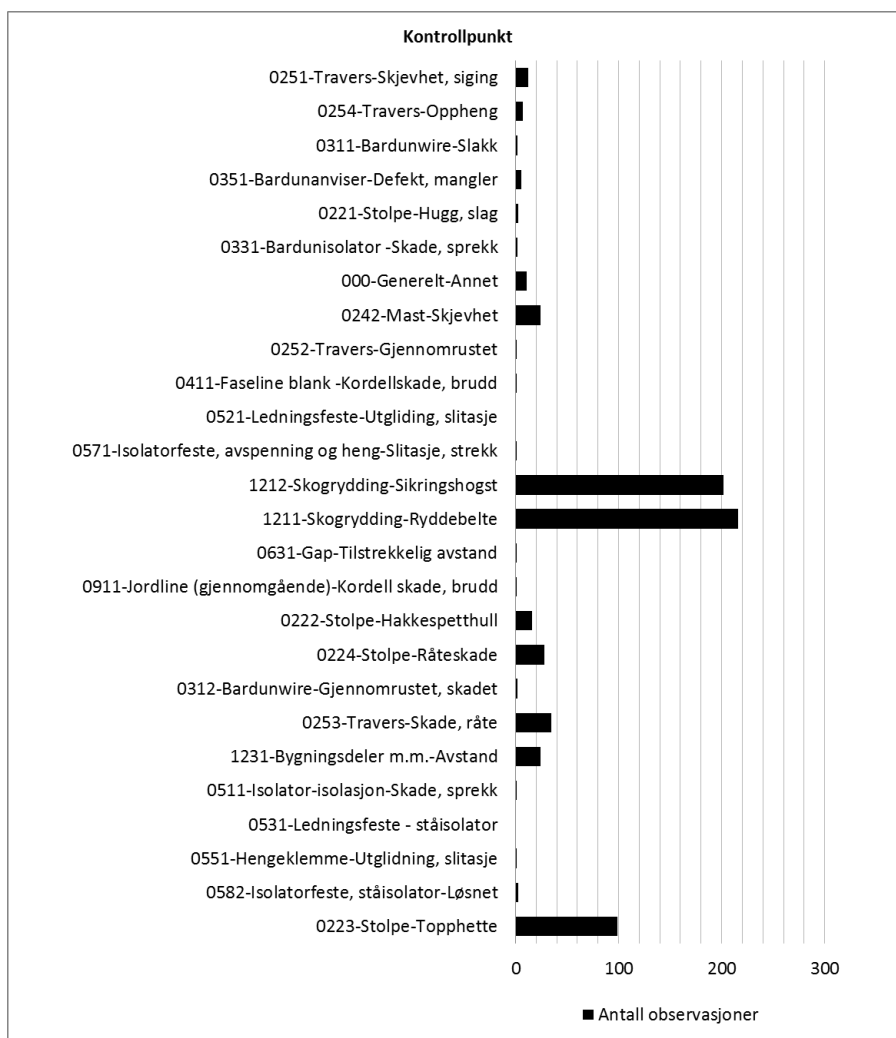
Figur 4.22 viser at mye av de registrerte feilene kan anses som svært alvorlige. I tillegg viser figuren at det kun er registrert feil i perioden fra 2012 til 2014. Det antas at det har vært observert feil i tidsperioden før 2012 også, mangel på data kan skyldes det tidligere ikke vært rutiner for registrering av observasjoner i NetBas-systemet. Dette kan også forklare hvorfor det lave antallet av registreringer på feil som vist i Figur 4.23. Figur 4.23 viser at det kun er registrert feil ved 3% av mastene som brukes her i analyse.



Figur 4.23: Prosent antall master med og uten registrert observasjon med informasjon om tilstand [14].



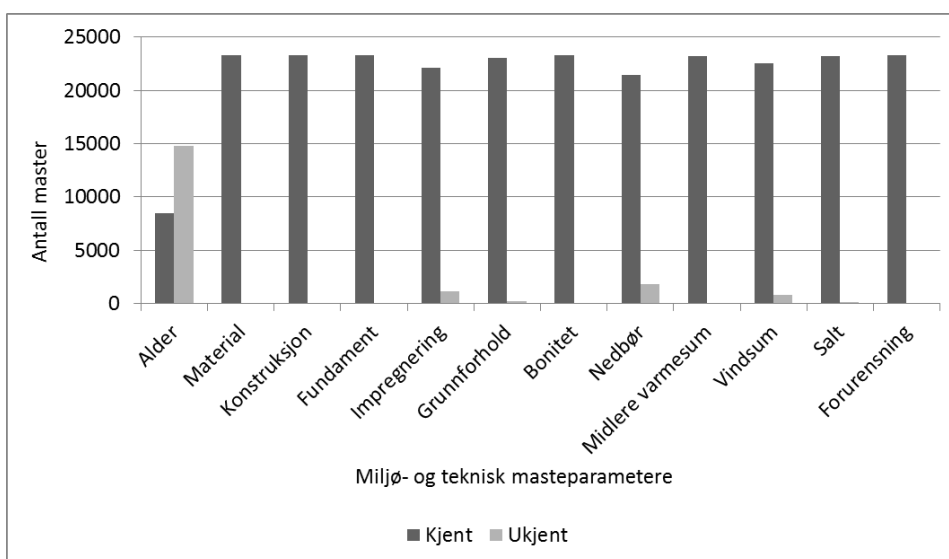
Mastesystemet består av forskjellige komponenter som kan føre til ulike utfall/feil. Figur 4.24 viser de ulike delene av mastesystemet som har vært kontrollert, og hvor utførelsen av arbeidet er blitt registrert i NetBas. Figur 4.24 viser at mye av disse beskriver behov for å senke nivået på bonitet i området (1211 og 1212 - Skogrydding). Utenom det er det registrert hakkespetthull, råteskader og typer av skader. De skadene som beskrives her kan variere i alvorlighetsgrad (tilstandsnivå) og er registrert ved ulike tidspunkter.



Figur 4.24: Antall registrerte observasjoner for ulike typer av feil/registrert ved ulike kontrollpunkt [14].

### 4.3 Usikkerheter i datagrunnlaget

Det er gjort et forsøk på å anslå utskiftningstid på 23 290 master i denne analysen basert på innsamlede data for mastene. Data er først samlet inn ved hjelp av ArcGIS og Netbas. Deretter er det gjort et forsøk på å utlede manglende data. Data er utledet først ved hjelp av antagelsen om samme egenskap på master med samme ledningsnummer og linjesamlingsnummer (dette gjelder kun for impregneringsmetode og material), deretter basert på ulike statistiske grunnlag og erfaring som beskrevet i forskjellige forskningsrapporter og/eller erfaring fra TEN. Mangel i datagrunnlaget for de ulike parameter er som vist i Avsnitt 4.3.



Figur 4.25: Oversikt over antall master med og uten informasjon om anslått planlagt utskiftning i forhold til de ulike parameterne.

Avsnitt 4.3 viser at det er datamangel for mange av parametrene på de rundt 23 000 mastene som har blitt analysert. Spesielt mangler det mye informasjon for parameteren alder og det er noe datamangel på parametrene impregnering, vind og nedbør. Men det har vært mulig å anslå utskiftningsbehov for de fleste parametrene. Anslått data vil kunne gi nyttig informasjon med hensyn til analysen, men ettersom de er basert på antagelser så kan det være høye usikkerheter i datagrunnlaget.

## 5 | Etablering av levetidsmodeller

I dette kapitlet er det etablert to levetidsmodeller for tilstandsvurdering av tremaster, Modell I og II. Modellene brukes til å anslå planlagt utskiftningsår for mastene. Levetidsmodellene er basert på statistiske grunnlag og tidligere forskning som beskrevet i Kapittel 2. I Kapittel 6 er det utført analyser i reinvesteringsbehov som følge av tilstand basert på Modell I og II. I Kapittel 7 er det gjort undersøkelser av behov for reinvestering med teknisk-økonomisk analyse basert på Modell I. I analysedelen er det brukt datagrunnlaget som er beskrevet i Kapittel 4.

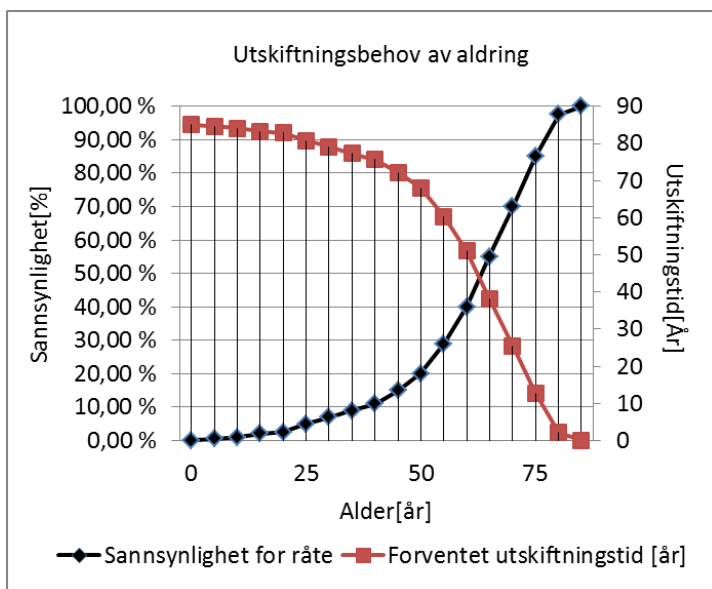
### 5.1 Etablering av parametere i levetidsmodellene

#### 5.1.1 Kort om parameterne i levetidsmodellene

De etablerte levetidsmodellene brukes til å anslå tilstandsutvikling i master. Modellene er basert på antagelsen om at mastekonstruksjoner aldres organisk som følge av tekniske masteparametere og miljøparametere. Hver parameter anslår gjenstående tid til utskiftning som følge av degradering i mastekomponenten kun som følge av denne parameteren. I modellen antas det at masten er i perfekt tilstand ved startåret, som er år 0 i analysen, med hensyn til alle parameterne. Dette som følge av mangel på tilstandsdata som vist i Figur 4.23. Det er påvist ulike typer av degradering/aldring i ulike grad ved flere av mastene som beskrevet i Figur 4.22. Resultater for tilstand er registrert for kontroll utført i perioden 2012 til 2014. Det mangler data om tilstand på master utenom denne tidsperioden. Mest sannsynlig har flere av mastene opplevd noen form for degradering og aldring i tillegg til de mastene med registrert tilstand i NetBas. Derfor vil antagelsen om at alle mastene er i perfekt tilstand føre til usikkerheter i modellen. Det er valgt å fokusere på tremaster og råtemekanismen i trestolper. Det er valgt å fokusere på tremaster ettersom datagrunnlaget for analysen består av en betydelig andel av tremaster som vist i Figur 4.20. Som beskrevet i Avsnitt 2.2 skyldes skader i tremaster som oftest slitasje og råte av treverket [28].

### 5.1.2 Byggeår

Levetiden som en funksjon av parameter byggeår er bestemt basert på statistisk resultat fra SINTEF [29]. Det er beregnet sannsynlighet for råte ved tremaster som funksjon av alder basert på en undersøkelsen av 60 000 master ved Oslofjorden utført ved SINTEF. Dette er som beskrevet i Avsnitt 2.2.2. Resultatet fra forskningen anslår sannsynlighet for råteangrep i tre-stolper som en funksjon av alder på stolpen. Forskningsresultatet brukes her som statistisk grunnlaget for å estimere sannsynlighet for utfall for master. Forventet utskiftningstid er beregnet som produktet av forventet levetid på tremast (70 år) [11], som beskrevet i Avsnitt 2.2, og sannsynlighet for råte på den tremasten basert på statistiske resultater som er beskrevet i forskningsresultater fra SINTEF. Forventet utskiftningstid som en funksjon av alder og sannsynligheter for råteutvikling som en funksjon av alder er som vist i Avsnitt 5.1.2. Avsnitt 5.1.2 kan for eksempel brukes til å vise at dersom det kun taes hensyn til parameter byggeår, en mast er 40 år i analyseåret år 0 så er det anslått at masten vil bli skiftet ut om 75 år.



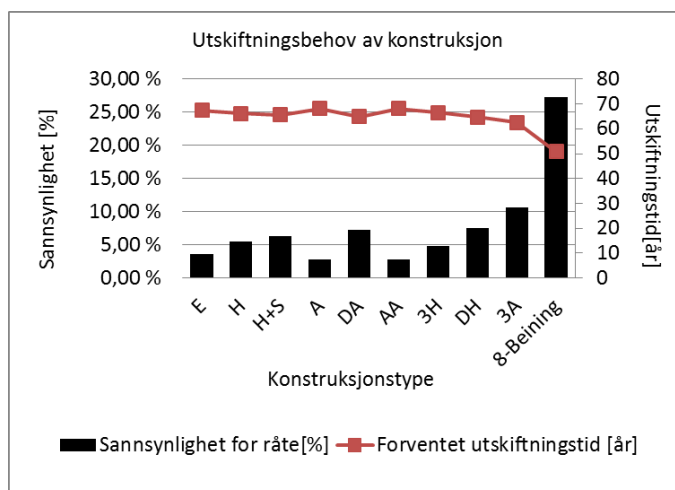
Figur 5.1: Planlagt utskiftning og sannsynlighet for råte som funksjon av alder på masten [11] [29].

### 5.1.3 Konstruksjon

Dette er utledet basert på erfaring fra tidligere forskning ved SINTEF og statistiske resultater fra TE [12] [29]. Her er det brukt kunnskap om typiske utsatte råtepunkter for ulike mastekonstruksjoner og resultater fra tilstandskontroll av sannsynlighet for råte ved ulike mastekonstruksjoner som er beskrevet i Avsnitt 2.2.2. Statistiske resultater fra TE som også er beskrevet i tabellen inneholder usikkerheter ettersom de kontrollerte konstruksjonene også kan være under påkjenning av andre faktorer enn selve konstruksjonen, som fundament og montasjemetode. Informasjon om antall utsatte råtepunkter er også med brukt basert på usikkerheter ettersom ulike råtepunkter kan bidra til råteutvikling i ulike grad. Her er det valgt å sammenstille resultater fra SINTEF og TEs trestolpeanalyse [12] [29].

Det er valgt å estimere sannsynlighet råte for de konstruksjonene som kun er gitt med informasjon om antall utsatte råtepunkter. Dette blir gjort basert på det sammenstilte datagrunnlaget for mastekonstruksjoner som både har informasjon om antall råtepunkt og sannsynlighet for råte. Det er ikke funnet sammenheng i resultater fra SINTEF og TE med hensyn til antall råtepunkt og sannsynlighet for råte. Dette antas å skyldes usikkerheter i begge datagrunnlagene. Derfor velges det å sette sannsynlighet for råte basert på den mastekonstruksjonen som antas å ha forholdsvis sikrere data fra en eller begge kildene.

Ved TEs trestolpeanalyse er det kontrollert 131 E-master, 2886 H-master og 180 DA-master [12]. Resultatet for H-master er basert på det størst datagrunnlaget, derfor velges det å estimere sannsynlighet råte for ulike antall råtepunkter basert på resultatet for H-master. H-master har 6 råtepunkter og sannsynlighet for råte på 5,44% [12] [29]. Det antas at 0 råtepunkter har 0,00% sjanse for råte. Ut ifra dette er det beregnet at det er 5,44%/6-sjans for råte ved hvert råtepunkt. Ved hjelp av dette er det estimert sannsynlighet for råte for E-, A-, DA-, AA-master og H-master med streve. Ved 3H-, DH-, 3A-master og 8-beininger brukes det resultater fra TEs tilstandskontroll ettersom disse ikke er gitt med informasjon om antall utsatt råtepunkt ved SINTEF [29]. Planlagt utskiftningsår er anslått å være gitt av produktet av sannsynlighet for råte for de ulike mastekonstruksjonene og forventet levetid på tremaster (70 år) [11] (som beskrevet i Avsnitt 2.2). Den resulterende planlagte utskiftningstiden er som vist i Avsnitt 5.1.3.



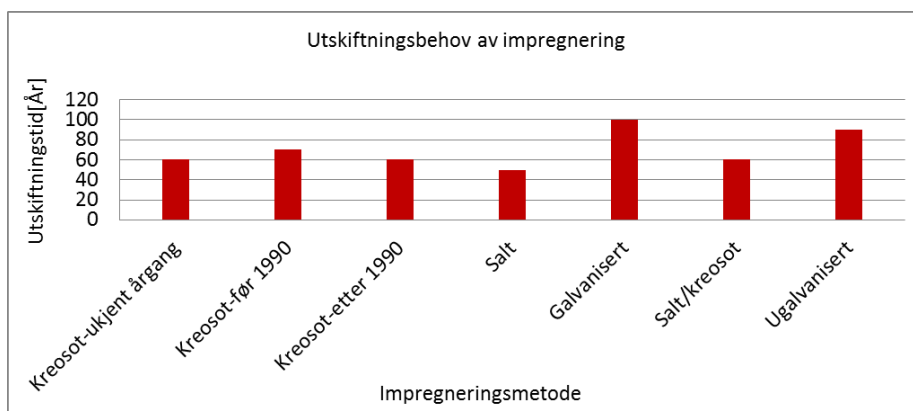
Figur 5.2: Planlagt utskiftning og sannsynlighet for råte med ulike mastkonstruksjoner [11] [12] [29].

Å anslå sannsynlighet for råte basert på informasjon om antall råtepunkter fører til usikkerheter i analysen. Dette ettersom ulike råtepunkter kan ha ulike effekt på sannsynlighet for råteutvikling i trestolper.

#### 5.1.4 Impregneringsmetode

Stolper med saltimpregnering er mer utsatt for råte enn stolper med kreosotimpregnering basert på tidligere forskning som beskrevet i Avsnitt 2.2.2 [29]. Derfor antas det her at stolper med saltimpregnering har kortere forventet levetid enn stolper med kreosotimpregnering. I tillegg er det kjent at det finnes to ulike typer av kreosotimpregnering i TE-nettet [18]. Kreosotimpregnering er som brukes før og etter 1990-årene er av forskjellige kvaliteter som beskrevet i Avsnitt 3.4.4. Stål er også inkludert i modellen. Stål har lengre levetid enn treverk, hvor at galvanisert stål igjen vil ha lengre levetid enn ugalvanisert stål. Her vil analysen være basert på den typiske antagelsen om at tremaster har forventet levetid på 70 år og stål master 100 år som beskrevet i Avsnitt 2.2 [11]. I denne undersøkelsen antas disse å være maksimal levetid for hver av materialtypene. Det vil si trestolper med kreosotimpregnering fra før 1990 antas å være den impregneringstypen som gir lengst levetid for trestolper, impregneringsmetoden antas her å ha behov for utskiftning om 70 år. Galvanisert stål gir lengre levetid enn ugalvanisert stål og er den impregneringsmetoden på stål som skal gi lengst forventet levetid, her antas den å ha

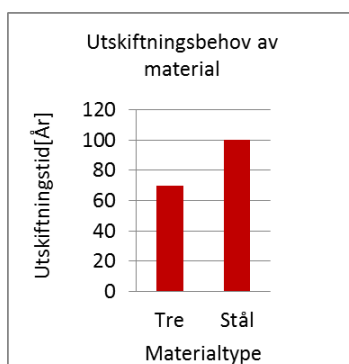
levetid på 100 år.



Figur 5.3: Planlagt utskiftningsbehov som en funksjon av ulike impregneringsmetoder [18] [11] [29].

### 5.1.5 Material

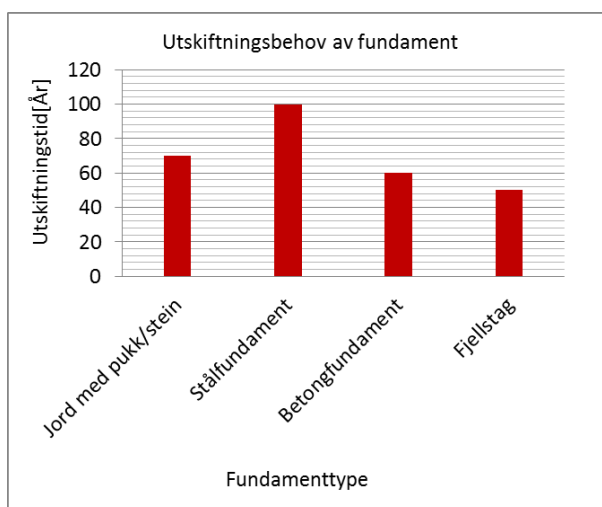
Her settes det 70 års levetid på tremaster og 100 års levetid på stålmaster ettersom disse antas å være typisk forventet levetid for master med disse bygningsmaterialene som beskrevet i Avsnitt 2.2 [11].



Figur 5.4: Planlagt utskiftningstid for ulike typer av materialer som brukes i mastekonstruksjonen [11].

### 5.1.6 Fundament

Fundamenttypene fjellstag, betongfundament og skoring på jordsmonn er beskrevet under Avsnitt 2.2.2. Empiriske resultater fra NTI indikerer lav sannsynlighet for råte på fjellgrunn, men ved tilstandskontroll utført ved TE er det funnet mye råte i tremaster på fjellområder [12] [17]. Forsker ved SINTEF mente dette skyldtes at det ofte bores hull for stagbolt og slås inn kramper for fotbolt på fjell noe som fører til høy sannsynlighet for råte [27]. Dette er som beskrevet i Avsnitt 2.2.2. Basert på resultater fra NTI, TE og SINTEF er valgt å anta at fjellstag er den av fundamenttypene som bidrar i størst grad til råteutvikling [27] [12] [17]. Som beskrevet i Avsnitt 2.2.2 er det funnet flere utsatte råtepunkter på tremaster med betongfundament enn de med skoring på jordsmonn, som vist i Tabell 2.3 [29]. Basert på resultatet fra SINTEF [29] er det valgt å anta at betongfundamenter har større sannsynlighet for råteutvikling enn skoring på jordsmonn. Stålfundamenter antas å ha lengre levetid enn fundamenter på trestolper ettersom stål typisk har lenger levetid enn tre [11]. Her velges det å anta 100 år i forventet levetid på stålfundament i likhet med antagelsen som er gjort på stålmaterialet [11]. Skoring på jordsmonn er det trefundamentet som her antas å ha lengre levetid i forhold til andre fundamenttypene, det antas at den vil ha behov for utskiftning om 70 år. Det antas betongfundament vil ha behov for utskiftning om 60 år. Verdien er tilfeldig valgt og skal kun brukes til å demonstrere antagelser som er beskrevet tidligere i dette avsnittet.



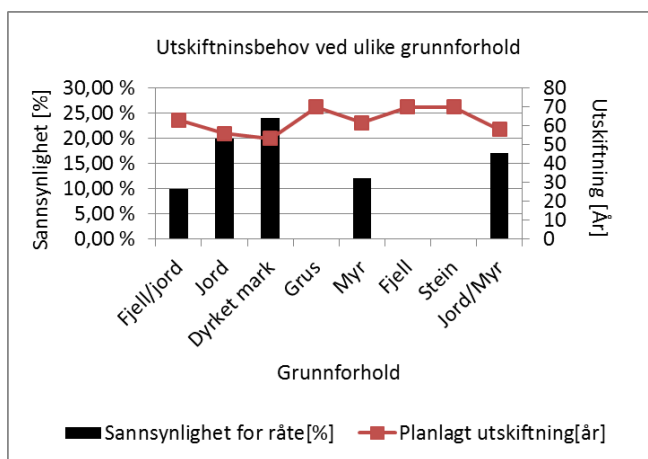
Figur 5.5: Planlagt utskiftningsstid for ulike fundamenttyper [27] [11] [12] [17] [29].



### 5.1.7 Grunnforhold

Her velges det å basere analysen på erfaringer og data fra empiriske observasjoner ved NTI og laboratorie- og statistiske resultater fra SINTEF som er beskrevet i Avsnitt 2.2.2 [17] [28].

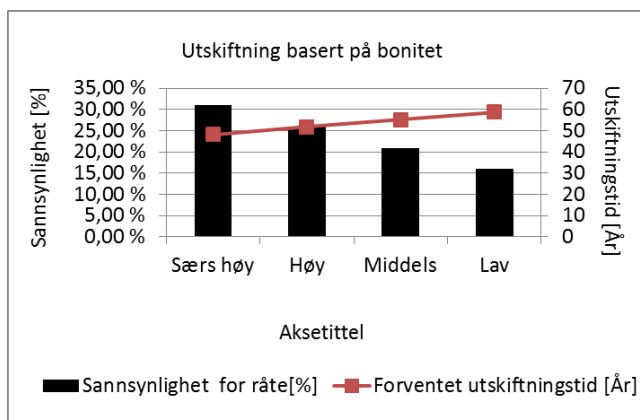
Laboratorie- og statistiske resultater fra SINTEF viser at det er 0% i sannsynlighet for råte på steingrunn [28]. Derfor er det valgt å anta at tiden fram til planlagt utskiftning ved fjell-, stein- og grusområder bør med reduseres med 0% i forhold til normalt forventet levetid for trestolper på 70 år [11]. Ved myrområder er det i resultater fra SINTEF påvist en sannsynlighet på 12% for råteutvikling slik at det antas at tiden fram til planlagt utskiftning ved myrområder bør med reduseres med 12% i forhold til forventet levetid på 70 år [28]. Det er dobbelt så raskt nedbrytning i dyrket mark enn i myrområder basert på empiriske observasjoner ved NTI, derfor er det her valgt å sette verdien for reduksjon i tid fram mot utsiftningsbehov ved dyrket mark på  $2 \times 12\% = 24\%$  [17]. Moldjord i skog bidrar med høy risiko for råte, men mindre enn i dyrket mark i følge NTI [17]. Dette fører til anagelsen om at sannsynlighet for råteutvikling på jord kan ha en litt lavere verdi enn dyrket mark, men høyere enn for de andre grunntypene. Andre blandingsgrunntyper som fjell/myr og jord/myr antas å ha sannsynlighet for råteutvikling basert på gjennomsnittsverdier som er satt for disse to grunntypene.



Figur 5.6: Planlagt utskiftningstid for ulike grunnforhold [11] [17] [28].

### 5.1.8 Bonitet

Empirisk datagrunnlag fra NTI viser at det er en sannsynlighet på 16% for råteutvikling i skogområder som beskrevet i Avsnitt 2.2.2 [17]. I AR5 er skogområdene beskrevet med fire ulike nivåer etter mengde vegetasjon eller bonitet som beskrevet i Tillegg A [10]. Her antas det at høy mengde bonitet bidrar til høy risiko for råte blant annet på grunn av fuktighet som store mengder med vegetasjon gjerne kan føre med seg, som beskrevet i Avsnitt 2.2.2 [29]. I denne modellen er det valgt å anslå at det er en sannsynlighet for råteutvikling på 16% for skog med lav bonitet og at sannsynligheten øker med 5% for hvert nivå basert på empirisk data fra NTI [17]. Det er valgt å beregne levetiden som produktet av sannsynlighet for råte og typisk levetid for tremaster på 70 år som beskrevet i Avsnitt 2.2 [11]. Planlagt utskiftningsbehov for master som en funksjon av bonitetsnivå er som vist i Avsnitt 5.1.8.



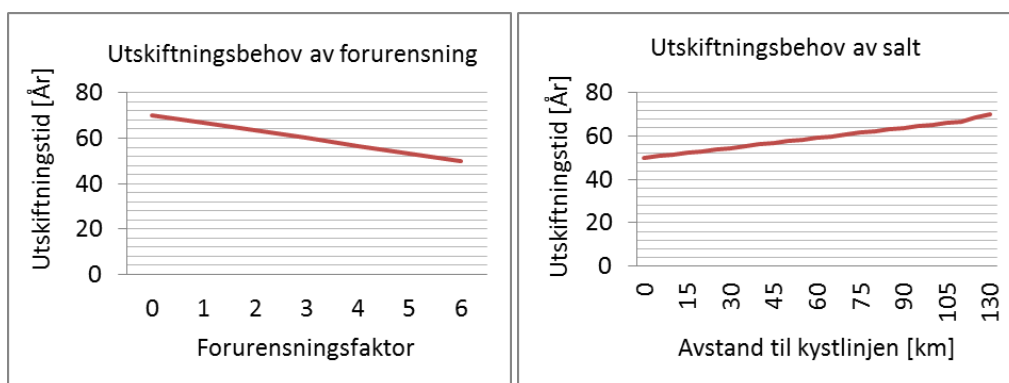
Figur 5.7: Planlagt utskiftningsbehov ved forskjellige bonitetsnivå [11] [17] [29].

### 5.1.9 Forurensning og salt

Forurensning og salt er miljøfaktorer som kan øke ledningsevne i tre og dermed forårsake mastebrann basert på tidligere forskning ved SINTEF som beskrevet i Avsnitt 2.2.2 [15]. Det er valgt å utlede informasjon om salt basert på avstand mellom kyst og master basert på TES erfaring som beskrevet i Avsnitt 3.1 [18]. Informasjon om forurensning er utledet basert på forskning ved NILU som beskrevet i Avsnitt 3.4.3 [7]. I levetidsmodellen er det valgt å anslå utskiftningsbehov basert på forureningsfaktor og avstand til kystlinjen. Det antas at levetiden kortes ned lineært med avstand til kystlinjen og økning i mengde forurensning mastene utset-

tes for, og at levetiden kan kortes ned med maksimalt 20 år fra typisk levetid på 70 år som følge av bidrag fra hver av faktorene. Planlagt utskiftning som følge av salt og forurensning er som vist i Avsnitt 5.1.9 og Avsnitt 5.1.9.

Degradering som følge av salt og forurensning er basert på forenklinger og antagelser noe som fører til usikkerheter i modellen. I denne oppgaven er det valgt å utlede data for forurensning som en funksjon av temperatur, regn, vind og grunntype basert på rapporter fra NILU som beskrevet i Avsnitt 3.4.3. Forurensningsdata er utledet basert på forenklinger i beskrivelse av mekanismer ved de ulike klimaparameterne. Mange av parameterne bidrar til degradering i master på ulike måter og ikke alle mekanismene er inkludert i beskrivelse av forurensning. For eksempel kombinasjon av regn og forurensning vil kunne øke sannsynligheten for mastefeil, men regn vil også bidra til å redusere luftforurensning noe som reduserer sannsynligheten for mastefeil. I modellen fra Avsnitt 3.4.3 er det kun tatt hensyn til at regn bidrar til å redusere forurensningsnivået og ikke at den øker sannsynligheten for feil. Forurensning vil også kunne påvirke ulike mastekonstruksjoner på ulike måter, blant annet med hensyn til antall metalliske kontaktpunkter og bolter som beskrevet i Avsnitt 2.2.2 [15]. Påkjenning fra forurensning med hensyn til ulike mastekonstruksjoner er ikke inkludert i levetidsmodellen. Nedbør øker sannsynligheten for mastefeil som følge av saltbelegg på samme måte som for forurensning som beskrevet i Avsnitt 2.2.2 [15].



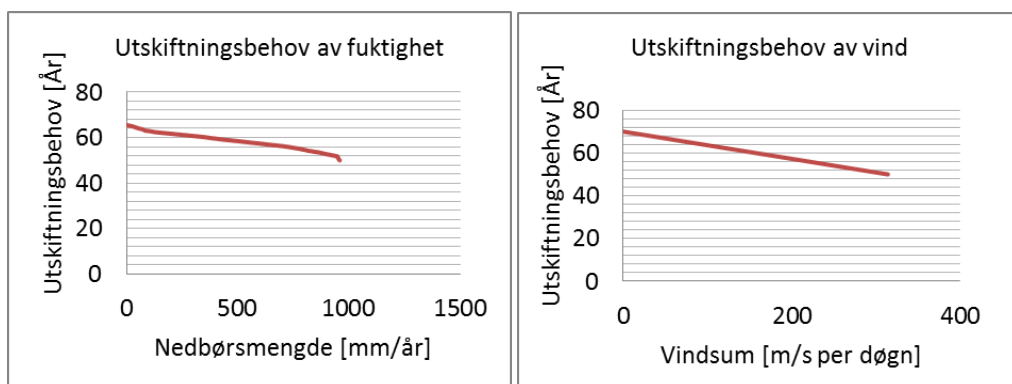
(a) Forurensning

(b) Salt

Figur 5.8: Planlagt utskiftning som følge av påkjenning fra salt og forurensning [7] [18] [15].

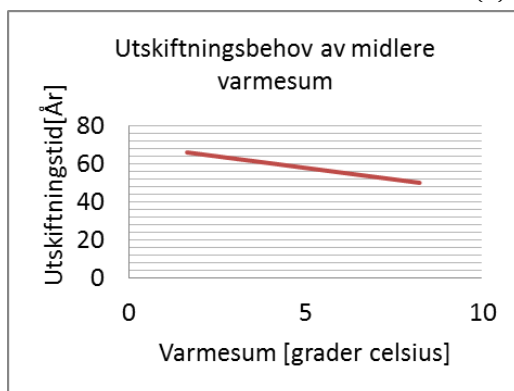
### 5.1.10 Nedbør, temperatur og vind

Fuktighet, temperatur og vind bidrar til råte og mekanisk påkjenning på master som beskrevet i Avsnitt 2.2.2 [29]. I denne analysen er det valgt å beskrive fuktighet basert på informasjon om nedbør som beskrevet i Avsnitt 3.1 [3]. Temperatur kan beskrives med varmesum som beskrevet i Avsnitt 2.2.2 og Avsnitt 3.1 [29]. Vind er beskrevet med vindsum og vindretning som beskrevet i Avsnitt 3.1. Det er valgt å anta at levetiden kan kortes ned med maksimalt 20 år fra typisk levetid på 70 år som følge av påkjenning fra hver av miljøfaktorene. Planlagt utskiftningsbehov er som beskrevet i Avsnitt 5.1.10, Avsnitt 5.1.10 og Avsnitt 5.1.10.



(a) Nedbør

(b) Vind



(c) Varmesum/temperatur

Figur 5.9: Planlagt utskiftning som følge fukt, temperatur og vind [3] [29].

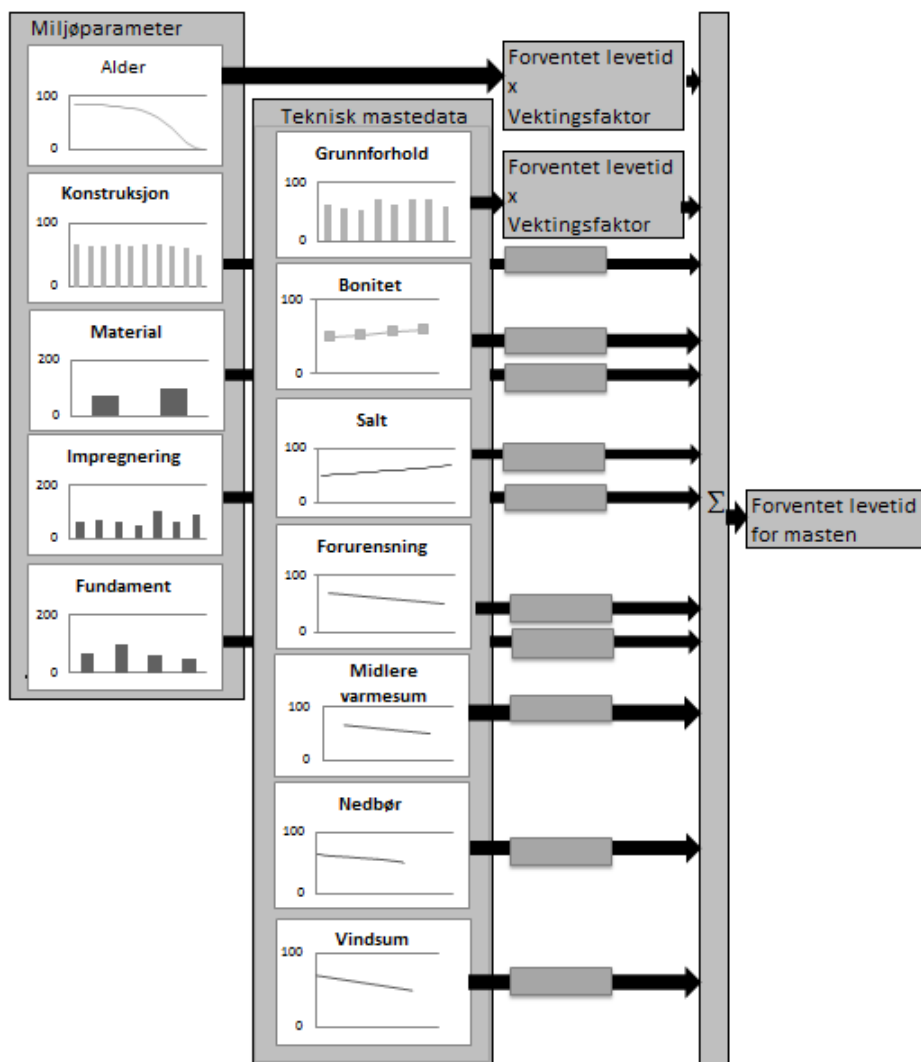
## 5.2 Framgangsmetoder som brukes i levetidsmodellene

Her er det etablert to levetidsmodeller basert på miljø- og teknisk masteparametere som er beskrevet i Avsnitt 5.1. Den første modellen (Modell I) er basert på antagelsen om at utskiftningsåret kan anslås ut ifra den samlede påkjenningen fra de ulike parametere. I den andre modellen (Modell II) er det brukt antagelsen om at behovet for utskiftning av mast utløses ved et tilfeldig parameter i modellen.

### 5.2.1 Modell I-Utskiftning basert på samlede påkjenning

Modell I er basert på framgangsmåten som beskrevet i Avsnitt 2.1.1 og illustrert i Figur 2.2 [23]. I Avsnitt 2.1.1 er tilstand på komponenter beskrevet ved hjelp av sammensatte helseindekser. En slik sammensatt helseindeks er basert på tilstandsvurderinger av delkomponenter og satt sammen av helseindekser for delkomponentene. En slik framgangsmåte er demonstrert gjennom et eksempel med tilstandsvurdering av en transformator. Framgangsmåten er illustrert i Figur 2.2.

Modell I er illustrert i Avsnitt 5.2.1 hvor at ulike miljø- og tekniske masteparametere oppsummeres i en verdi til å anslå utskiftningsår for masten. Påkjenning fra miljø- og teknisk masteparameter gir hver for seg ulike forventet levetid for masten. I modellen er det muligheter for å vektlegge de ulike parametere etter deres effekt på degradering i master i forhold til de andre parametere i modellen. Produktet av forventet levetid og vektingsfaktor av parametere summeres sammen til planlagt utskiftningsår for masten. Vektlegging av mastene integreres i modellen ved at hvert parameter får et vektingsfaktor. Summen av alle vektingsfaktorene skal kunne legges sammen slik at totalsummen er 1 som vist i ligningen under Avsnitt 5.2.1. Resultater fra Modell I er beskrevet i Avsnitt 6.2.



Figur 5.10: Flytdiagram for beregning/estimering av tilstanden på mastesystemet basert på modell for beregning av helseindeks som har vært brukt i tidligere forskning [23].

hvor at betingelsen for vektingsfaktorene er:

$$\sum_{i = \text{Alder, konstruksjon...}} \text{Alle vektingsfaktorene} = \text{Vektingsfaktor}_i = 1 \tag{5.1}$$

## 5.2.2 Modell II-Utskiftning basert på kritisk påkjenning

Framgangsmåten som brukes i Modell II er basert på modellen for aggregering av ulike observasjoner som er beskrevet i Avsnitt 2.1.3 [34]. I Avsnitt 2.1.3 er det gitt en beskrivelse av framgangsmåten for vurdering av ulike observasjoner som fører til svikt i mast som vist i Figur 2.7. Modellen som vist i Figur 2.7 er basert på kurver for sviktsannsynlighet. Det blir utført en sammenligning av sviktsannsynlighetskurver for de ulike observasjonene, slik at den av observasjonene med svikt som forekommer på et tidligere stadiet regnes å være den kritiske observasjonen for et prosjekt og er den svikten som prioriteres først.

I Modell II er det gjort antagelse om at parameterne er uavhengig av hverandre og at masten kan skiftes ut som følge av en parameter. I likhet med modellen som vist i Figur 2.7 vil det være behov for å sammenligne tid for planlagt utskiftning for de ulike mastene med hensyn til alle parameterne. Analysen utføres ved at tid for planlagt reinvestering som følge av enkel parameterne ved de ulike mast settes opp i en tidslinjen, slik at det blir mulig å sammenligne de ulike parameterne med hensyn til tid. Den av parameterne som fører til utskiftningsbehov på et tidligere stadiet regnes å være den kritiske parameteren og fører til utskiftningsbehov av masten.

## 5.3 Usikkerheter og antagelser i levetidsmodellene

De ulike parameterne i levetidsmodellen er etablert basert på antagelser og forenklinger fra tidligere forskning, TEs erfaring og statistisk grunnlag noe som fører til usikkerheter i modellen som beskrevet i Avsnitt 5.1. I den nåværende modellen er det valgt å fokusere på trestolper og råtemekanismen noe som også fører til usikkerheter. Det er en betydelig andel av tremaster i datagrunnlaget, men datasamlingen består også av en liten mengde stålmaster som vist i Figur 4.20. Både råte i treverk og mekanisk slitasje er viktige degradering-/aldningsmekanismer og begge faktorene kunne føre til betydelige degraderinger i tremaster som beskrevet i Avsnitt 2.2 [28]. Med bedre informasjon og mer hensyn til stålmaster og degraderingsmekanismen mekanisk slitasje er det mulig å øke kvaliteten og påliteligheten av modellen.

Som beskrevet i Avsnitt 5.1.1 er modellene basert på antagelsen om at mastene er ved perfekt

tilstand med hensyn til alle parameterne ved analyseåret 0. Dette på grunn av mangel på informasjon om alder og tilstand for de ulike mastene. Det er kjent at flere av mastene har vist ulike grad og former for degradering/aldring som beskrevet i Figur 4.22 og det er mest sannsynlig flere av mastene som ikke er i perfekt tilstand. Derfor vil antagelsen om at alle mastene er i perfekt tilstand føre til usikkerheter i modellen.

Modellene er etablert basert på antagelsen om at hver av parameterne kan brukes til å anslå gjenstående tid til utskiftning som følge av degradering i mastekomponenten kun som følge av denne parameteren som beskrevet i Avsnitt 5.1.1. Dette fører til usikkerheter i modellene. Mange av parameterne i modellen er avhengig av hverandre. Forurensningsdata er for eksempel bestemt som en funksjon av grunn-, vind- og nedbørsdata som beskrevet i Figur 3.13.



## 6 | Analyse av reinvesteringsbehov basert på tilstandsdata

I dette kapitlet er det utført analyser ved hjelp av levetidsmodeller som er etablert i Kapittel 5 med hensyn til behov for reinvestering basert på tilstand. I analysen er det brukt datagrunnlag sammenstilt fra NIS- og GIS-data. Datagrunnlaget er som beskrevet i Kapittel 4.

### 6.1 Levetidsmodell og datagrunnlag for analyse basert på tilstand

To levetidsmodeller er etablert basert på tidligere forskning, statistiske resultater og TEs erfaring som beskrevet i Kapittel 5. I dette kapitlet er det utført analyser ved hjelp av disse to modellene i forhold til behov for reinvestering basert på tilstand på trestolper. I analysen er det brukt datagrunnlag sammenstilt fra NIS- og GIS-data. Datagrunnlaget består av data importert fra sentralarkivet i NetBas, de som er hentet ut ved hjelp av databehandling i ArcGIS og data som er utledet basert på uthentet dataene fra NetBas og ArcGIS. Data er utledet basert på tidligere forskning, statistisk grunnlag og TEs erfaring. Mer om framgangsmåten for sammenstilling av data er som beskrevet i Kapittel 3. Oversikt over alle dataene som er funnet, beregnet og estimert og som her brukes i analysen er som beskrevet i Kapittel 4.

Det ferdigsammenstilte datagrunnlaget som analysen baserer seg på inneholder betydelig andel med ukjent mast- og miljødata som vist i Figur 4.23. Dette bidrar til usikkerheter i analysen. Levetidsmodellene er basert på antagelser om at en mast er i perfekt tilstand i år 0 med hensyn til alle parameterne ved masten. I tillegg er mekanismen ved alle parameterne basert på antagelser og inneholder usikkerheter som beskrevet i Kapittel 5. Både modellen og parameterne som modellen består av er basert på usikkerheter.

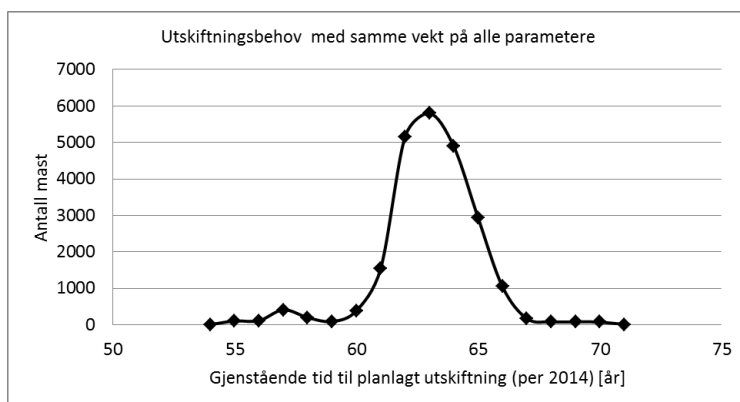
## 6.2 Sensitivitetsanalyse basert på Modell I

### 6.2.1 Kort om sensitivitetsanalyse

Sensitivitetsanalyser er utført basert på Modell I som er beskrevet i Avsnitt 5.2 og illustrert i Avsnitt 5.2.1. Ved hjelp av sensitivitetsanalyse er det mulig å se bidraget fra hvert av de ulike parametere i forhold til resulterende utskiftningsbehov av mastene. Analysen er utført for datagrunnlaget som er beskrevet i Kapittel 4. Modellen anslår planlagt utskiftningsstid med antagelsen om at dette kan bestemmes ut ifra den sammenlagte påkjeningen fra de ulike parametere. De ulike parametere i modellen vektlegges etter hvor mye de virker inn på sluttsammen for utskiftningsstiden på masten før legges sammen. I sensitivitetsanalysene er det gjort en undersøkelse på endring i planlagt utskiftningsstid for de ulike mastene som følge av endring i vektingsfaktorer. Vektingsfaktorer kan stilles inn til å beskrive en virkelighetsnær modell som gir gode anslag på tilstand ved master. I denne undersøkelsen mangler det datagrunnlag for å beregne eller estimere vektingsfaktorer, derfor er det satt inn tilfeldige verdier som vektingsfaktorer. Sensitivitetsanalysen kan blant annet gi et pekepinn på usikkerheter ved de estimerte vektingsfaktorene i forhold til hvor mye de ulike parametere bidrar til degradering i maste-konstruksjonen i virkeligheten.

### 6.2.2 Utskifting med samme vekt på alle parametere

I Avsnitt 6.2.2 er det anslått tid for planlagt utskiftning for ulike master ved at de ulike parametere på masten får samme vektleggingsfaktor. Grafen er en oversikt over antall master med utskiftningsbehov per år i tiden fremover. Resultater i Avsnitt 6.2.2 viser at det vil være mange master som må skiftes ut innenfor tidsperioden om 60 til 65 år fra i år (det vil si per 2014). Ved reinvesteringstoppen rundt 63 år framover i tid vil det være behov for å skifte ut opp til 6 000 master i løpet av et år. De førstkomende reinvesteringsbehovene er rundt 54 år i framtiden.



Figur 6.1: Antall master med utskiftningsbehov som en funksjon av tid basert på likt vektlegging av alle parameterne.

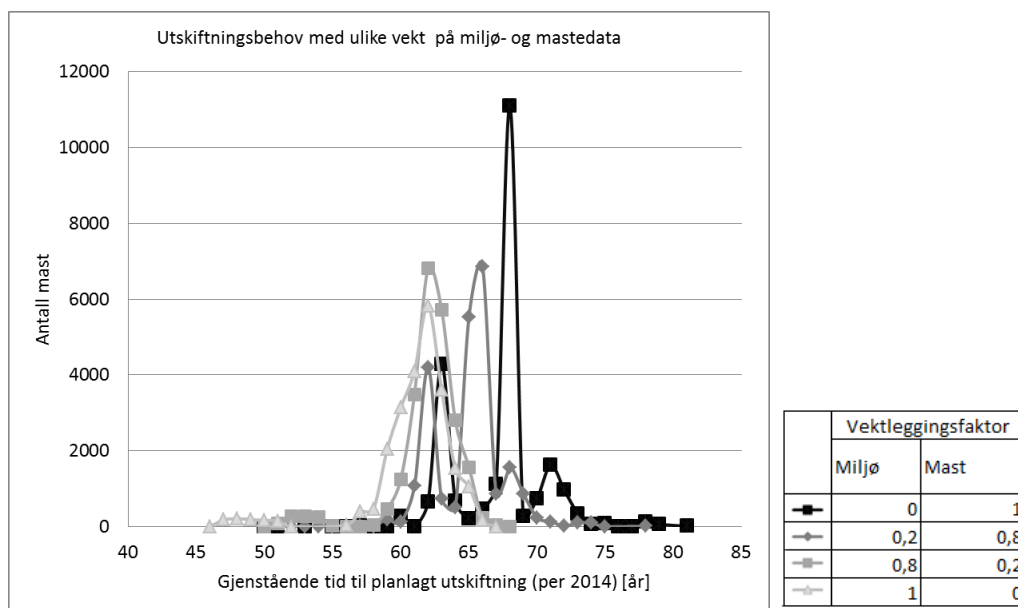
Resultatet i Avsnitt 6.2.4 er basert på antagelsen om at alle parameterne er i perfekt tilstand ved år 0, dette som følge av mangel på data om tilstand på mastene som beskrevet i Avsnitt 5.2. Som nevnt i Avsnitt 5.2 vil antagelsen om perfekt tilstand bidra til usikkerheter i modellen med tanken på at det er betydelig antall degraderte master i nettet som beskrevet ved tilgjengelig data. Alle parameterne er etablert basert på antagelser. I tillegg er det valgt å fokusere på trestolper og råtemekanismen i denne analysen noe som også fører til usikkerheter som beskrevet i Avsnitt 5.3. Dette ettersom datasamlingen består av en liten mengde med stålmaster i tillegg til mange tremaster. En viktig aldriingsmekanisme i tremaster er råte av treverk, men mekanisk slitasje vil også kunne føre til betydelige degraderinger som beskrevet i Avsnitt 2.2 [28]. Mangel på kunnskap om mekanisk slitasje fører til usikkerheter i modellen. Avsnitt 6.2.2 kan brukes til å gi en indikasjon på utvikling og aldring av tremaster som følge av råte. Det er forventninger om at resultatet ikke vil være i samsvar med virkeligheten.

### 6.2.3 Innvirkning fra miljø- og teknisk masteparametere

Her er det utført sensitivitetsanalyser med hensyn til miljø- og teknisk masteparametere. Det er gjort undersøkelser på endring i utskiftningsbehov som følge av forskjellige vektlegginger av teknisk masteparametere og miljøparametere. I denne analysen er det først beregnet to gjennomsnittsverdi i forventet utskiftning for hver mast, en som representerer forventet utskiftningsår kun som følge av miljøparametere og en annen for teknisk masteparametere. Disse to gjennomsnittsverdiene brukes i analysen i en undersøkelse hvor at disse to gjennomsnitts-

verdiene får ulike vektleggingsfaktorer. Undersøkelsen er utført med de vektingsfaktorene som er vist i tabellen til høyre for kurvene i Avsnitt 6.2.3. Summen av vektingsfaktor for gjennomsnittverdi av teknisk masteparametere og miljøparametere vil være én. På denne måten vil vektingsfaktorer for parameterne kunne tilfredsstille betingelsen for Modell I som gitt i Avsnitt 5.2.

Resultatet fra undersøkelsen er som vist i Avsnitt 6.2.3. Avsnitt 6.2.3 viser at økt vektlegging på teknisk mastedata fører til at utskiftningsbehov for et flertall av master forskyves til et senere tidspunkt. Ved at miljøparametere ekskluderes fra modellen og masteparametere antas å ha samme vekt vil resultatet bli reinvesteringstopp om 67 år. Med økende vekt på teknisk mastedata og minkende miljøfaktor så vil investeringstoppen flytte seg til et tidligere tidspunkt. Dersom det velges å vektlegge mastedata likt hvor at miljøparametere ekskluderes fra modellen så vil reinvesteringstoppen befinne seg 62 år framover i tid. Resultatet viser at ulike vektlegging av teknisk mastedata og miljødata vil kunne påvirke tidspunktet for reinvesteringstoppen. Det viser også at endrede vektlegging kan påvirke størrelsen av reinvesteringstoppen, det vil si det maksimale antallet av master som kan komme til å måtte bli skiftet ut i løpet av et år ved en utskiftningsstopp. Forskjell på størrelsen av reinvesteringstoppen kan komme opp på rundt 5 000 master på det maksimale. Reinvesteringstoppen minker ved økt vektlegging av miljøparameter. Dersom modellen kun er basert på miljøparametere og teknisk masteparametere ekskluderes fra modellen vil en reinvesteringstopp kunne føre til at rundt 6 000 master skiftes ut i løpet av et år. 11 000 master må skiftes ut i løpet av et år ved reinvesteringstopp dersom modellen kun er basert på teknisk masteparametere. Dette viser at forskjell på størrelsen av reinvesteringstopper kan på det maksimale komme på 5 000 master.



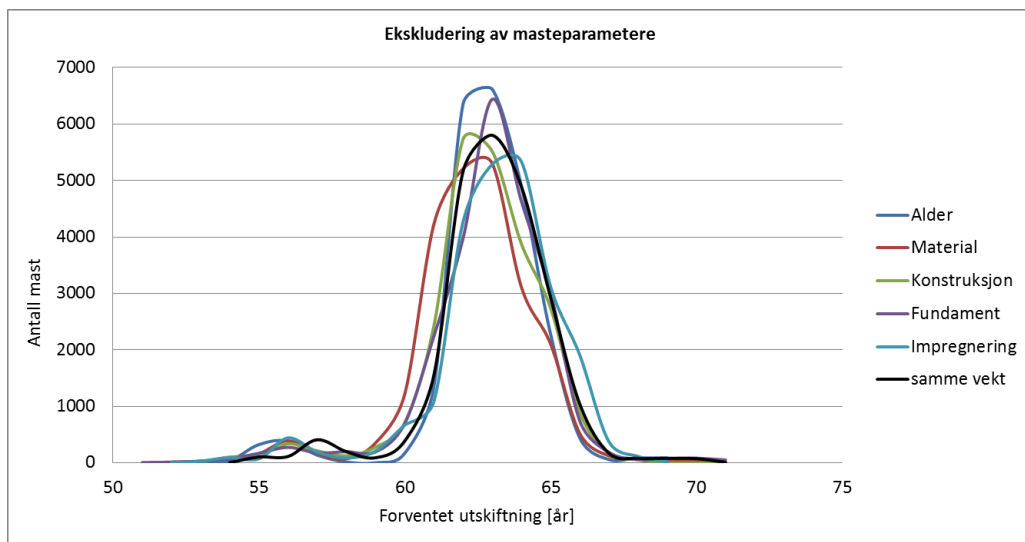
Figur 6.2: Antall master med utskiftningsbehov som en funksjon av tid med variasjon i vektlegging av parametere med skille mellom miljø- og masteparametere.

### 6.2.4 Innvirkning fra enkel parametere

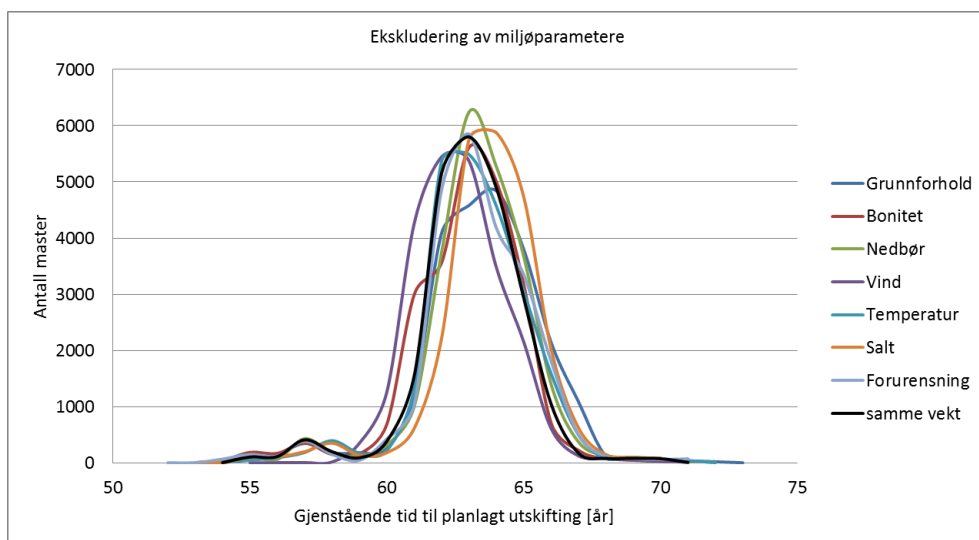
Her er det utført sensitivitetsanalyse med hensyn til hver enkelte parametere. Det er gjort en undersøkelse i konsekvensen av å "skru av" de ulike parametere slik at enkel parameter ekskluderes fra modellen. En etter en parameter vektlegges med null hvor at de resterende parametere vil ha samme vektleggingsfaktorer. Dette er undersøkt for alle miljø- og teknisk maste parametere. Resultatene er som vist i Avsnitt 6.2.4 og Avsnitt 6.2.4. En slik måte å skru avde ulike parametere på utføres først for alle masteparametere. Resultatet er som vist i Avsnitt 6.2.4. Deretter utføres undersøkelsen på samme måte for miljøparametere og dette gir resultatet som vist i Avsnitt 6.2.4.

Avsnitt 6.2.4 og Avsnitt 6.2.4 viser at alle parametere har en viss påvirkning på den resulterende utskiftningstiden. I begge grafene er det inkludert en kurve i svart som er generert med samme vekt på alle parametere som et felles utgangspunkt for lettere sammenligning mellom resultatet for miljø og mast. Resultatet viser at ekskludering av individuelle parametere vil kunne gi synlig forskjell i resultatene, men utskiftningskurven vil stort sett beholde den samme profilen.

Dette indikerer at hvert enkelt vektleggingsfaktor vil kunne påvirke reinvesteringstoppen slik at reinvesteringstoppen kan ha en usikkerhet  $\pm 1000$  master og med  $\pm 1$  år. Av teknisk parametere som vist i Avsnitt 6.2.4 vil spesielt parameteren alder ha betydning for størrelsen på reinvesteringstoppen og parameteren material fører til at utskiftningstoppen flytter seg til et tidligere tidspunkt. Avsnitt 6.2.4 viser at blant miljøparametere så vil grunnforhold ha betydning for antall master som skiftes ut, mens salt og vind vil ha større påvirkning på den resulterende reinvesteringstoppen med hensyn til tid.



Figur 6.3: Antall master med utskiftningsbehov som en funksjon av tid med variasjon i vektlegging av masteparametere.

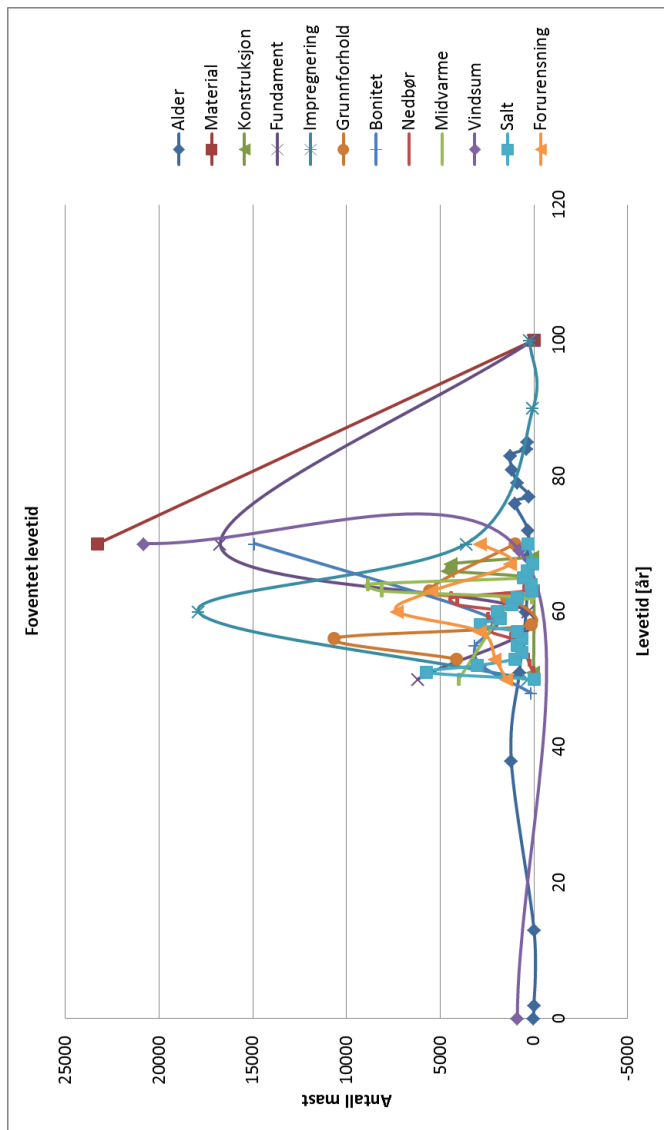


Figur 6.4: Antall master med utskiftningsbehov som en funksjon av tid med variasjon i vektlegging av miljøparametere.

### 6.3 Analyse basert på Modell II

Her er det utført analyser basert på Modell II. Modellen er beskrevet i Avsnitt 5.2. I Modell II antas det at en mast har behov for bli å skiftet ut dersom en av parameterne ved masten indikerer behov for utskiftning. Modellen er basert på antagelsen om at en mast er i perfekt tilstand med hensyn til alle parameterne ved år 0. Parameterne er etablert basert på antagelser med fokus på råteutvikling i tremaster. Antagelsene vil føre til usikkerheter i analyseresultatet som beskrevet i Avsnitt 5.3. De ulike parameterne er beskrevet i Avsnitt 5.1.

Den estimerte verdien for planlagt utskiftningsår skal kunne gi en indikasjon på behov for utskiftning av masten kun som følge av behov for utskiftning ved en av parameterne. For å kunne sette planlagt utskiftningstid for masten ved hjelp av Modell II er det behov for å identifisere den kronologiske rekkefølgen på behov for utskiftning for de ulike parameterne av masten. Den parameteren som indikerer tidligere behov for utskiftning en de resterende parameterne ved masten regnes å være den parameteren som utløser behovet for utskiftning av masten. Analysen er utført basert på datagrunnlaget som beskrevet i Kapittel 4. Resultatet fra analysen basert på Modell II er som vist i Avsnitt 6.3. Avsnitt 6.3 viser oversikt over anslått behov for utskiftning som følge av individuelle parametere ved alle mastene. Fra Avsnitt 6.3 er det mulig



Figur 6.5: Forventet utskiftningstid av hvert enkelte parameter ved de ulike mastene.



å se at utskiftning som følge av alder og langvarig påkjenning fra vind anslås å inntreffe på et tidlig stadiet for noen av mastene. Dette indikerer at vind og alder vil være de utløsende faktorene for utskiftning av disse mastene. Mastene vil bli skiftet ut ved det tidspunktet hvor de utløsende faktorene fører til behovet for utskiftning. Oversikten gir en indikasjon på de først-kommende reinvesteringsbehovene. Bilde vil endre seg etterhvert som tiltak blir utført for de ulike mastene. Etterhvert som master skiftes ved planlagt utskiftningsår som indikert i grafen ut så vil planlagt utskiftning som indikert i Avsnitt 6.3 endre seg. Dette ettersom en mast har flere parametere. Dersom en mast er skiftet ut som følge av en av parameterne så vil de andre parameterne for den samme masten som har senere forventet utskiftningsår også endre seg. Videre er det mulig å gå videre med analyse i tid basert på antagelsen om at mastene skiftes ved utskiftning som er gitt ved de utløsende parameterne.

Resultatet som vist i Avsnitt 6.3 indikerer at det er planlagt utskiftning av 898 master som følge av vind og 45 master som følge av alder. Dette fører til at ved år 1 så vil utskiftningsbehov ved alle parameterne for disse mastene bli oppdatert. Når mastene skiftes ut ved år 0 så antas det at de vil bli erstattet med nye master med perfekt tilstand ved alle parametere og mastene vil ha alder 0. De resterende mastene vil miste et år i tid fram mot planlagt utskiftning ved alle parameterne når år 0 har passert og mastene er i år 1. Fra år 1 vil det igjen bli foretatt vurdering av utløsende parameter for utskiftning slik at master med behov for utskiftning ved en av sine parametere kan bli skiftet ut. Deretter oppdateres planlagt utskiftningsår for disse i år 2. Prosessen gjentas til analysen er utført for hele analyse perioden. En slik prosess kan bli utført i Excel på en effektiv måten dersom det er brukt gode algoritmer. Dette vil ikke bli utført i denne oppgaven på grunn av tidsbegrensning.

Ved prioritering av tiltak for ulike master kun basert på informasjon om teknisk tilstand som gis i levetidsmodellen som vist i Avsnitt 6.3 så vil prosjektene prioriteres ut ifra forventet tidspunkt for planlagt utskiftning. Det er mulig å reparere mastene kun ved de delene hvor det forventes å oppstå problemer, for eksempel reparasjon av impregnering og fundament, men det er også mulig å skifte ut hele masten når en del av masten har behov for utskiftning. Så for de mastene som har blitt analysert i dette prosjektet ser det ut til at det er forhold som alder og påkjenning fra vind som mest sannsynlig ville føre til behov for tiltak i den nærmeste framtiden. Deretter er det behov for å prioritere prosjekter med master som har behov for utskiftning som følge av forhold ved impregneringen, fundamentet og konstruksjonsmaterialet. Dette ut ifra det som er vist i Avsnitt 6.3.

## 6.4 Usikkerheter i analyse basert på tilstand

Analysen med hensyn til tilstand er utført på et datagrunnlag med usikkerheter som beskrevet i Avsnitt 6.1. Datagrunnlaget er etablert basert på antagelser og det er betydelig datamangel i datagrunnlaget noe som fører til usikkerheter i analyseresultatet. Det er brukt levetidsmodeller etablert basert på antagelser i analysen noe som også fører til usikkerheter i resultatet.

Som beskrevet i Avsnitt 6.2 er det utført sensitivitetsanalyse ed hjelp av Modell I med hensyn til vektleggingsfaktorer på parameterne. Resultatet viser endringer i reinvesteringsbehovet som følge av ulike vektleggingsfaktorer. Hver parameter vil ha en individuell vektleggingsfaktor med antagelsen om at påkjenning fra en parameter er bestemt kun som følge av påkjenning av denne parameteren. Som beskrevet i Avsnitt 5.3 vil en slik antagelse føre til usikkerheter etter som enkelte parameterne er bestemt som en funksjon av andre parametere. Slik at vektlegging av denne parameteren vil være i konflikt være vektlegging av de andre parameterne som denne parameteren er avhengig av.

I tillegg er det det muligheter for å sette opp vektleggingsfaktorer basert på erfaring, statistikk og andre datagrunnlag. I denne oppgaven er det satt opp tilfeldige vektleggingsfaktorer og foretatt sensitivitetsanalyse av disse. Ved hjelp av sensitivitetsanalysen er det generert en oversikt over usikkerheter i modellen som upålitelige vektingsfaktorer kan føre med seg. Formålet med vektleggingsfaktorer er å kunne beskrive påkjenning fra de ulike tekniske masteparametere og miljøparametere på mastene på en realistisk måte.

I Modell II skal mastene skiftes ut når minst et av parametere ved masten svikter. Framgangsmetoden er beskrevet i Avsnitt 6.2.4. I løpet av denne oppgaven har det vært nok tid til å sette opp resultatet for år 0. For at modellen skal kunne brukes er det behov for å generere resultater for flere år framover i tid. Dette ettersom bildet for reinvestering endrer seg etterhvert som mastene skiftes ut på grunn av svikt ved et av sine parametere. Videre vil det være behov for å generere et scenario for hvert år framover i tid helt til alle mastene er skiftet ut.

Modell I og II gir ulike resultater med hensyn til tidspunkt for førskommende reinvesteringsbehov som vist i Avsnitt 6.2 og Avsnitt 6.3. Resultatet fra Modell I som beskrevet i Avsnitt 6.2.2 viser at de første reinvesteringsbehovene vil inntreffe rundt 54 år i framtiden. Analyseresultat fra Modell II som beskrevet i Avsnitt 6.3 viser at det vil være behov for å skifte ut master al-

lerede i år. Forskjell i resultater skyldes ulike antagelser som de ulike modellene er basert på. Modell I er basert på antagelsen om at den kombinerte påkjenningen fra alle parameterne vil kunne føre til behovet for utskiftning. Modell II er basert på at en enkel parameter kan føre til utskiftningsbehov. Begge modellene er basert på antagelser som kunne føre til usikkerheter i analyseresultatet.

## 7 | **Teknisk-økonomisk analyse av reinvesteringsbehov**

I dette kapitlet beskriver en teknisk-økonomisk analyse basert på levetidsmodellen Modell I som beskrevet i Kapittel 5. En undersøkelse i reinvesteringsbehov med hensyn til tilstand og kostnad er utført i dette kapitlet. Analysen er utført basert på datagrunnlaget som beskrevet i Kapittel 4.

### 7.1 **Levetidsmodell og datagrunnlag for teknisk-økonomisk analyse**

I en teknisk-økonomiske analysen er det tatt hensyn til de økonomiske aspektene i analyse av reinvesteringsbehov basert på tilstandsinformasjon som er gitt ved hjelp av en levetidsmodell. Dette innebærer beregninger med reinvesteringskostnader. Her vil det bli foretatt en analyse basert på Modell I som er beskrevet i Avsnitt 5.2. Modellen er etablert basert på statistisk grunnlag, TEs erfaring og tidligere forskning. Det er valgt å utføre teknisk-økonomisk analyse basert på Modell I med antagelsen om samme vektingsfaktor for alle parameterne. Usikkerheter av en slik antagelse er som beskrevet i Kapittel 6. Analysen er utført med datagrunnlaget som er beskrevet i Kapittel 4 med sammenstilt NIS- og GIS-data samt utledning av data basert på statistisk grunnlag, TEs erfaring og tidligere forskning. Både modellen og datagrunnlaget er basert på antagelser og usikkerheter noe som fører til usikkerheter i analyseresultatet.

### 7.2 **Utskiftningskostnader basert på TEs erfaring**

I dette kapitlet er det gitt en beskrivelse av utgifter ved utskiftning av master som anslått ved TE. Kostnad for utskiftning av master kan variere ved ulike prosjekter med hensyn til faktorer som krevende terreng og lang innkjøringsvei og utrykningstid til komponenten som det vil bli utført arbeid på [18]. Det varierer typisk ifra rundt 60 til 300 kNOK avhengig av om komponenten befinner seg i ytre, midtre eller indre område. Inndeling av områdene er som vist i

Avsnitt 7.2. Som Avsnitt 7.2 viser er områdene delt inn etter avstanden til kystlinjen.

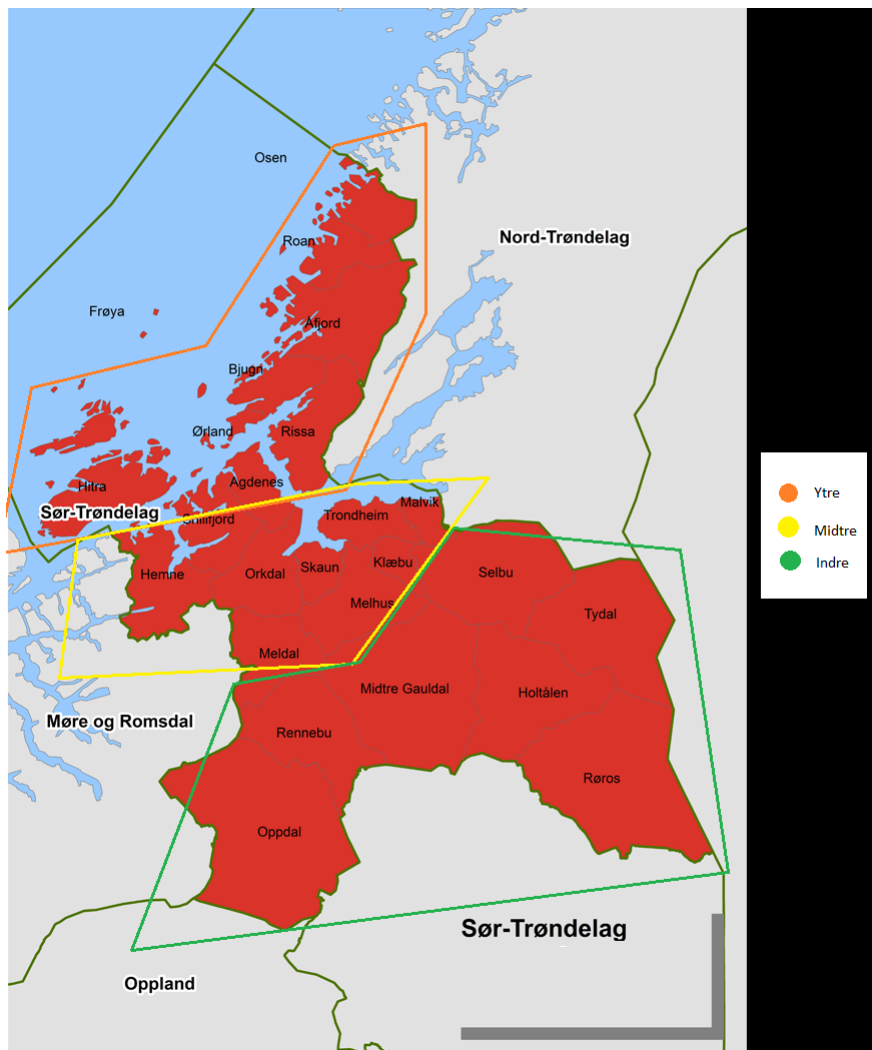
I analysen er det valgt å sette kategorisere master ut ifra kostnadssoner basert på informasjon om “Sone” som er gitt i NetBas [14]. Alle NetBas komponentene skal være registrert med informasjon om “Sone”. “Sone”-data angir komponentenes geografiske plasseringer i forhold til kommuneinndelingen som beskrevet i Avsnitt 3.2. I tillegg til den geografiske plasseringen av masten vil også mastekonstruksjonen også påvirke utskiftningskostnaden. Konstruksjonsdata er samlet inn ved hjelp av NetBas og det er utledet konstruksjonsdata basert på TEs erfaring som beskrevet i Kapittel 4. “Sone” og konstruksjonsdata danner grunnlaget for å sette reinvesteringerkostnad på de ulike mastene.

Oversikt over kostnader som anslått ved TE er som beskrevet i Avsnitt 7.2. Som Avsnitt 7.2 viser er det forskjellige kostnader ved ulike geografiske soner og for ulike mastekonstruksjoner. Her er det kun anslått kostnader for H- og 3A-master. Utskiftning av 2H-, DH- vil føre til omtrent like mye i utgift som for utskiftning av H-master basert på TEs erfaring [18]. A-, DA-, 2A- og 3A-master vil også ha omtrent like høye utskiftningskostnader. Det vil være høyest reinvesteringerkostnader ved utskiftning av master i ytre områder og lavere kostnader for reinvesteringerarbeid i indre områder.

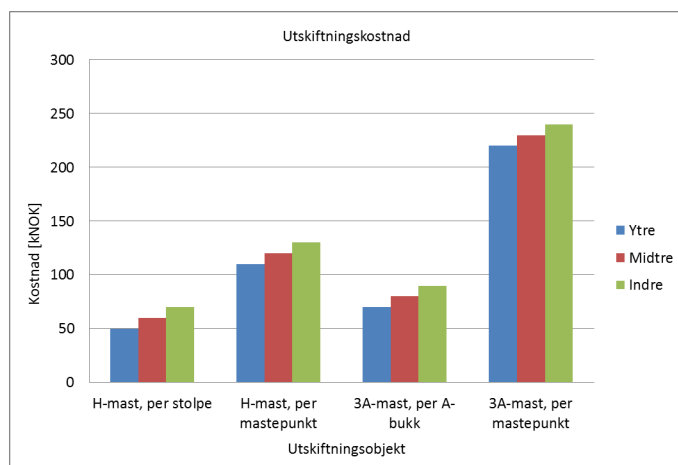
I tillegg viser Avsnitt 7.2 at det er gitt ulike kostnader avhengig av om det er utskiftning av en stolpe/A-bukk eller en hel mast. H-master består av stolper og A-master består av A-bukker. Utskiftning av en hel mast vil føre til høyere priser ettersom den består av større mengde treverk. Til forskjell fra utskiftning av en stolpe eller en A-bukk vil utskiftning av hele master innebære utskiftning av flere delkomponenter i mastekonstruksjonen enn kun stolpene. Slike delkomponenter kan for eksempel være travers og isolatorer. Delkomponenter utgjør en viktig del av utskiftningskostnaden for mastekonstruksjoner. Dette er som vist for både H- og 3A-master. H-master består av to stolper. Avsnitt 7.2 viser at utskiftning av en stolpe i H-masten gir reinvesteringerkostnad på 50 kNOK. Dersom begge mastene skiftes ut så vil kostnaden komme opp på litt over 100 kNOK, det vil si mer enn det dobbelte av prisen for utskiftning av en stolpe. Denne ekstrakostnaden er brukt på delkomponenter som travers og isolatorer.

Basert på TEs erfaring vil det som oftest være behov for utskiftning av trestolper i utskiftningsarbeidet [18]. Det er sjeldent behov for utskiftning av hele mastekonstruksjoner. Som oftest skiftes hele mastekonstruksjon ut dersom det er kontrollert betydelig degradering i de fleste av mastestolpene i konstruksjonen og dersom det er begynnende degradering også i de få gjen-

stående stolpene. Teknisk-økonomiske analyser i denne oppgaven vil være basert på utskifting av hele mastkonstruksjoner. Dette ettersom det er utilstrekkelig informasjon om tilstand ved de enkelte mastene i de ulike mastkonstruksjonene. Ved å anta behov for utskifting av hele mastkonstruksjoner i stedet for enkelte stolper vil kunne føre til at det blir anslått høyere reinvesteringskostnaden enn det som er nødvendig. Dette bidrar til usikkerheter i analysen.



Figur 7.1: Geografiske soner med ulike reinvesteringskostnader. Kartet er hentet ifra websiden til "regjeringen.no".



Figur 7.2: Utsiftningskostnader for utskiftning av stolper/master av ulike mastekonstruksjoner innenfor ulike geografiske soner som vist i Avsnitt 7.2. Kostnader er anslått basert på TEs erfaring [18].

Utsiftning av stålkonstruksjoner kan føre til betydelig høyere kostnader enn trekonstruksjoner basert på erfaring fra TE som beskrevet i Avsnitt 3.4.4 [18]. Basert på dette er det valgt å anta at utskiftning av stålkonstruksjoner vil gi dobbelt så høy utgift som utskiftning av en 3A-konstruksjon.

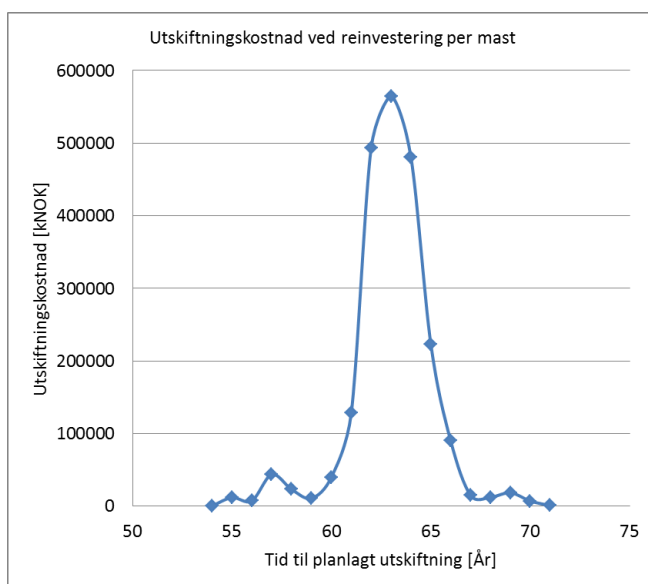
### 7.3 Framgangsmetoder for utskiftning

Det er foretatt undersøkelser i utskiftning av mast basert på utskiftningsplanen som vist i Avsnitt 6.2.2. I Avsnitt 6.2.2 er det generert en oversikt over behov for utskiftning slik at det gir informasjon om antall master som skiftes ut i hvert av de årene i tida framover. Oversikten er basert på antagelsen om at alle miljø- og masteparameterne har like mye innflytelse på det resulterende utskiftningstiden på masten. En slik antagelse bidrar til usikkerheter i modellen ettersom det i virkeligheten er usikkerheter rundt innflytelse fra hvert av parameterne på det endelige resultatet. Her er det estimert utgift for TE i utskiftning av de 23 290 mastene som er blitt analysert i denne undersøkelsen. I dette kapitlet er det gjort undersøkelser basert på ulike framgangsmåter i utskiftning av master. Det første er å skifte ut en etter en mast etterhvert som de trenger å bli skiftet ut. En annen måte er å skifte ut hele ledningen når det er minst en av mastene som må skiftes ut. Som nevnt i Avsnitt 7.2 så vil teknisk-økonomiske analyser i

denne oppgaven vil være basert på utskiftning av hele mastekonstruksjoner. Utskiftningskostnader som brukes i analysen er anslått basert på TEs erfaring basert på konstruksjonstype og geografisk beliggenhet som beskrevet Avsnitt 7.2 [18].

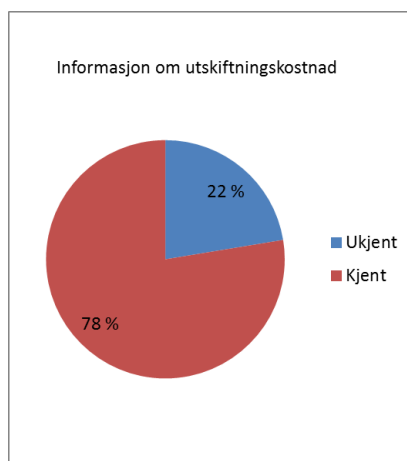
### 7.3.1 Utskiftning av individuelle master

Mastene skiftes ut etter planlagt utskiftning som vist i Avsnitt 7.3.1. Det er forskjell i utskiftningskostnad for ulike master basert på deres geografisk tilhørighet som vist i Avsnitt 7.2. Reinvesteringsutgifter for de ulike årene framover er som vist i Avsnitt 7.3.1. I analysen er det en andel master som står i områder uten informasjon om sonetilhørighet, slik at det ikke har vært mulig å sette kostnad på de. Prosentfordeling av master med og uten informasjon om kostnad er som indikert i Avsnitt 7.3.1. Avsnitt 7.3.1 viser at det er informasjonmangel på kostnad for 22% av mastene. Utskiftningskostnad settes basert på konstruksjonsdata og geografisk beliggenhet som beskrevet i Avsnitt 7.2. Alle mastepunktene i analysen har kjent konstruksjonsdata enten som hentet ut fra NetBas eller utledet basert på TEs erfaring slik som vist i Avsnitt 4.2.6. Dette vil si at kostnadsinformasjon mangler som følge av mangel på informasjon om geografisk beliggenhet eller “Sone” som beskrevet i Avsnitt 7.2.



Figur 7.3: Reinvesteringskostnad for utskiftning av master ved planlagt utskiftningstid for individuelle master.





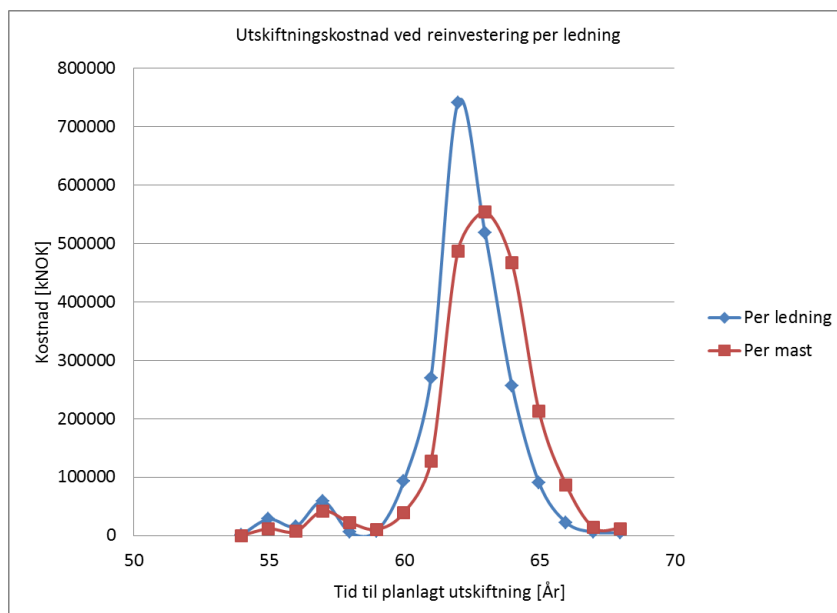
Figur 7.4: Prosentfordeling av master med og uten informasjon om kostnader.

### 7.3.2 Utskiftning per ledning

Ofte kan det være lønnsomt å skifte ut flere master innenfor det samme geografiske området når det er behov for å skifte ut en av mastene i området. Det er mulig å anslå utgifter for utskiftning av master innenfor et begrenset geografisk området ved hjelp av GIS, men det er ikke utført i denne oppgaven på grunn av mangel på tid. Det er satt opp et forslag på framgangsmåten for hvordan en slik undersøkelse kan bli utført i Avsnitt 7.4. I denne oppgaven er det valgt å utføre en forenklet analyse med antagelsen om at en hel ledning eller linje master reinvesteres ved reinvestering av en mast i ledning/linjen. Her er det valgt å utføre analysen med hensyn til ledninger ettersom det er betydelig mangel i linjedata (med 35%) og bedre datagrunnlag i ledningsdata (med 1% i datamangel).

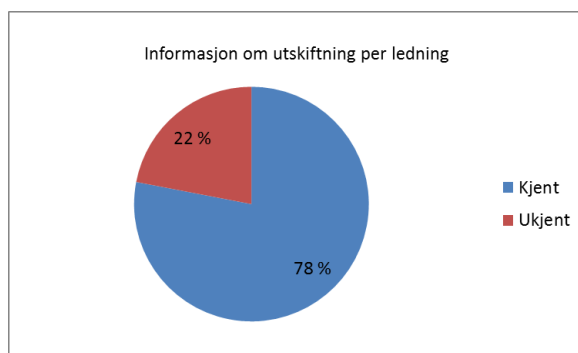
Prisen for reinvestering som beskrevet i Avsnitt 7.2 brukes også her i analysen hvor utskiftning skjer per ledning. Når en eller flere av mastene i en ledning har behov for utskiftning så skiftes ut alle mastene i ledningen. Resultatet er som vist i Avsnitt 7.3.2 med blå kurve. Kurven for utskiftning av master basert på planlagt utskiftningsstid for individuelle mast er også inkludert i grafen med en rødfargede kurve. Avsnitt 7.3.2 viser at reinvesteringstoppen vil være det samme uavhengig av prioriteringer i reinvesteringsprogrammet (utskiftning per mast eller per ledning). Det vil være noen mindre forskjeller mellom disse to ulike programmene. Med utskiftning per mast resulterer det i reinvesteringstopp 62 år i framtiden med en kostnad på 600 000 kNOK ved utskiftningsstoppen som vist i Avsnitt 7.3.2. Ved utskiftning per ledning

er planlagt utskiftning for noen av mastene flyttet i tid til et tidligere tidspunkt. Det vil være en utskifningstopp både for utskifning per mast og per ledning. Utskifning per ledning vil føre til et høyere reinvesteringstopp enn utskifning per mast hvor at forskjell kommer opp på 200 000 kNOK. Det vil også kunne føre til at reinvesteringstoppen vil flyttes til et tidligere tidspunkt slik at utskifningstoppen er om 61 år i fremtiden.



Figur 7.5: Reinvesteringskostnad ved utskifning av individuelle master og ledninger.

Med en slik utskifning av mast basert på ledning vil det være mulig å anslå utskifningstid for et begrenset antall av master ettersom det er mangel på ledningsinformasjon på de mastedatene hentet ut ifra NetBas som indikert i Avsnitt 3.4.1. Master uten ledningsdata utgjør 1% av datagrunnlaget. I denne analysen har det vært mulig å utføre undersøkelsen for 22% av mastene på grunn av datamangel på ledning og utskifningskostnad som vist i Avsnitt 7.3.2. Som beskrevet i Avsnitt 7.3.1 har det mulig å utføre undersøkelsen for 22% av mastene i datagrunnlaget også kun som følge av datamangel på utskifningskostnad. Resultatet viser at hovedkilden til usikkerheter i analyseresultatet er mangel på informasjon om kostnader; og mangel i kostnadsdata skyldes mangel på informasjon om geografisk beliggenhet. Dette indikerer at det er behov for ytterligere innsamling av geografisk data i forhold til kostnadszoner som er satt opp i Avsnitt 7.2. Mer om dette i Avsnitt 7.4.



Figur 7.6: Prosentfordeling av master med og uten informasjon om både ledning og kostnad.

## 7.4 Usikkerheter ved utført teknisk-økonomisk analyse

Teknisk-økonomiske analyser i denne oppgaven er basert på utskiftning av hele mastekonstruksjoner som beskrevet i Avsnitt 7.2. Basert på TEs erfaring er det mest vanlig å skifte ut delkomponenter i masten enn hele mastekonstruksjonen, dette kan for eksempel være en stolpe eller en A-bukk. Hele mastekonstruksjoner skiftes dersom det er dårlig tilstand i store deler av masten. I denne analysen er det valgt å utføre utskiftning av hele mastekonstruksjoner. Dette ettersom det er utilstrekkelig informasjon om tilstand ved de enkelte mastedelene i de ulike mastekonstruksjonene. Ved å anta behov for utskiftning av hele mastekonstruksjoner i stedet for enkelte stolper vil kunne føre til at det anslåtte reinvesteringskostnaden er noe høyere enn i virkeligheten. Dette bidrar til usikkerheter i analyseresultatet.

Avsnitt 7.3.1 og Avsnitt 7.3.2 viser at mangel på geografisk data i forhold til kostnadssoner som er satt opp i Avsnitt 7.2 fører til usikkerheter i analyseresultatet. I denne analysen er det valgt å hente geografisk data basert på “Sone”-data som finnes i NetBas og som beskrevet i Avsnitt 7.2 [14]. Analyseresultatet indikerer at det er mangel på “Sone”-data som beskrevet i Avsnitt 7.3.1. En annen måte å hente inn geografisk informasjon på med hensyn til kostnadssoner er å bruke ArcGIS. Det er mulig å sette informasjon om kostnadssone på master ved at master velges ut med funksjonen “Select” direkte fra kartbilde i ArcGIS. Kostnadssone kan settes ved hjelp av “Field calculator”.

Som beskrevet i Avsnitt 7.3.2 kan det ofte være lønnsomt å skifte ut flere master innenfor det

samme geografiske området når det er behov for å skifte ut en av mastene i området. Dette kan utføres ved hjelp av GIS. En mulig framgangsmåte er å skifte ut master innenfor samme radial ved hjelp av funksjonen “Buffer” i ArcGIS. Utskiftningstid for individuelle master kan importeres til ArcGIS. Ved hjelp av funksjonen “Buffer” er det mulig å interpolere informasjonen om utskiftningstid ved de enkelte mastene over et større området. Innenfor området dekket av buffersirkelen vil det være den masten med kortest gjenstående tid til utskiftning som kommer til å bestemme utskiftningstiden for alle mastene i området. Data interpoleres ut ifra det mastepunktet med snarest behov for utskiftning. Kostnad for reinvestering som følge av geografiske egenskaper kan legges inn med et annet kartlag som beskrevet i Avsnitt 7.2. I tillegg er det behov for å legge til kostnadsinformasjon som følge av konstruksjonstype til de forskjellige mastene. En slik framgangsmetode å utføre analysen på gir muligheter til å teste ulike størrelser på utskiftningsradialer med hensyn til kostnader.

## 8 | Diskusjon

I dette kapitlet er det diskutert undersøkelsen som er blitt utført med hensyn til datagrunnlaget, de etablerte levetidsmodellene og framgangsmåter i analyser. Her er det gitt en beskrivelse av resultater fra undersøkelsen og usikkerheter ved de ulike resultatene.

### 8.1 Diskusjon av resultatet

Ved sammenstilling av NIS- og GIS-data er det samlet inn data for rundt 23 000 master med hensyn til ulike tekniske masteparametere og miljøparametere som beskrevet i Kapittel 3. Innsamlede data danner grunnlaget for analyser i reinvesteringsbehov. Datagrunnlaget består av en blanding av innsamlet data fra ArcGIS og NetBas, og en stor andel utledet data. Data er utledet basert på tidligere forskning ved ulike institutter, TEs erfaring og statistisk grunnlag.

Relevante statistikker er satt opp som vist i Kapittel 4 basert på det innsamlede datagrunnlaget beskrevet Kapittel 3. Kapittel 4 gir en oppsummering av det innsamlede datagrunnlaget. Resultater som vist i Kapittel 4 gir en beskrivelse av kvaliteten på datagrunnlaget med hensyn til hvor dataene kommer ifra, hvordan data er samlet inn og mengde tilgjengelig data. Oversikten over tilgjengelig data for de ulike parameterne er som vist i Avsnitt 4.3. Resultatet viser at det sammenstilte datagrunnlaget er basert på data med varierende kvalitet og det er datamangel ved en betydelig mengde master med hensyn til ulike parametere.

Det er etablert to levetidsmodeller basert på tidligere forskning ved ulike institutter, TEs erfaring og statistisk grunnlag. Levetidsmodellene kan brukes til å anslå tilstand i mastekomponenter. I den første modellen (Modell I) antas det at masten vil kunne svikte dersom den samlede påkjenningen fra parametere indikerer det. I den andre modellen (Modell II) er det valgt å skifte ut master dersom det svikter ved minst et av parametere ved masten. Modell II skal kunne brukes til å anslå førstkommende reinvesteringsbehovene basert på enkel parameterne.

Analyser i reinvesteringsbehov basert på tilstand er utført i Kapittel 6 for Modell I og II. Det

er utført sensitivitetsanalyser basert på Modell I. Sensitivitetsanalysen basert på Modell I er utført først med samme vekt på alle parameterne. Deretter med hensyn til miljø- og teknisk masteparametere. Til slutt er det utført sensitivitetsanalyse med hensyn til hver enkelte parameter. Det er utført analyser basert på Modell II for å identifisere de parameterne som vil kunne utløse behovet for reinvestering.

Resultatet fra sensitivitetsanalyse av Modell I er som beskrevet i Avsnitt 6.2. Samme vekt på alle parameterne vil kunne resultere i en reinvesteringstoppen rundt 63 år i fremtiden og det vil være behov for å skifte ut opp til 6 000 master i løpet av et år ved utskiftningstoppen. Analyse med hensyn til miljø- og teknisk masteparametere viser at økt vektlegging på teknisk mastedata fører til at utskiftningstoppen forskyves til et senere tidspunkt. Ved at miljøparametere ekskluderes fra modellen vil det resultere i en reinvesteringstopp om 67 år. Hvis det blir lagt større vekt på teknisk mastedata så vil investeringstoppen flytte seg til et tidligere tidspunkt. Dersom det velges å ekskludere miljøparametere fra modellen så vil det være en reinvesteringstopp 62 år i fremtiden. Størrelsen på reinvesteringstoppen minker ved økt vektlegging av miljøparameter. Dersom modellen kun er basert på miljøparametere og teknisk masteparametere ekskluderes fra modellen så vil det være behov for å utskifte ut 6 000 master ved reinvesteringstoppen. 11 000 master må skiftes ut ved reinvesteringstoppen dersom modellen kun er basert på teknisk masteparametere. Dette viser at forskjell på størrelsen av reinvesteringstopper kan på det maksimale komme på 5 000 master. Resultatet viser at ulike vektlegging av teknisk mastedata og miljødata vil kunne påvirke tidspunktet for reinvesteringstoppen og størrelsen av reinvesteringstoppen. Fra sensitivitetsanalyse med hensyn til hver enkelte parameter er det vist at alle parameterne har en viss påvirkning på den resulterende utskiftningstiden. Resultatet viser at ekskludering av individuelle parameterne vil kunne gi synlig forskjell i resultatene, men utskiftningskurven vil stort sett beholde den samme profilen. Dette indikerer at hvert enkelt vektleggingsfaktor vil kunne påvirke reinvesteringstoppen slik at reinvesteringstoppen kan endres med  $\pm 1000$  master og  $\pm 1$  år. Av teknisk parameterne så vil spesielt parameteren alder ha betydning for størrelsen på reinvesteringstoppen og parameteren material vil kunne føre til at utskiftningstoppen flytter seg til et tidligere tidspunkt. Blant miljøparametere så vil grunnforhold ha betydning for antall master som skiftes ut, mens salt og vind vil ha større påvirkning på den resulterende reinvesteringstoppen med hensyn til tid.

Resultatet fra analyse av Modell II er som beskrevet i Avsnitt 6.3. Resultatet viser at utskiftning som følge av alder og langvarig påkjenning fra vind anslås å inntreffe på et tidlig stadiet for

noen av mastene. Dette indikerer at vind og alder vil være de utløsende faktorene for det først-kommende reinvesteringsprosjektet. Det er behov for å skifte ut 898 master som følge av vind og 45 master som følge av alder, og det vil være behov for å skifte ut disse mastene allerede i år.

Analyser basert på Modell I og II gir ulike resultater som beskrevet i Avsnitt 6.4. Forskjell i resultater skyldes ulike antagelser som de ulike modellene er basert på, og begge modellene er basert på antagelser som kunne føre til usikkerheter i analyseresultatet. Det er ikke mulig på det nåværende stadiet å vurdere hvilken av modellene som er mest korrekt.

Teknisk-økonomisk analyse med hensyn til reinvesteringsbehov er beskrevet i Kapittel 7. Teknisk-økonomiske analyse er utført basert på tilstandsinformasjon som er gitt ved Modell I med antagelsen om samme vekt på alle parameterne. Det er valgt å undersøke reinvesteringskostnader ved utskiftning av enkelte master etter behov og ved utskiftning av hele ledninger/linjeseksjoner slik at flere master skiftes ut samtidig. Ved utskiftning av enkelt master kan kostnader ved en reinvesteringstopp komme opp på 600 000 kNOK med utskiftningstoppen rundt 62 år i framtiden. Utskiftning per ledning vil føre til et høyere reinvesteringstopp enn utskiftning per mast med en forskjell på rundt 200 000 kNOK. Det vil også kunne føre til at reinvesteringstoppen vil flyttes til et tidligere tidspunkt slik at utskiftningstoppen er om 61 år i framtiden.

## 8.2 Diskusjon av usikkerheter i resultatet

Det er usikkerheter i det sammenstilte datagrunnlaget basert på NIS- og GIS-data som beskrevet i Avsnitt 3.5. Dette med hensyn til uthenting av data fra ArcGIS og NetBas, og utledning av data basert på antagelser. Det er usikkerheter i datakildene som er brukt i forbindelse med uthenting av data ved hjelp av ArcGIS og i framgangsmetoder som brukes ved uthenting av miljødata i ArcGIS som beskrevet i Avsnitt 3.5.2. Det er datamangel og blandet kvalitet på inn-samlet data fra ulike værstasjoner eid av Meteorologisk Institutt. AR5 er brukt i forbindelse med analyse av grunndata. Usikkerheter i AR5 fører til usikkerheter i datagrunnlaget. Framgangsmetoden som brukes ved GIS-analyse er basert på antagelser. Det er varierende kvaliteter på NIS-data hentet ut fra NetBas som beskrevet i Avsnitt 3.5.1. Analysen er utført basert på antagelsen om at mastene er spenningssatt med 22 kV og oppover. Data som er eksportert fra NetBas-arkivet er ikke 100% i samsvar med filtrering og tilpasning av resultatet som er satt ved eksporteringen. I forbindelse med sammenstilling av NIS- og GIS-data er det utledet store

mengder data. Data er utledet basert på antagelser noe som fører til usikkerheter i analyseresultatet.

De relevante statistikkene som er satt opp gir en oversikt over usikkerheter i det innsamlede datagrunnlaget som beskrevet i Avsnitt 4.3. Det sammenstilte datagrunnlaget er basert på data med varierende kvalitet og det er data mangel for noen av mastene med hensyn til ulike parametere.

Levetidsmodeller er etablert basert på forenklinger og antagelser fra tidligere forskning, TEs erfaring og statistisk grunnlag som beskrevet i Avsnitt 5.3 [29] [12] [18]. I den nåværende modellen er det valgt å fokusere på trestolper og råtemekanismen noe som også fører til usikkerheter. Modellene basert på antagelsen om at mastene er ved perfekt tilstand med hensyn til alle parameterne ved analyseåret 0 på grunn av mangel på informasjon om alder og tilstand ved de ulike mastene. Modellene er etablert basert på antagelsen om at hver av parameterne kan brukes til å anslå gjenstående tid til utskiftning som følge av degradering i mastekomponenten kun som følge av denne parameteren slik at det ikke er tatt hensyn til samspill mellom parameterne.

Det er usikkerheter i analyseresultatet for reinvesteringsbehov basert på tilstand som beskrevet i Avsnitt 6.4. Analysen med hensyn til tilstand er utført på et datagrunnlag som er etablert basert på antagelser og med datamangel noe som fører til usikkerheter i analyseresultatet. Det er brukt levetidsmodeller etablert basert på antagelser i analysen noe som også fører til usikkerheter i resultatet. Modell I og II gir ulike resultater med hensyn til tidspunkt for førskommende reinvesteringsbehov. Forskjell i resultater skyldes ulike antagelser som de ulike modellene er basert på.

Som beskrevet i Avsnitt 7.4 er det usikkerheter i teknisk-økonomisk analyse av reinvesteringsbehov. I denne analysen er det valgt å utføre utskiftning av hele mastekonstruksjoner til tross for at det er mest vanlig å skifte ut delkomponenter i masten enn hele mastekonstruksjonen basert på TEs erfaring. Dette som følge av datamangel om tilstand ved de enkelte mastedelene i de ulike mastekonstruksjonene. Ved å anta behov for utskiftning av hele mastekonstruksjoner i stedet for enkelte stolper vil kunne føre til at det anslåtte reinvesteringskostnaden er noe høyere enn i virkeligheten. Dette bidrar til usikkerheter i analyseresultatet. I tillegg har det ikke vært mulig å anslå utskiftningskostnad for alle mastene på grunn av datamangel.



## 9 | Konklusjon og viderearbeid

Dette kapitlet består av hovedkonklusjoner fra undersøkelsen og inneholder forslag til videre arbeid med hensyn til forbedring av datagrunnlaget, levetidsmodellen og framgangsmetoden for analysen.

### 9.1 Konklusjon

I denne masteroppgaven er det gjort en vurdering av tilstand på tremaster som støtter opp luftlinjer innenfor forsyningsområdet til TE. I undersøkelsen er det gjort et forsøk på å kartlegge det nåværende tilstanden i nettet samt anslå det fremtidige utviklingen av tilstanden i nettet som følge av ytre påkjenninger fra klima og miljøet. Formålet med oppgaven er å gi TE et grunnlag for å ta avgjørelser ved prioritering av reinvesteringsplaner. Det er foretatt tilstandsvurdering av nettet basert på NIS- og GIS-data ved hjelp av verktøyet ArcGIS og NetBas. Deretter er det etablert levetidsmodeller for å kunne anslå tilstanden i tremaster basert på ulike tekniske masteparametere og miljøparametere. Tilslutt er det utført analyser i reinvesteringsbehov basert på tilstand og teknisk-økonomiske vurderinger ved hjelp av levetidsmodellene og det innsamlede datagrunnlaget.

Ved sammenstilling av NIS- og GIS-data er det samlet inn data for rundt 23 000 master med hensyn til ulike tekniske masteparametere og miljøparametere. Innsamlede data danner grunnlaget for analyser i reinvesteringsbehov. Datagrunnlaget består av innsamlet data fra ArcGIS og NetBas, og en stor andel utledet data. Data er utledet basert på tidligere forskning ved ulike institutter, TEs erfaring og statistisk grunnlag.

Relevante statistikker er satt opp basert på det innsamlede datagrunnlaget. Resultatet viser at det sammenstilte datagrunnlaget er basert på data med varierende kvalitet og det er datamangel ved en betydelig mengde master med hensyn til ulike parametere.

Det er etablert to levetidsmodeller basert på tidligere forskning ved ulike institutter, TEs erfaring og statistisk grunnlag. Levetidsmodellene kan brukes til å anslå tilstand i mastekom-

ponenter. I den første modellen (Modell I) antas det at masten vil kunne svikte dersom den samlede påkjenningen fra parametere indikerer det. I den andre modellen (Modell II) er det valgt å skifte ut master dersom det svikter ved minst et av parametere ved masten. Modell II skal kunne brukes til å anslå førstkommende reinvesteringsbehovene basert på enkel parameterne.

Analysen i reinvesteringsbehov basert på tilstand er utført for Modell I og II. Det er utført sensitivitetsanalyser basert på Modell I. Resultatet fra sensitivitetsanalyse av Modell I viser at samme vekt på alle parameterne vil kunne resultere i en reinvesteringstoppen rundt 63 år i fremtiden og det vil være behov for å skifte ut opp til 6 000 master i løpet av et år ved utskiftningstoppen. Ulike vektlegging av teknisk mastedata og miljødata vil kunne påvirke både tidspunktet og størrelsen av reinvesteringstoppen. Resultatet viser at alle parametere har en viss påvirkning på den resulterende utskiftningstiden, men utskiftningskurven vil stort sett beholde den samme profilen. Av teknisk parametere så vil spesielt parameteren alder ha betydning for størrelsen på reinvesteringstoppen og parameteren material vil kunne føre til at utskiftningstoppen flytter seg til et tidligere tidspunkt. Blant miljøparametere så vil grunnforhold ha betydning for antall master som skiftes ut, mens salt og vind vil ha større påvirkning på den resulterende reinvesteringstoppen med hensyn til tid. Resultatet fra analyse av Modell II viser at utskiftning som følge av alder og langvarig påkjenning fra vind vil inntreffe på et tidlig stadiet for noen av mastene. Dette indikerer at vind og alder vil være de utløsende faktorene for det førstkomende reinvesteringsprosjektet. Det er behov for å skifte ut 898 master som følge av vind og 45 master som følge av alder, og det vil være behov for å skifte ut disse mastene allerede i år.

Teknisk-økonomiske analyse er utført basert på tilstandsinformasjon som er gitt ved Modell I med antagelsen om samme vekt på alle parameterne. Resultatet viser at ved utskiftning av enkelt master kan kostnader ved en reinvesteringstopp komme opp på 600 000 kNOK med en utskiftningstopp rundt 62 år i fremtiden. Utskiftning per ledning vil føre til en høyere reinvesteringstopp og slik at reinvesteringstoppen inntreffer på et tidligere tidspunkt.

Det er mye usikkerheter i datagrunnlaget, modellene og resultater fra analyser ettersom disse er basert på antagelser. Det er satt opp noen forslag på muligheter for forbedring og behov for viderearbeid i Avsnitt 9.2.

## 9.2 Viderearbeid

I behandling av GIS-data er det mulig å undersøke ulike framgangsmåter i interpolering av punktdata importert fra værstasjoner. Dette er som beskrevet i Avsnitt 3.5.2. En optimal interpoleringsanalyse vil kunne bidra til et mer pålitelig datagrunnlag. Et alternativ er å sette ut buffersirkler av ulike størrelser. En annen måte å gå frem på er å benytte seg av buffere med andre figurformer, men dette krever at programmet ArcGIS oppdateres til et høyere lisens. Høyere lisens gir muligheter til å generere sirkulære og rektangulære/flate bufferfigurer. Det kan være gunstig å utføre testing og sammenligning av ulike bufferkombinasjoner med hensyn til størrelse og former for optimal modellering av området.

Det kan være gunstig å bruke vindkart fra Kjeller Vindteknikk i forbindelse med uthenting av vinddata som beskrevet i Avsnitt 3.5.2. I denne analysen er det brukt data fra Meteorologisk Institutt. Data fra Kjeller Vindteknikk er målt fra høyere høydenivåer enn data fra Meteorologisk Institutt, slik at den er mindre utsatt for lokale variasjoner som vegetasjon og bygninger noe som ofte kan bidra til usikkerheter i målinger. I tillegg er data Kjeller Vindteknikk målt fra ulike høydenivåer slik at det gir muligheten til å estimere variasjon i vindhastighet som funksjon av høyde noe som er nyttig ved beregning av mekanisk belastning på tremaster.

Det er mulig å utlede data for mastkonstruksjon som bidrar til at informasjon gitt ved TE blir brukt på en mer effektiv måte som beskrevet i Avsnitt 3.5.3. I utledning av konstruksjonsdata er det behov for diverse miljø-, terreng- og mastedata.

Videre kan det også være gunstig å anslå byggeår og tilstand for ulike master ved hjelp av ArcGIS som beskrevet i Avsnitt 3.5.3. Å kunne sette alder på flere av mastene vil kunne bidra til mer pålitelig analyseresultater. Det er mulig å utlede data for byggeår basert på antagelsen om samme byggeår for master innenfor samme radial ved hjelp av funksjonen "Buffer" i ArcGIS. Som beskrevet i Avsnitt 5.3 er levetidsmodellene basert på antagelsen om at mastene er ved perfekt tilstand med hensyn til alle parameterne ved analyseåret 0. Dette på grunn av mangel på informasjon om alder og tilstand for de ulike mastene. Bedre kvalitet på byggeår- og tilstandsdata gir bedre grunnlag for etablering av levetidsmodeller.

I sensitivitetsanalyse basert på Modell I er det testet ut ulike form for vektlegging av de ulike parametere. Det er muligheter for å sette opp vektleggingsfaktorer basert på erfaring, statistikk

og andre datagrunnlag som beskrevet i Avsnitt 6.4. Målet er å sette opp vektleggingsfaktorer slik modellen vil kunne gi en realistisk beskrive av påkjenning fra de ulike tekniske masteparametere og miljøparametere.

I Modell II skal mastene skiftes ut når minst et av parametere ved masten svikter. I denne analysen er det satt opp reinvesteringsbehovet sett fra år 0. For at modellen skal kunne brukes er det behov for å generere resultater for flere år framover i tid helt til alle mastene er skiftet ut som beskrevet i Avsnitt 6.4.

Som beskrevet i Avsnitt 7.4 er det mulig å utføre utskiftning av master per radial ved hjelp av funksjonen “Buffer” i ArcGIS. En slik framgangsmetode å utføre analysen på gir muligheter til å teste ulike størrelser på utskiftningsradialer med hensyn til kostnader.

## A | AR5 kombinasjoner (oppdatert 2008)

### A.1 Om AR5

Skog og landskap (Norsk institutt for skog og landskap) er et nasjonalt institutt for kunnskap om arealressurser. Instituttet formidler kunnskap til myndigheter, næringsliv og allmennhet for å sikre bærekraftig forvaltning og verdiskapning knyttet til arealressursene.

Hos Skog og landskap finnes det arealressurskart i ulike målestokk[8]. Disse er klasseinndelt etter geografisk nivå de skal brukes på. I kart beregnet for større målestokk ville figurer med størrelse under minstegrensen bli slått sammen med tilgrensede områder og dermed utgi seg som en forenklet versjon av de mer detaljerte kartene. I dette prosjektet er det brukt AR5. Kartet gir tilfredsstillende datanøyaktighet og er lett tilgjengelig fra TEs datasystem i forbindelsen med denne analysen. AR5 er et detaljkart for områder under skoggrensen og kan brukes ned til eiendomsnivå. Kartet kan angi arealer av figurstørrelse helt ned til  $500 \text{ m}^2$ . Områdene i AR5 er definert med 106 kategorier av ulike grunntyper. Hver av kategoriene er en kombinasjon av informasjon om arealtype, dominerende treslag innenfor arealet, bonitet og grunnforhold. Informasjon er gitt med koder, hvor at forskjellige koder gir ulike beskrivelser av område.

Tabell A.1: Kombinasjon av AR5 kategorier[16].

ARTYPE	ARTRESLAG	AR8KOGBON	ARGRUNNF	Belegneise	GrEnkel	GrVanlig
21	98	98	44	Fulldyrka jord	1	1
21	98	98	45	Fulldyrka myr	1	1
22	98	98	44	Overflatedyrka jord	1	4
22	98	98	43	Overflatedyrka grunnlendt	1	4
22	98	98	45	Overflatedyrka myr	1	4
23	31	98	44	Innmarksbeite med barskog	1	5
23	31	98	43	Innmarksbeite med barskog på grunnlendt	1	5
23	31	98	45	Innmarksbeite med barskog på myr	1	5
23	32	98	44	Innmarksbeite med lauvskog	1	5
23	32	98	43	Innmarksbeite med lauvskog på grunnlendt	1	5
23	32	98	45	Innmarksbeite med lauvskog på myr	1	5
23	33	98	44	Innmarksbeite med blandingsskog	1	5
23	33	98	43	Innmarksbeite med blandingsskog på grunnlendt	1	5
23	33	98	45	Innmarksbeite med blandingsskog på myr	1	5
23	39	98	44	Innmarksbeite uten skog	1	5
23	39	98	43	Innmarksbeite uten skog på grunnlendt	1	5
23	39	98	45	Innmarksbeite uten skog på myr	1	5
23	99	98	43	Innmarksbeite på grunnlendt	1	5
23	99	98	44	Innmarksbeite	1	5
23	99	98	45	Innmarksbeite på myr	1	5
30	31	15	44	Barskog særs høy bonitet på jorddekt mark	2	6
30	31	15	45	Barskog særs høy bonitet på torvmark	2	6
30	32	15	44	Lauvskog særs høy bonitet på jorddekt mark	2	6
30	32	15	45	Lauvskog særs høy bonitet på torvmark	2	6
30	33	15	44	Blandingsskog særs høy bonitet på jorddekt mark	2	6
30	33	15	45	Blandingsskog særs høy bonitet på torvmark	2	6
60	31	15	45	Myr med barskog særs høy bonitet	2	6
60	32	15	45	Myr med lauvskog særs høy bonitet	2	6
60	33	15	45	Myr med blandingsskog særs høy bonitet	2	6
30	31	14	43	Barskog høy bonitet på grunnlendt mark	2	7
30	31	14	44	Barskog høy bonitet på jorddekt mark	2	7
30	31	14	45	Barskog høy bonitet på torvmark	2	7
30	32	14	43	Lauvskog høy bonitet på grunnlendt mark	2	7
30	32	14	44	Lauvskog høy bonitet på jorddekt mark	2	7
30	32	14	45	Lauvskog høy bonitet på torvmark	2	7
30	33	14	43	Blandingsskog høy bonitet på grunnlendt mark	2	7
30	33	14	44	Blandingsskog høy bonitet på jorddekt mark	2	7
30	33	14	45	Blandingsskog høy bonitet på torvmark	2	7
60	31	14	45	Myr med barskog høy bonitet	2	7
60	32	14	45	Myr med lauvskog høy bonitet	2	7
60	33	14	45	Myr med blandingsskog høy bonitet	2	7
30	31	13	41	Barskog middels bonitet på blokkmark	2	8
30	31	13	43	Barskog middels bonitet på grunnlendt mark	2	8
30	31	13	44	Barskog middels bonitet på jorddekt mark	2	8
30	31	13	45	Barskog middels bonitet på torvmark	2	8
30	32	13	41	Lauvskog middels bonitet på blokkmark	2	8
30	32	13	43	Lauvskog middels bonitet på grunnlendt mark	2	8
30	32	13	44	Lauvskog middels bonitet på jorddekt mark	2	8
30	32	13	45	Lauvskog middels bonitet på torvmark	2	8
30	33	13	41	Blandingsskog middels bonitet på blokkmark	2	8
30	33	13	43	Blandingsskog middels bonitet på grunnlendt mark	2	8
30	33	13	44	Blandingsskog middels bonitet på jorddekt mark	2	8
30	33	13	45	Blandingsskog middels bonitet på torvmark	2	8
60	31	13	45	Myr med barskog middels bonitet	2	8

60	32	13	45	Myr med lauvskog middels bonitet	2	8
60	33	13	45	Myr med blandigsskog middels bonitet	2	8
30	31	12	41	Barskog lav bonitet på blokkmark	2	9
30	31	12	43	Barskog lav bonitet på grunnlendt mark	2	9
30	31	12	44	Barskog lav bonitet på jorddekt mark	2	9
30	31	12	45	Barskog lav bonitet på torvmark	2	9
30	32	12	41	Lauvskog lav bonitet på blokkmark	2	9
30	32	12	43	Lauvskog lav bonitet på grunnlendt mark	2	9
30	32	12	44	Lauvskog lav bonitet på jorddekt mark	2	9
30	32	12	45	Lauvskog lav bonitet på torvmark	2	9
30	33	12	41	Blandingsskog lav bonitet på blokkmark	2	9
30	33	12	43	Blandingsskog lav bonitet på grunnlendt mark	2	9
30	33	12	44	Blandingsskog lav bonitet på jorddekt mark	2	9
30	33	12	45	Blandingsskog lav bonitet på torvmark	2	9
60	31	12	45	Myr med barskog lav bonitet	2	9
60	33	12	45	Myr med blandigsskog lav bonitet	2	9
30	31	11	41	Barskog impediment på blokkmark	3	10
30	31	11	42	Barskog impediment på fjell i dagen	3	10
30	31	11	43	Barskog impediment på grunnlendt mark	3	10
30	31	11	44	Barskog impediment på jorddekt mark	3	10
30	31	11	45	Barskog impediment på torvmark	3	10
30	32	11	41	Lauvskog impediment på blokkmark	3	10
30	32	11	42	Lauvskog impediment på fjell i dagen	3	10
30	32	11	43	Lauvskog impediment på grunnlendt mark	3	10
30	32	11	44	Lauvskog impediment på jorddekt mark	3	10
30	32	11	45	Lauvskog impediment på torvmark	3	10
30	33	11	41	Blandingsskog impediment på blokkmark	3	10
30	33	11	42	Blandingsskog impediment på fjell i dagen	3	10
30	33	11	43	Blandingsskog impediment på grunnlendt mark	3	10
30	33	11	44	Blandingsskog impediment på jorddekt mark	3	10
30	33	11	45	Blandingsskog impediment på torvmark	3	10
60	32	12	45	Myr med lauvskog lav bonitet	3	10
60	31	11	45	Myr med barskog impediment	3	10
60	32	11	45	Myr med lauvskog impediment	3	10
60	33	11	45	Myr med blandigsskog impediment	3	10
60	39	11	45	Åpen myr impediment	3	11
50	39	15	44	Åpen jorddekt fastmark særs høy bonitet	3	12
50	39	14	44	Åpen jorddekt fastmark høy bonitet	3	12
50	39	13	44	Åpen jorddekt fastmark, middels bonitet	3	12
50	39	11	44	Åpen jorddekt fastmark, impediment	3	12
50	39	14	43	Åpen grunnlendt mark høy bonitet	3	13
50	39	13	43	Åpen grunnlendt mark, middels bonitet	3	13
50	39	11	41	Åpen blokkmark, impediment	3	13
50	39	11	42	Åpen fjell i dagen, impediment	3	13
50	39	11	43	Åpen grunnlendt mark, impediment	3	13
11	98	98	98	Bebyggd	4	99
12	98	98	98	Samferdsel	4	99
70	98	98	98	Snøisbre	4	99
80	98	98	98	Vann	4	99
99	98	98	98	Ikke kartlagt	4	99

Klassifikasjoner som er brukt i analysen er beskrevet i Tabell A.3 og Tabell A.2.

- Klassifikasjon etter arealtype og dyrkingsgrad[10]

Alt areal blir klassifisert etter arealtype: Jordbruksareal, Skog, Myr, Åpen fastmark, Vann, Snøisbre, Samferdsel, Bebygd, Ikke kartlagt. Jordbruksareal er delt i tre klasser etter dyringsgrad: Fulldyrka jord, Overflatedyrka jord, Innmarksbeite. Fordi opplysninger om jordbruksarealer nå er ansett som viktigst i AR5, og for å redusere antall egenskaper, er det valgt å legge de 3 klassene av jordbruksareal inn i hovedinndelinga i AR5; dvs. som arealtyper. Arealtype kan dermed ha 11 verdier: Fulldyrka jord, Overflatedyrka jord, Innmarksbeite, Skog, Myr, Åpen fastmark, Vann, Snøisbre, Samferdsel, Bebygd, Ikke kartlagt.

Tabell A.2: Beskrivelse av AR5-arealtyper som brukes i analysen som vist i Tabell A.1[16][10].

ArType	Beskrivelse	Kommentar
11	Bebygd	I hovedsak veier og jernbaner
12	Samferdsel	Utbygd eller opparbeidet i betydelig grad
21, 22, 23	Fulldyrka- og overflatedyrka jord, innmarksbeite	Alle går under betegnelse jordbruksareal
30	Skog	Minst 6 trær per dekar Trær minst 5 meter høye
50	Åpent mark	Fastmark som ikke er jordbruksareal, skog bebygd eller samferdsel
60	Myr	Myrvegetasjon Minst 30cm torvlag

- Klassifikasjon etter skogbonitet[10]

Skogbonitet kan ha 7 verdier: Særs høg, Høg, Middels, Lav, Impediment, Ikke registrert, Ikke relevant. Skog, myr og åpen fastmark klassifiseres etter skogbonitet.



Egenskapsverdi	Kodeverdi	Definisjon
Særs høg	15	Mer enn 1,0 m <sup>3</sup> tilvekst per dekar og år
Høg	14	0,5 – 1,0 m <sup>3</sup> tilvekst per dekar og år
Middels	13	0,3 – 0,5 m <sup>3</sup> tilvekst per dekar og år
Lav	12	0,1 – 0,3 m <sup>3</sup> tilvekst per dekar og år
Impediment	11	Mindre enn 0,1 m <sup>3</sup> tilvekst per dekar og år
Ikke relevant	98	Opplysning om skogbonitet er ikke relevant.
Ikke registrert	99	Opplysning om skogbonitet er ikke registrert.

Figur A.1: Definisjon av bonitetsnivå.[16]

- Klassifikasjon etter treslag[10]

Treslag kan ha 6 verdier: Barskog, Blandingsskog, Lauvskog, Ikke tresatt, Ikke registrert, Ikke relevant. Skog klassifiseres etter treslag. Myr og innmarksbeite klassifiseres etter treslag dersom vegetasjonen holder kravet til skog.

- Klassifikasjon etter grunnforhold[10]

Grunnforhold kan ha 7 verdier: Organiske jordlag, Jorddekt, Grunnlendt, Fjell i dagen, Blokkmark, Ikke registrert, Ikke relevant. Jordbruksareal, skog og åpen fastmark klassifiseres etter grunnforhold. Myr har per definisjon organiske jordlag.

Tabell A.3: Beskrivelse av AR5-arealforhold som brukes i analysen som vist i Tabell A.1[16][10].

ArGrunnf	Beskrivelse	Kommentar
41	Blokkmark	Steinblokker
42	Fjell i dagen	Minst 50% bart fjell
43	Grunnlendt mark	Mindre enn 30cm jorddybde
44	Jorddekt mark	Minst 30cm jorddybde
45	Torvmark, myr	Begge har mer enn 30cm torvlag Torvmark ser ikke ut som myr på overflaten

## A.2 AR5-kombinasjoner som brukes i datainnsamling

### A.2.1 Ved innsamling av grunndata

Tabell A.4 viser AR5-kombinasjonene som brukes ved analyse av grunnforhold som beskrevet i Avsnitt 3.1.2.

Tabell A.4: Sammenslåing av AR5-kategorier til kategorier gitt i TEs trestolpeanalyse[16][10][12].

TE-kategori	ARTYPE	ARTRESLAG	ARSKOGBON	ARGRUNNF
Stein	30	-	-	41
Jord/myr	30	-	-	45
Grus	11, 12	-	-	-
Dyrket mark	21, 22, 23	-	-	-
Jord	30	-	-	44
Fjell/jord	30	-	-	43
Myr	60	-	-	-
Fjell	30, 50	-	-	42

## A.2.2 Ved innsamling av forurensningsdata

Tabell A.4 viser AR5-kombinasjonene som brukes ved analyse av forurensning som beskrevet i Avsnitt 3.1.2.

Tabell A.5: Bebyggelse- og samferdselsområdet med AR5-koder.

TE-kategori	ARTYPE	ARTRESLAG	ARSKOGBON	ARGRUNNF
Samferdsel	12	98	98	98
Bebyggelse	11	98	98	98

## B | Resultat fra TEs trestolpe analyse

Dette er en oversikt over noe av resultatene fra tilstandskontroll utført av TE på tremaster i perioden 2001-2006[12]. Master som er blitt kontrollert støtter opp luftlinjen i regionalnettet og er eid av TE. Mastene har spenningsnivå fra og med 22 kV og oppover. Undersøkelsen er basert på 29 kraftlinjer, det som totalt danner en 477,8 km lang linje. Kraftlinjene er støttet opp av det som totalt danner 3528 mastepunkter, eller 8174 stolper i systemet. Et mastepunkt kan bestå av en eller flere stolper, bestemt av mastekonstruksjonen. En oversikt over de 29 linjene er gitt i Tabell B.2. Linjene er oppkalt etter deres geografisk beliggenhet. Informasjon som følger med data fra TE er:

- Mastekonstruksjon
- Jordbåndsdiameter
- Beskrivelse av grunntype og bonitet
- Impregneringsår: Det er årstallet for når master ble impregnert og har stått klare på lagret for bygging.
- Tilstandsinformasjon: Hvilke av mastene har råte i seg. For noen av mastene er det også gitt beskrivelse av hvor råte befinner seg på mastene og alvorlighetsgraden av råteangrepet. Ved alvorlige skader er mastene faremerket. Faremerking tilsier at masten ikke lenger er i stand til å takle toppinspeksjon med klatring i masten ettersom masten har lite mekanisk styrke igjen som følge av aldring/degradering.
- Osv

### B.1 Klimasone

I analysen TEs forsyningsområde blitt grovt inndelt i indre, midtre og ytre sone etter avstand til kystlinjen. 29 kraftlinjer er undersøkt for de ulike områdene. Oversikt over de ulike linjene er gitt i Tabell B.2. I analyseresultatet er linjene identifisert etter fra- og til-informasjon, det vi

si hvor linjen begynner og slutter. For eksempel Kåsen/Brattset-linjen fra indre sonen går fra Kåsen og til Brattset.

Tabell B.1: Deler av TEs forsyningsområdet som hører til de ulike klimasonene[12].

<b>Klimasone</b>	<b>Tilhørende områder</b>
1. Indre	Kåsen/Brattset
	Støren/Soknedal
	Støren/Sokna
	Sokna/Håen**
	Nea/Reitan
	Kåsen/Oppdal
	Kåsen/Lønset
2. Midtre	Svorkmo/Orkdal
	Gjølme/Løkken
	Kvål/Gimse
	Orkdal/Evjen
	Evjen/Sagberget
	Sokna/Sagberget
	Orkdal/Snillfjord
	Sagberget/Buvika
	Trollheim/Holla
	Snillfjord/Holla
3. Yttre	Snillfjord/Agdenes
	Øyan/Mørre
	Fillan/Vikstrøm
	Fevåg/Eide
	Snillfjord/Malnes
	Eide/Utheim
	Øyan/Dueskaret
	Svartelva/Stoen
	Strv./Fillan
	Mørre/Hubakken
	Hubakken/Straum
	Svartelva/Ålmo
	Øyan/Bjugn

## B.2 Grunntype

Tabell B.2 viser antall master som er blitt kontrollert for de ulike grunntypene og prosent andel master hvor det er påvist råte for disse. For eksempel er det observert råte i 8,2% av alle mastene som står på myrområdet. I analysen er det gitt data på grunnforhold for 17 av de 29 kraftlinjene som er blitt kontrollert. Resultatet er basert på innsamlet data for de 17 linjene. Linjene er støttet opp av totalt 2653 mastepunkter.

Tabell B.2: Fordeling av master som har blitt kontrollert av TE ved de grunntypene og prosenandel av de kontrollerte tremastene som er registrert med råte[12].

Grunntype	Antall Master	Råteandel [%]
Myr	366	8,20%
Fjell	977	8,09%
Fjell/Jord	57	7,02%
Fjell/Myr	19	31,58%
Sand	4	25,00%
Grus	37	2,70%
Stein	19	0,00%
Jord/Myr	2	0,00%
Leire	3	0,00%
Dyrket Mark	27	3,70%
Jord	1142	4,82%

## B.3 Mastealder

I TEs treanalysen er det ført statistikk på impregneringsår for mastene av de 29 kraftlinjene. Fordeling av årgang på de ulike mastene (impregneringsårstallet) er som vist i Tabell B.3. De mastene som er undersøkt er impregnert i tidsperioden fra 1920 til 1990. I oversikten under er tidsperioden delt opp i 10-års intervaller, mastene er kategorisert etter tidsintervallet de tilhører.

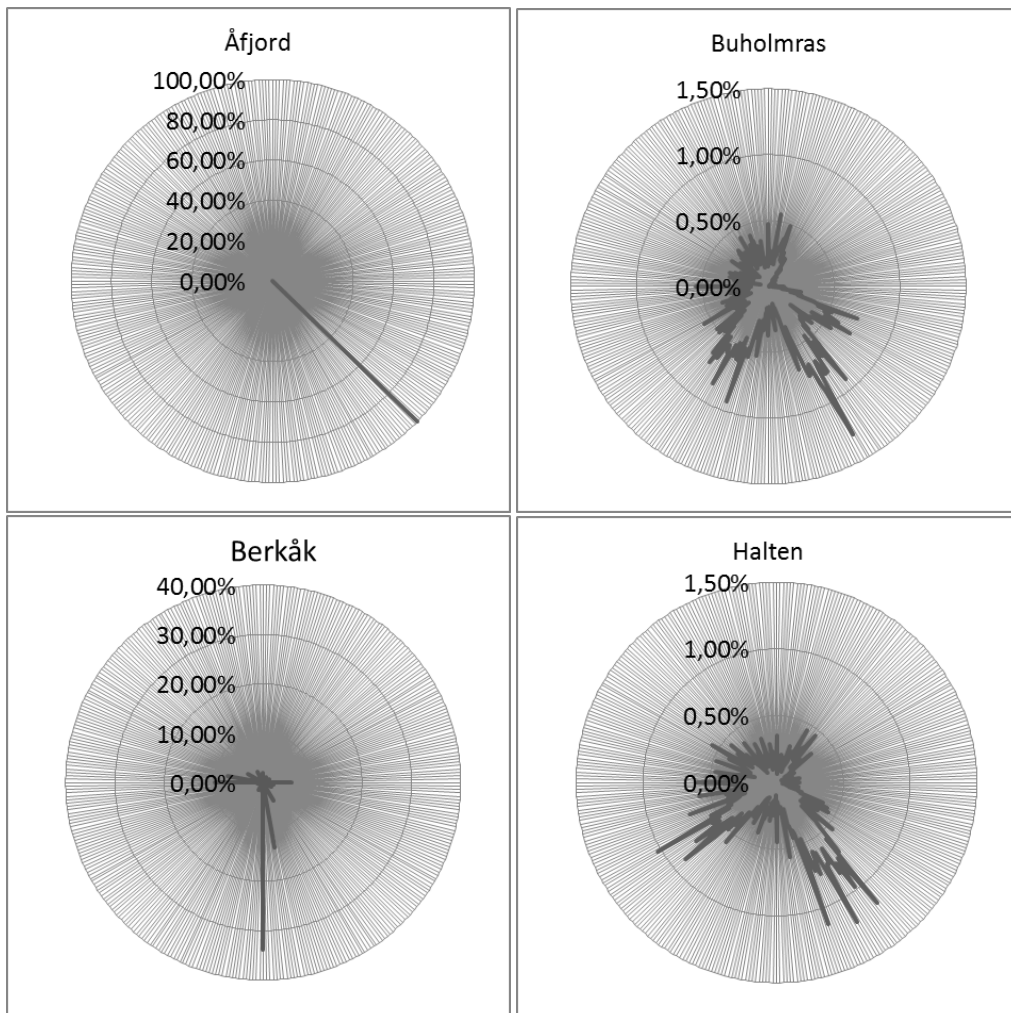
Tabell B.3: Oversikt over byggeår på de tremastene som er blitt kontrollert ved TE[12].

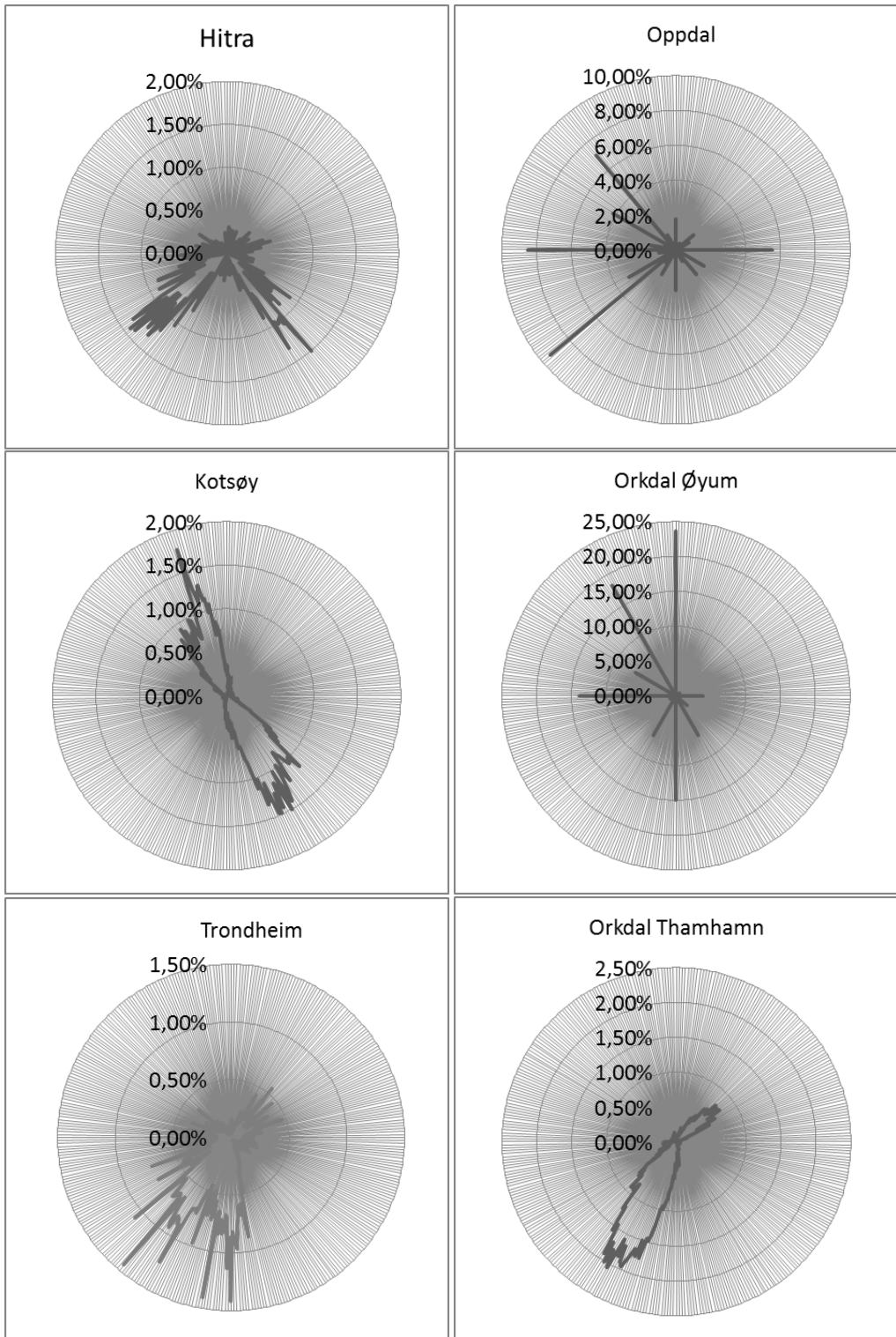
<b>Årgang</b>	<b>Antall master av årgangen[%]</b>
1920 - 1930	6,77
1930 - 1940	0
1940 - 1950	3,79
1950 - 1960	30,06
1960 - 1970	43,33
1970 - 1980	12,55
1980 - 1990	3,50

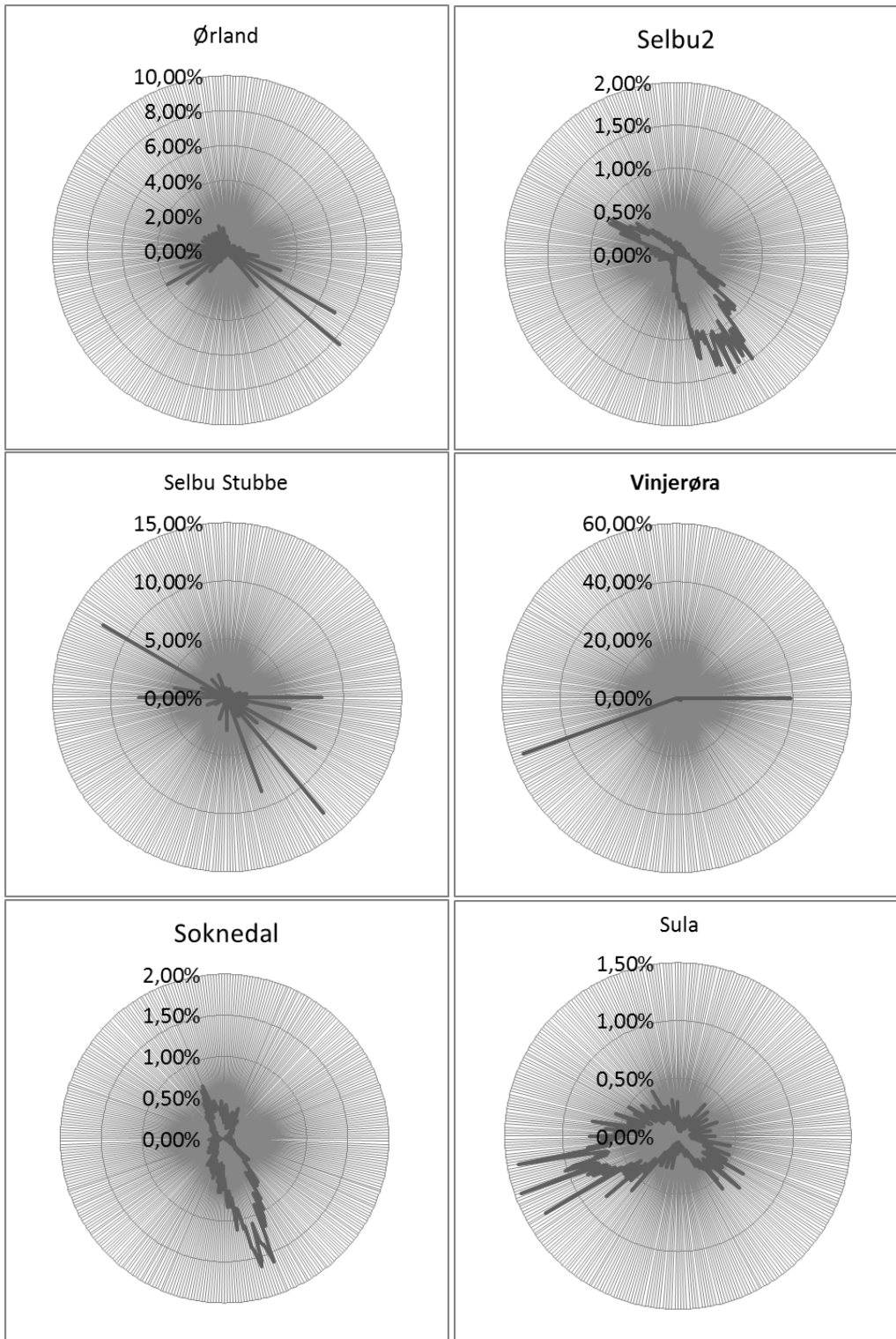


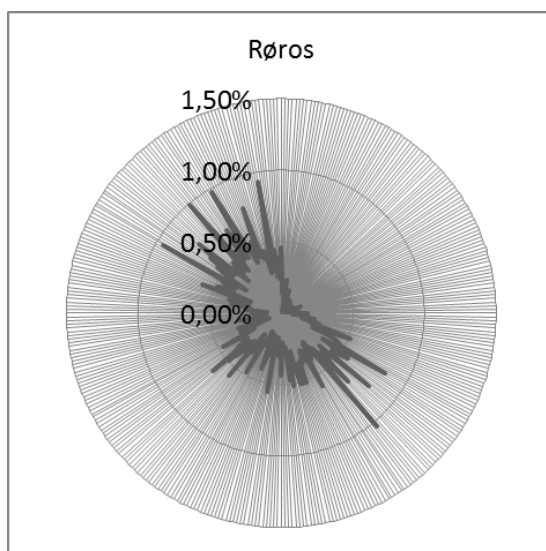
## C | Vinddata fra Meteorologisk Institutt

Fordeling på summen av vindhastighet som blåser i hver av de ulike retningene for de 17 ulike værstasjonene i Sør-Trøndelag er som vist i grafene under. Summen for vindhastighet er gitt av total oppsummert observasjoner. Fordeling av vindhastighet per retning er gitt i prosent.









Observasjonene som oppsummert i grafene ovenfor er basert på ulike mengder med tilgjengelig data. Data er samlet inn over ulike tisperioder og ved hjelp av ulike metoder ved stasjonene. Oversikten er som vist i tabell [C.1](#).

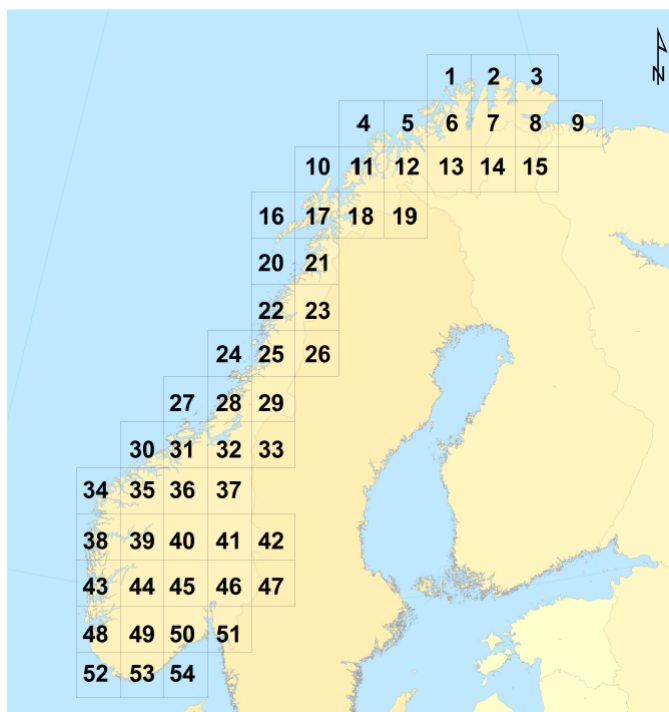
Tabell C.1: Tilgjengeligheten av vindretningsdata for ulike værstasjoner i Sør-Trøndelag[5].

Stasjonsnummer	Navn	Måledata fra	Måledata til	Målingsmetode
66730	Berkåk			V
71990	Buholmras	Aug.04	-	I
71850	Halten	Jan.04	-	I
65451	Hitra	Sep.12	-	I
67560	Kotsøy	Nov.07	-	I
71550	Ørlandet	Jan.04	-	I
63705	Oppdal	Jan.04	-	I
66180	Orkdal Øyum	Jan.04	Mar.05	V
66150	Orkdal Thamhamn	Aug.06	-	I
10380	Røros	Jan.04	-	I
68290	Selbu2	Sep.07	-	I
68340	Selbu Stubbe	Jan.04	Nov.06	V
67280	Soknedal	Des.07	-	I
65940	Sula	Jan.04	-	I
68860	Trondheim	Jan.04	-	I
65110	Vinjerøra	Jan.04	Sep.05	V
71780	Åfjord	Des.07	Feb.08	I

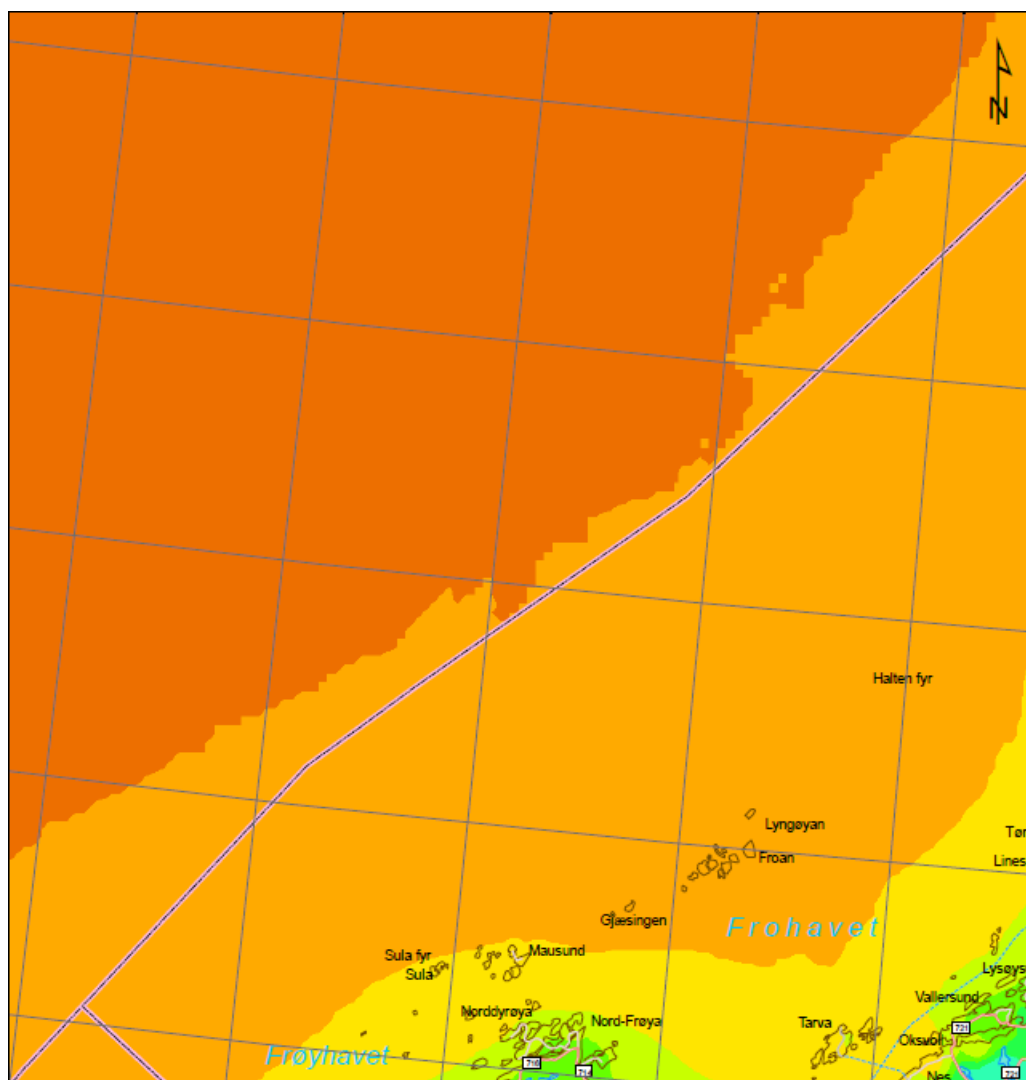
I: Instrumentell observasjon, V: Visuell observasjon.

## D | Vindkart fra Kjeller Vindteknikk

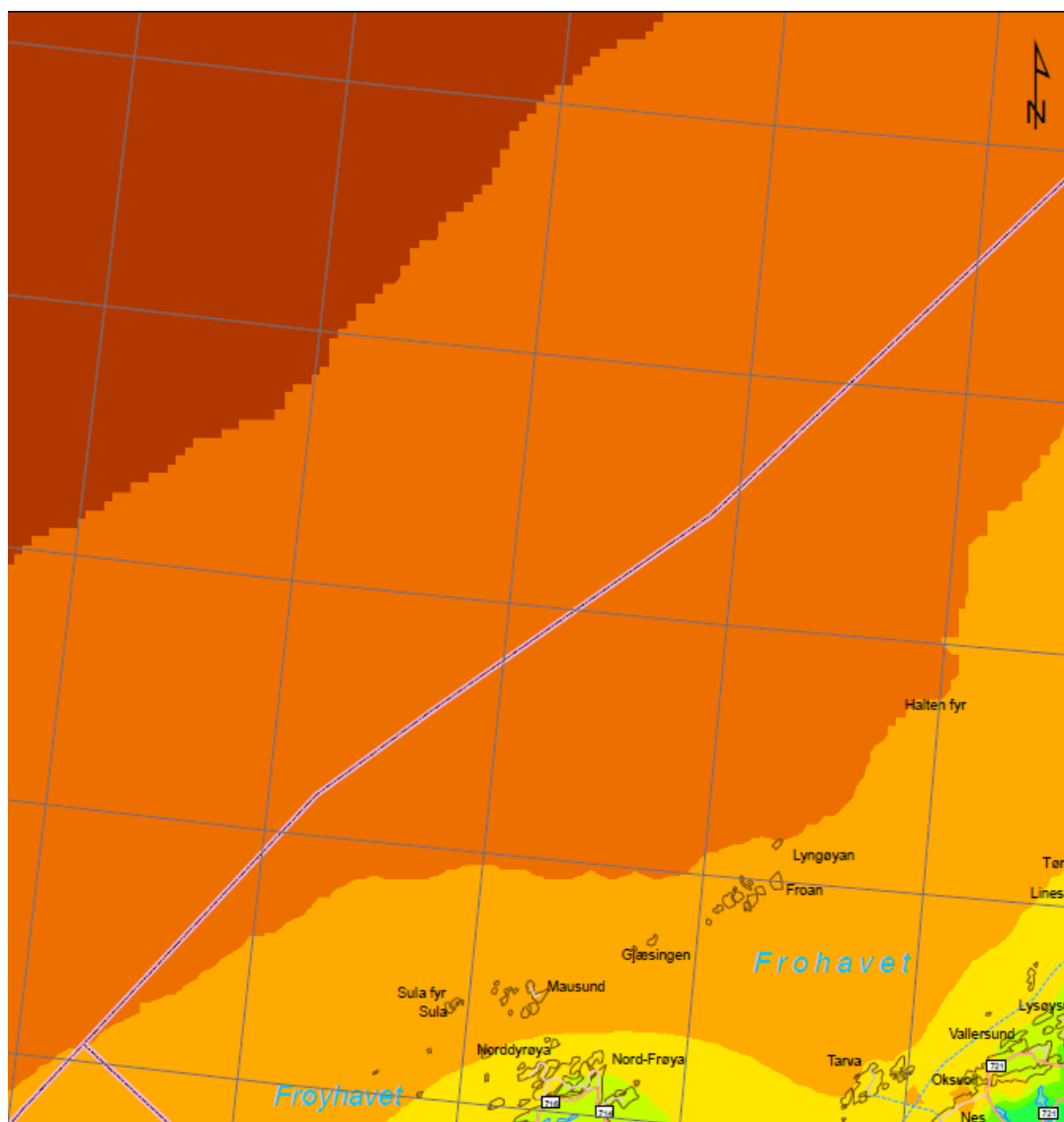
Dette kapitlet inneholder kartlag som det er utført undersøkelser på i Avsnitt 3.5.2. I denne undersøkelsen er det brukt kartdata fra Kjeller Vindteknikk som dekker hele Norge fra 50, 80 og 120 meters høyde som vist i Figur D.1. I denne oppgaven er det gjort et forsøk på å legge inn kart i ArcGIS for området dekket av kartblad 27 ved en 50 meters høyde som vist i Figur D.2. Framgangsmåten er beskrevet i Avsnitt 3.5.2. Kart fra de andre høydene over samme området er som vist i Figur D.3 og Figur D.4. Ved sammenligning av kart om samme området fo tre ulike områder er det mulig å se at det er tydelig forskjell i vindhastighet ved endring i høyde.



Figur D.1: Nummerering av kart i forhold til Norgeskartet

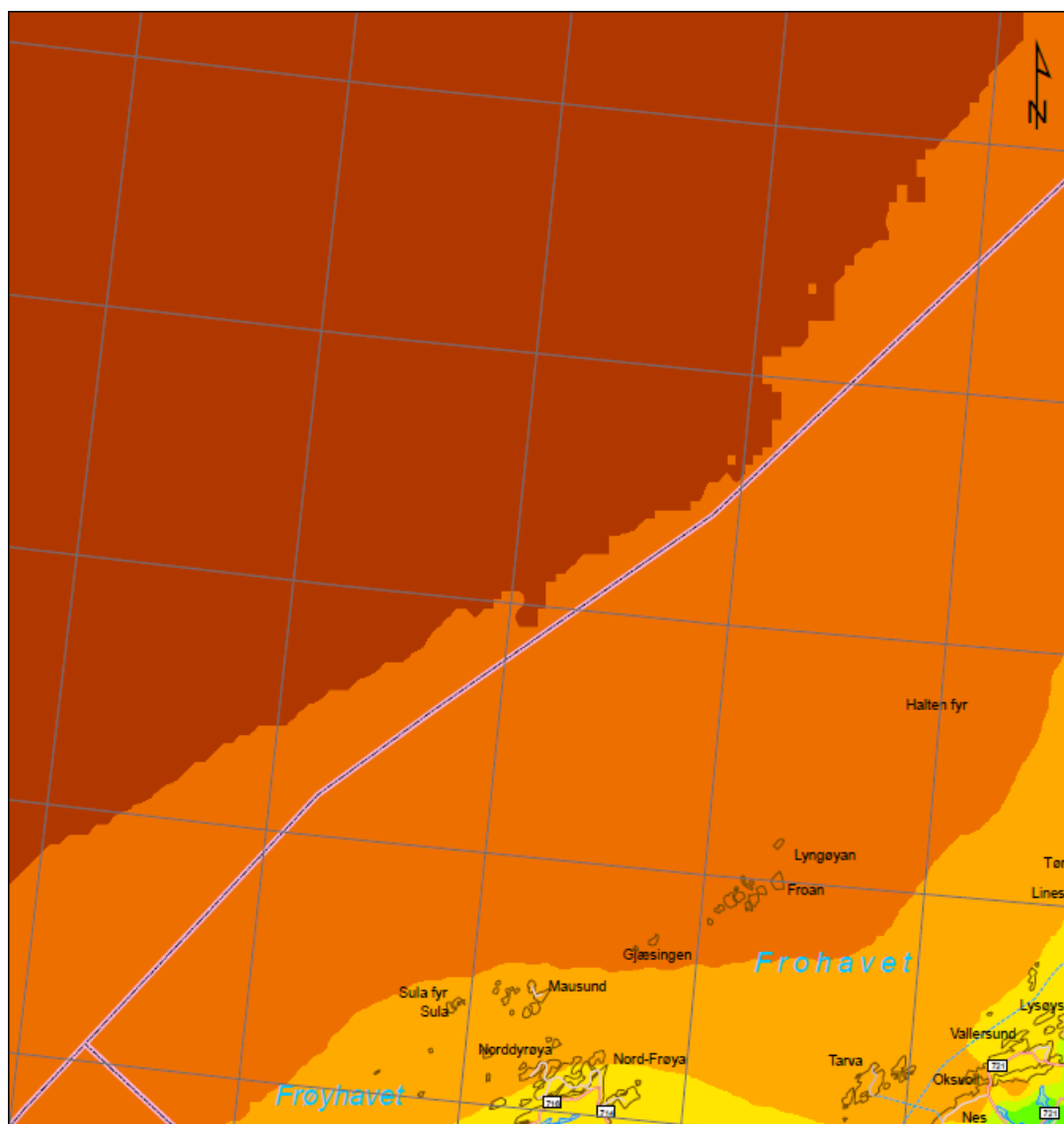


Figur D.2: Kart 27 fra 50 meters høyde



Figur D.3: Kart 27 fra 80 meters høyde





Figur D.4: Kart 27 fra 120 meters høyde

## Bibliografi

- [1] Esri. (2013). Hjemmesiden. <http://resources.arcgis.com>.
- [2] Kjeller Vindteknikk AS. (2009). Vindkart for Norge.
- [3] Meteorologisk Institutt. (2013). Hjemmesiden. <http://www.met.no/>.
- [4] Meteorologisk Institutt. (2014). Meteorologisk leksikon (MetLex). <https://metlex.met.no/>.
- [5] Meteorologisk Institutt.(2013). Klimadatabasen. <http://eklima.met.no/>.
- [6] Norges vassdrags- og energidirektorat. (2013). Hjemmesiden. <http://www.nve.no/>.
- [7] Norsk Institutt for Luftforskning. (2013). Hjemmesiden. <http://www.luftkvalitet.info/>.
- [8] Norsk institutt for skog og landskap.(2013). Hjemmesiden. <http://www.skogoglandskap.no/>.
- [9] REF. (1993). Tekniske anbefalinger, 22kV Tremastlinjer.
- [10] Skog og landskap. (2010). Arealressurskart - AR5.
- [11] Statnett. (2014). Hjemmesiden. <http://www.statnett.no/>.
- [12] TrønderEnergi AS. Tilstandskontroll av trestolper, analyseresultater.
- [13] TrønderEnergi AS. (2013). Hjemmesiden. <http://tronderenergi.no/>.
- [14] TrønderEnergi AS. (2014). NetBas sentralarkiv.
- [15] Bakken, S. A. (2013). Stor risiko for mastebranner. *Energiteknikk*.
- [16] Bjørdal, I. and Bjørkelo, K. *AR5 Klassifikasjonssystem - Klassifikasjon av arealressurser. Skog og landskap.*
- [17] Evans, F. G., Jenssen, K. M., and Kluge, T. (1996). Stolpebesiktigere 2.utkast. Technical report, Treteknisk institutt, Mycoteam AS, Oslo Energi AS.
- [18] Fløan, J. (2014). Intervju. TrønderEnergi AS.

- [19] Gleditsch, M., Aabakken, C., and Astri Gillund, S. L. P. (2014). Det høyspente distribusjonsnett - innsamling av geografiske og tekniske komponentdata. Rapport nr 2-2014, Norges vassdrags- og energidirektorat, Middelthunsgate 29, Postboks 5091 Majorstua, 0301 OSLO.
- [20] Gustavsen, B. and Rolfseng, L. (2000). Simulation of wood pole replacement rare and its application to life cycle economy studies. In *IEEE transactions on power delivery*, volume 15, pages 300–306.
- [21] Hjartarson, T., Jesus, B., Hughes, D., and Gndfrey, R. (2003). Development of health indices for asset condition assessment. In *Transmission and Distribution Conference and Exposition, 2003 IEEE PES*, volume 2.
- [22] Hughes, D. (2003). The use of «Health indices» to determine end of life and estimate remnant life for distribution assets. In *17th International Conference on Electricity Distribution, Barcelona*.
- [23] Jahromi, A. N., Piercy, R., Cress, S., Service, J. R. R., and Fan, W. (2013). An approach to power transformer asset management using health index. *IEEE Electrical Insulation Magazine*, 25(2).
- [24] Li, Y. (2013). Sannsynlighet for råteangrep i trestolper som funksjon av miljøpåkjenning med gis analyse. Fordypningsprosjekt i energi og miljø, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- [25] Naderian, A., Cress, S., Piercy, R., Wang, F., and Service, J. (2008). An approach to determine the health index of power transformers. In *Electrical Insulation, 2008. ISEI 2008. Conference Record of the 2008 IEEE International Symposium on, Vancouver*.
- [26] Otterland, T. (2014). E-mail. Powell AS.
- [27] Refsnæs, S. (2013). E-mail. SINTEF Energi AS.
- [28] Refsnæs, S., Rolfseng, L., Solvang, E., and Heggset, J. (2006). Timing of wood pole replacement based on lifetime estimation. In *9th International Conference on Probabilistic Methods Applied to Power Systems KTH, Stockholm, Sweden*.
- [29] Rørvik, O. and Refsnæs, S. (2006). Sannsynligheten for råteangrep i trestolper. Technical report, Sintef Energiforskning AS.

- [30] Sneve, T. M. and amd Karstein Brekke, B. S. (2014). Aldersfordeling for komponenter i kraftsystemet - levetid og behov for reinvesteringer. Rapport nr 8-2005, Norges vassdrags- og energidirektorat, Middelthunsgate 29, Postboks 5091 Majorstua, 0301 OSLO.
- [31] Solvang, E. (2013). Forelesning fra fordypningsemne ELK-11. SINTEF Energi AS.
- [32] Steward, A. H. and Goodman, J. R. (1990a). Life cycle economics of wood pole utility structures. In *IEEE Trans, PWRD*, volume 5, pages 1040–1046.
- [33] Steward, A. H. and Goodman, J. R. (1990b). Wood pole management – utility case studies. In *IEEE Trans, PWRD*, volume 5, pages 422–456.
- [34] Thorshaug, E. (2012). Vedlikeholdsstyringsmodell for nettkomponenter. Master i energi og miljø, Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet.
- [35] Treu, A. (2012). Impregnering. *Skog og landskap*.
- [36] Vermeer, M. and Wetzer, J. (2013). Asset management decision support modelling, using a health index, for maintenance and replacement planning. In *Cigre A2 and C4, Zurich*.
- [37] Våg, A. B. (2014). E-mail. TrønderEnergi AS.