

Torbjørn Slinde

Prosesstøtte og visualisering i neste generasjons asset management

Masteroppgave i Energibruk og energiplanlegging

Veileder: Eivind Solvang

Juni 2019

Torbjørn Slinde

Prosesstøtte og visualisering i neste generasjons asset management

Masteroppgave i Energibruk og energiplanlegging
Veileder: Eivind Solvang
Juni 2019

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

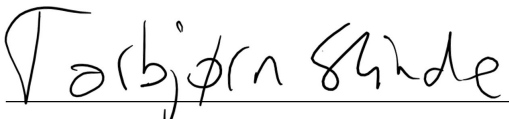
Forord

Denne masteroppgaven avslutter mitt studie på det 2-årige masterprogrammet Energibruk og Energiplanlegging ved NTNU. Oppgaven vektlegges med 30 studiepoeng og er gjennomført våren 2019 i samarbeid med SINTEF Energi og forskningsprosjektet FME CINELDI. Oppgaven handler om å vise hvordan visualisering kan gi bedre beslutningsstøtte for asset management. Masteroppgaven er et selvstendig vitenskapelig arbeid som bygger videre på fordypningsprosjektet *Visualisering i morgendagens asset management*.

I forbindelse med oppgaven ønsker jeg å takke hovedveileder Eivind Solvang fra SINTEF Energi/NTNU for god veiledning gjennom hele prosjekt- og masterperioden. Jeg setter stor pris på de konstruktive og gjennomtenkte tilbakemeldingene jeg har fått underveis. Dette gjelder òg for medveileder Hanne Vefsnmo fra SINTEF Energi som har bidratt med interessante diskusjoner og oppfølging. En takk rettes også til resten av arbeidsgruppen tilknyttet WP1 CINELDI for hyggelige møter. Under arbeidet med oppgaven var det viktig å få bransjeerfaring og derfor vil jeg takke Jonas Wåfler i Powel som har satt av tid og bidratt med innspill til utvikling av oppgaven.

Til slutt må jeg få takke representanter fra tilsammen syv nettselskap som har svart på tilsendt spørreundersøkelse, samt mine medelever som har bidratt til et hyggelig arbeidsmiljø dette semesteret.

Trondheim, 11.06.2019



Torbjørn Slinde

Sammendrag

Distribusjonsnettene består av svært mange komponenter og representerer betydelige økonomiske verdier for nettselskapene. Det er planlagt store investeringer i distribusjonsnettene de neste årene, samt at komponentene blir eldre. Økt digitalisering med fokus på innhenting, prosessering og visualisering av data gir nettselskapene mulighet til å få et bedre beslutningsgrunnlag for asset management (anleggsforvaltning på norsk). Asset management dekker spesielt to områder: forvaltning av anleggsområde og det mer organisatoriske. I denne masteroppgaven blir det fokusert på det første området, med hovedvekt på vedlikehold og reinvestering/utskifting.

Formålet med denne oppgaven er å vise hvordan visualisering kan gi bedre beslutningsstøtte for vedlikehold og reinvestering. I den anledning kan visualisering knyttes mot et dashboard for bedre beslutningstaking. Hovedfunksjonen til et slikt dashboard vil være at selskapene får en oversiktlig plattform som støtter beslutninger for vedlikehold og reinvestering av ulike komponenter. Et dashboard er avhengig av god datakvalitet og tilgjengelig inngangsdata. Dashboardet deles inn i flere vindu og gir ulike brukere informasjon for å bedre kunne planlegge handlinger. Utvalgte skisser tilknyttet et tenkt dashboard er utarbeidet i visualisering- og analyseverktøyet Power BI utviklet av Microsoft.

Videre er det presentert tre caser. Alle tre casene er viktig for visualisering i form av informasjonsgrunnlag for strategier og metoder for beslutningstaking. I case 1 er det sett på hvordan miljø- og komponentdata kan brukes til å plukke ut høyspentmaster. Dette er master som er forventet at skal skiftes ut basert på alder og ulike grunnforhold. Selskapene får på denne måten en oversikt over forventet utskifting de neste årene. I case 2 visualiseres resultatene fra prosjektet REPLAN, hvor det er utført tilstandsvurderinger med tilhørende økonomiske analyser for ti ulike fornyelsesalternativ. Det er flere faktorer som spiller inn ved valg av alternativ, og faktorene kan visualiseres for å gi et bedre grunnlag for beslutningstaking. Beslutning er ofte knyttet til risikoaspektet, og spesielt konsekvenskriteriet personsikkerhet. Dette blir sett på i Case 3, hvor det er presentert ulike måter for å prioritere tiltak basert på risiko. Personsikkerhet er det viktigste konsekvenskriteriet, og det bør legges størst fokus på dette kriteriet når tiltak prioriteres.

For å kunne kartlegge behovet for et dashboard, ble det sendt ut en spørreundersøkelse til 14 nettselskap, hvor syv nettselskap svarte på undersøkelsen. Målet med spørreundersøkelsen var at nettselskap kunne komme med kommentarer til skisser av et tenkt dashboard og resultat fra casestudiene, samt svare på spørsmål knyttet til asset management. Tilbakemeldingene fra de syv nettselskapene har vært verdifull for denne oppgaven.

Abstract

The distribution grid consists of several components and represents major financial values for the distribution grid operators (DSOs). Major investments are planned in the distribution network during the years, while the components are aging. Increased digitalization focusing on acquisition, processing and data visualization allows network companies to get a better decision base for asset management. The concept of asset management covers two main aspects: management of the physical infrastructure and management of the organizational aspect. In this master's thesis the focus is on the first aspect, with emphasis on maintenance and reinvestments/replacement.

This thesis aims to present how visualization can provide better decision support for maintenance and reinvestments. Further, visualization can be linked to a dashboard for better decision making. The main function of such a dashboard is that the companies get a platform which supports decisions for maintenance and reinvestments of various components. Data quality and available input data are important when using a dashboard for visualization. A dashboard is divided into multiple windows and provides different users with information to better plan actions. Selected sketches associated with a dashboard have been prepared in the visualization and analysis tool Power BI developed by Microsoft.

Furthermore, three cases are presented. All three cases are important for visualization to get a better understanding of different strategies and methods for decision making. In case 1, it is shown how environmental and component data can be used to find utility poles which are expected to be replaced based on age and different ground conditions. In this way, the companies can get an overview of expected replacements the following years. In Case 2, results from the project REPLAN are visualized, where the condition assessments and associated economic analysis have been carried out for ten different renewal alternatives. There are several factors that influence choosing an alternative, and the factors can be visualized to provide a better basis for decision making. Decisions are often risk based, and in particular based on personal safety. This aspect is considered in Case 3, where various ways of prioritizing actions based on risk are presented. Personal safety is the most important risk consequence category, and it is recommended to prioritize this category when actions are planned.

To be able to get an overview of the need for a dashboard, a survey was sent to 14 DSOs, where seven DSOs responded to the survey. The survey's aim was that the DSOs could comment on sketches of an imaginary dashboard and results from the case studies, as well as answer questions related to asset management. The feedback from the seven DSOs has been valuable in this thesis.

Innhold

Forord	i
Sammendrag	ii
Abstract	iii
Figurer	vii
Tabeller	ix
Begrepsliste	x
1 Introduksjon	1
1.1 Beskrivelse av oppgave	1
1.2 Bakgrunn og formål	2
1.3 Oppbygging av rapporten	3
2 Beslutningstaking for asset management	4
2.1 Asset management	4
2.1.1 Risikobegrepet	5
2.1.2 Vedlikehold og reinvestering	6
2.1.3 Hovedutfordringer	8
2.2 Beslutningstaking for vedlikehold og reinvestering	9
2.2.1 Mål med beslutningstaking	9
2.2.2 Strategier	10
2.2.3 Tilstandskontroller og befaringer	11
3 Dashboard for asset management	12
3.1 Visualisering i et dashboard	12
3.2 Konseptet bak et dashboard	13
3.3 Oppbyggingen av et dashboard	15
3.4 Formål for visualisering	16
3.5 Informasjonsgrunnlag for komponenter i anlegget	17
3.5.1 Informasjon om komponenter	17
3.5.2 Feil og avbrudd	17
3.5.3 Resultat fra en økonomisk analyse	18

3.6	Brukere og informasjon	18
3.7	Dagens praksis: Fra manuelle til automatiske analyser	20
3.7.1	Sammenstilling av data	20
3.7.2	Manuelle analyser	21
3.7.3	Automatiske analyser	21
3.7.4	Automatisk prioriteringsliste	22
4	Høyspennings distribusjonsnett	24
4.1	Oppbygging av kraftnettet	24
4.2	Feilstatistikk	25
4.3	Kraftledning	26
4.4	Råteskader	28
4.5	Råtekontroller	30
5	IKT-systemer og verktøy	31
5.1	Systemer for drift og planlegging	31
5.2	Analyse- og visualiseringsprogram	33
5.2.1	ArcGIS	33
5.2.2	Power BI	34
5.2.3	Fordeler/ulempes med ArcGIS og Power BI	37
6	Oppbygging av dashboard	38
6.1	Formål for visualisering	38
6.2	Antagelser og forutsetninger	39
6.3	Oppbyggingen	39
6.3.1	Eksempel på oversiktsside	39
6.3.2	Eksempel på hjelpeside	42
6.3.3	Tilleggsside	43
7	Caser: Visualisering for beslutningstaking	44
7.1	Beskrivelse av caser	44
7.2	Case 1 - Råteutvikling knyttet til reinvestering	45
7.2.1	Scenario 1: Master i dyrket mark	48
7.2.2	Scenario 2: Alle master, ulik alder	51
7.2.3	Scenario 3: Alle master, samme alder	53
7.2.4	Samlet vurdering	54
7.3	Case 2 - Resultat og bruk av økonomisk analyse	56
7.3.1	Visualisering av resultat fra prosjektet REPLAN	56
7.3.2	Valg av alternativ	59
7.3.3	Visualisering av alternativ 5	61
7.3.4	Oppsummering	63
7.4	Case 3 - Prioritering basert på personsikkerhet	64
7.4.1	Eksempel: Råteutvikling i stolpe	64
7.4.2	Prioritering basert på risikoindikator	67
8	Spørreundersøkelse	68

8.1	Del 1: Generelle spørsmål	69
8.2	Del 2: Kommentarer til skisse	70
8.3	Del 3: Kommentarer til casestudiene	71
8.3.1	Case 1	71
8.3.2	Case 2	71
8.3.3	Case 3	72
8.4	Tilleggsinfo og avslutning av spørreundersøkelse	72
9	Diskusjon	73
9.1	Dashboard for asset management	73
9.1.1	Visualiseringens mål og nytteverdi	73
9.1.2	Automatiske analyser	74
9.1.3	Oppbygging av dashboard	75
9.2	Casestudier	76
9.2.1	Case 1	76
9.2.2	Case 2	77
9.2.3	Case 3	78
9.2.4	Samlet vurdering	78
9.3	Spørreundersøkelse	79
10	Konklusjon	80
11	Videre arbeid	81
12	Bibliografi	83
A	Vedlegg - Dashboardløsninger	87
B	Vedlegg - Spørreundersøkelse	90

Figurer

1.1	Planlagte investeringer frem til 2025 i regional- og distribusjonsnettet.	2
2.1	Eksempel på en 5x5 risikomatrix.	5
2.2	Eksempel på en komponents livssyklus.	9
2.3	Strategi for beslutninger for gjennomføring av vedlikehold og reinvestering basert på RENblad 8015.	10
3.1	Skisse av konseptet bak et dashboard.	13
3.2	Et dashboard innhenter ulik data som visualiseres for bedre beslutningstaking. . .	16
3.3	De ulike nivåene for asset management.	18
3.4	Dashboard som viser utførte vedlikeholdsoppdrag.	20
3.5	Praksis for tiltak basert på manuelle analyser.	21
3.6	En mer automatisk tilnærming til prioritering av tiltak.	22
3.7	Eksempel på oppsett av en automatisk modell.	23
4.1	Ulike spenningsnivåer i strømmettet.	24
4.2	Utløsende årsaker for feil på kraftledning i det høyspente distribusjonsnettet i 2017.	26
4.3	Tremast med utstyr og sammenføyninger.	27
4.4	Forskjellige konstruksjonsløsninger for tremaster.	28
4.5	Påliteligheten til systemet er avhengig av systemarrangement, drifts- og miljøpåkjenninger og stolpens egenskaper.	29
4.6	Sannsynligheten for råte i kreosotimpregnerte stolper som funksjon av tid i området rundt Oslofjorden.	30
5.1	En enkel skisse av SCADA-systemet.	32
5.2	Dashboard som viser predikerte vegetasjonsfeil med tilhørende risikomodell. . .	34
5.3	Verktøyet Power BI.	35
5.4	Utklipp av visualiserings- og analyseverktøyet Power BI.	35
5.5	Eksempel på aggregering av fire antatte linjestrekk til fire datapunkter.	36
6.1	Informasjon om valgt transformator i et område.	40
6.2	Hovedside for transformatorer i et tenkt dashboard.	41
6.3	Hovedside for transformatorer med tilhørende enlinjeskjema i et tenkt dashboard. .	41
6.4	Hjelpeside som viser informasjon om en valgt komponent.	42
6.5	Standard oljeanalyse for en transformator innhentet til det tenkte dashboardet. . .	43

7.1	Registrert alder på master.	46
7.2	Aldersfordeling basert på grunnforhold.	47
7.3	Utskifting av antall master med grunnforholdet dyrket mark.	48
7.4	Utskiftingskostnad av antall master med grunnforholdet dyrket mark.	48
7.5	Utskiftingskostnad (nåverdi) av antall master med grunnforholdet dyrket mark.	49
7.6	Område med tre master med antagelsene dyrket mark, høyeste varmesum og høyere alder enn 60 år.	50
7.7	Utskifting av antall master for alle grunnforhold med antatt ulik levetid.	51
7.8	Utskiftingskostnad av master for alle grunnforhold med antatt ulik levetid.	51
7.9	Utskiftingskostnad (nåverdi) av master sammenlignet med budsjett på 20 millioner.	52
7.10	Utskiftingskostnad (nåverdi) av master sammenlignet med budsjett på 10 millioner	53
7.11	Utskifting av antall master for alle grunnforhold med antatt lik og ulik levetid.	53
7.12	Utskiftingskostnad av master for alle grunnforhold med antatt lik og ulik levetid.	54
7.13	Oversikt over registrert alder for 23669 master.	55
7.14	Alternativer med tilhørende utskiftingstidspunkt.	57
7.15	Resultater fra fornyelsesbefaring og kostnadsberegning for linjen.	58
7.16	Kostnader tilknyttet ti alternativer på linjen.	58
7.17	Utskifting av antall komponenter for alternativ 5.	62
7.18	Kostnadsfordeling for planlagte utskiftinger i løpet av en tiårsperiode for alternativ 5.	62
7.19	En 5x5 risikomatrix for to ulike hendelser for konsekvenskriteriet personsikkerhet.	65
7.20	En 5x5 risikomatrix for to ulike hendelser og to ulike tiltak for konsekvenskriteriet personsikkerhet.	66
8.1	Gjennomsnittssvar fra syv ulike nettselskap om datakvalitet for ulike faktorer.	70

Tabeller

2.1	Tilstandskarakterer og generelle kriterier for karaktersetting.	7
3.1	Informasjon som kan samles i et dashboard	19
4.1	Fordeling av feil og tilhørende ILE på anleggsdeler	25
5.1	Fordeler/ulemper med ArcGIS og Power BI.	37
6.1	Oversikt over funksjonen til et dashboard med tilhørende caser.	38
7.1	Ulike mastedata hentet fra en tidligere masteroppgave.	45
7.2	Antall master i ulike grunnforhold.	47
7.3	Beskrivelse av ulike tilstandskarakterer med tilhørende utskiftingstidspunkt. . .	56
7.4	Aggregerte tilstandskarakterer per komponenttype for linjen.	56
7.5	Antall komponenter som skiftes ut i løpet av analyseperioden på 20 år for de ti ulike alternativene.	59
7.6	Antall komponenter som har TK=2.	60
7.7	Sannsynligheten for svikt for tiltak i år 6 (U6), år 11 (U11) og totalt for alternativ 5 i løpet av ti år.	61
7.8	Eksempel på skala for konsekvens/sannsynlighet med forklaring.	65

Begrepsliste

Uttrykk/akronym	Definisjon eller uttrykket som er forkortet	Ref.
Avbrudd	Tilstand karakterisert ved uteblitt eller redusert levering av elektrisk energi til én eller flere sluttbrukere, hvor forsyningsspenningen er under 1 % av kontraktmessig avtalt spenning.	[1]
API	Application Programming Interface er et grensesnitt for overføring av data mellom ulike parter.	
Anlegg	Gruppe anleggsdeler som utfører en hovedfunksjon i kraftsystemet.	[1]
Anleggsdel	Utstyr som utfører en hovedfunksjon i et anlegg.	[1]
Asset management	Asset management (anleggsforvaltning) gjør en organisasjon mer rustet til styring og drift, og omhandler balansering av kostnader, ytelse og risiko.	[2]
DMS	Distribution management systems brukes for å overvåke og kontrollere et distribusjonsnett.	[3]
Driftsforstyrrelse	Utløsning, påtvungen eller utilsiktet utkobling, eller mislykket innkobling som følge av feil i kraftsystemet.	[1]
FASIT	Et standardisert registrerings- og rapporteringssystem for feil og avbrudd i kraftsystemet.	[4]
Feil	Tilstand der en enhet har manglende eller nedsatt evne til å utføre sin funksjon.	[1]
Forbigående feil	Feil hvor korrigerende vedlikehold ikke er nødvendig.	[1]
GIS	Geographical Information Systems er informasjonssystemer utviklet for å lagre, presentere og analysere geografiske data.	[3]
ILE	Ikke levert energi er beregnet mengde energi som ville ha blitt levert til sluttbruker dersom svikt i leveringen ikke hadde inntruffet.	[1]
Høyspenningmast	Også omtalt som mastepunkt og mast i denne rapporten. Består av mange komponenter som stolpe, fundament, bardun, travers, line, oppheng og isolator.	
IKT-systemer	Informasjons- og kommunikasjonssystem.	
KILE	Kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi.	
Komponent	Del av anleggsdel.	[1]

Uttrykk/akronym	Definisjon eller uttrykket som er forkortet	Ref.
Korrektivt vedlikehold	Vedlikehold som utføres etter at en feil er oppdaget, og som har til hensikt å bringe en enhet tilbake i en tilstand som gjør det mulig å utføre en krevd funksjon. Kalles også korrigerende vedlikehold eller reparasjon.	[1]
KPI	Key performance indicator.	
Maskinlæring	Maskinlæring er en spesialisering innen kunstig intelligens hvor statistiske metoder brukes for å la datamaskiner finne mønstre i store datamengder.	[5]
NIS	Network Information Systems er informasjonssystemer utviklet for å forvalte ulike typer nettverk, herunder telenett og forsyningsnettverk for strøm, vann og gass.	[3]
Preventivt vedlikehold	Vedlikehold som utføres etter forutbestemte tidsintervaller eller ifølge forutbestemte kriterier, og som har til hensikt å redusere sannsynligheten for svikt eller funksjonsnedsetting (degradering). Kalles også forebyggende vedlikehold.	[1]
Periodisk preventivt vedlikehold	Vedlikehold blir utført etter et fast tidsintervall.	
Risiko	Risiko er knyttet til kombinasjonen av sannsynligheten for en fremtidig hendelse og dens konsekvenser.	[2]
Risikobasert vedlikehold	Vedlikehold blir utført etter en samlet risikovurdering av en komponent.	
SCADA	SCADA-systemer er industrielle kontrollsystemer som brukes til å fjernstyre og overvåke fysiske prosesser.	[3]
Stordata	Den mest utbredte definisjonen av stordata (big data) er ved bruk av de tre v'ene: volum, velositet (omløpshastighet) og variasjon.	[6]
Svikt	Hendelse der en enhets evne til å utføre sin funksjon opphører eller reduseres.	[1]
Tilstandskarakter	En parameter for å estimere tilstanden til en komponent.	
Tilstandsbasert preventivt vedlikehold	Vedlikehold blir utført etter komponentens tilstand.	
Tingenes internett	Internet of Things eller IoT er et samlebegrep for flere komponenter som blir koblet sammen til et komplekst system via Internett.	[3]
Varige feil	Feil hvor korrigerende vedlikehold er nødvendig.	[1]
Vedlikehold	En kombinasjon av alle tekniske og administrative aktiviteter, inkludert overvåkingsaktiviteter, som har til hensikt å opprettholde eller gjenvinne en tilstand som gjør en enhet i stand til å utføre en krevd funksjon.	[1]

Kapittel 1

Introduksjon

1.1 Beskrivelse av oppgave

I denne oppgaven er målet å vise hvordan visualisering kan gi bedre beslutningsstøtte for vedlikehold og reinvestering i det høyspente distribusjonsnettet. Hovedfokuset ligger på hvordan ulik informasjon kan visualiseres for at nettselskapene får et bedre grunnlag for beslutningstaking. Det er i denne sammenheng forskjell på hvilke data som visualiseres. Dette er rådata, grader av bearbejdet analyser og fullstendige analyser. For å vise mulighetene for visualisering, er det mulig å vise eksempler med både rådata og fullstendige analyser.

Oppgaven deles inn i de tre følgende delaktivitetene:

- 1. Utvikle skisser og eksempler i verktøyet Power BI av noen utvalgte vindu fra et tenkt dashboard.**
- 2. Vise hvordan visualisering kan gi bedre beslutningsstøtte for vedlikehold og reinvestering ved hjelp av casestudier.**
- 3. Sende ut en spørreundersøkelse til ulike nettselskap. Undersøkelsen skal berøre dagens praksis for asset management, samt gi nettselskapene mulighet til å komme med kommentarer til resultater fra de to delaktivitetene nevnt over.**

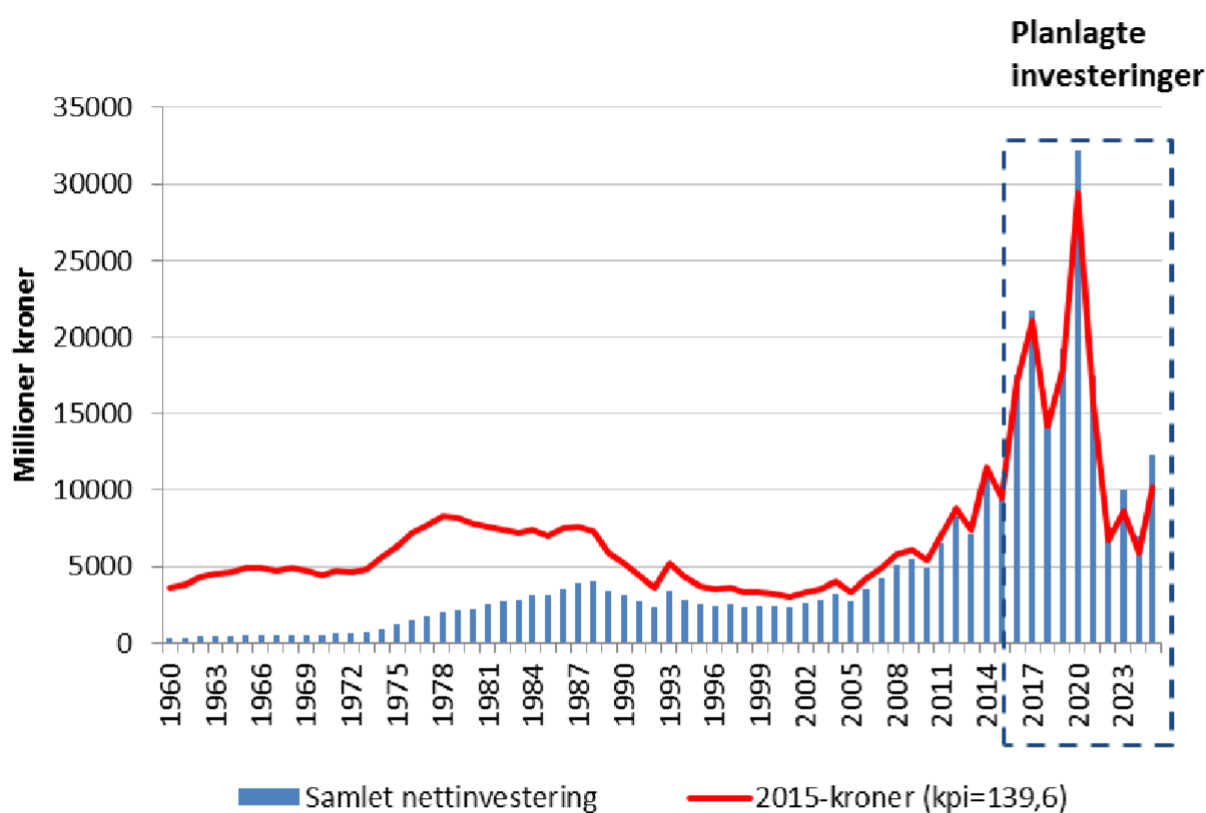
Denne masteroppgaven er tilknyttet pågående arbeid i arbeidspakke 1 (WP1) *Smart grid development and asset management* i FME CINELDI. WP1 er delt inn i fire deler, hvor prosjektoppgaven er en del av Task 1.3 Next generation asset management. CINELDI (Center for Intelligent Electricity Distribution) er et forskningsprosjekt som varer fra 2016 til 2024. Hovedmålet til forskningsprosjektet er å bidra til en kostnadseffektiv utforming av fremtidens fleksible og robuste distribusjonsnett [7].

Rapporten er en enkeltstående oppgave som bygger videre på fordypningsprosjektet *Visualisering i neste generasjons management* utført høsten 2018 [8]. Noe av teorien og skissene knyttet til oppbyggingen av dashboardet bygger på tidligere arbeid, men innehar noen endringer. Samtidig er det hentet inspirasjon ved hjelp av spørreundersøkelsen (besvart av syv nettselskap) med påfølgende intervjuer, samt avholdt møter med veiledere fra SINTEF Energi og Powel.

1.2 Bakgrunn og formål

I dag står kraftselskapene i et veiskille. Den teknologiske utvikling har på kort tid ført til stor omveltning i kraftbransjen. Endret forbrukermønster med blant annet flere elbiler og mer uregulerbar kraft fører til at belastningen i nettet endres. Samtidig blir komponentene i kraftnettet eldre som fører til svekkelse av komponentenes tilstand.

Det skal investeres svært mye i nettanlegg i Norge de neste ti årene, som vist i Figur 1.1. Disse investeringene vil ha betydning for drift- og forvaltningsfunksjonene i nettselskapene i denne perioden. Som figuren viser, planlegger nettselskapene å gjennomføre nyinvesteringer og reinvesteringer for over 91 milliarder kroner i regional- og distribusjonsnett fram til 2025 [3].



Figur 1.1: Planlagte investeringer frem til 2025 i regional- og distribusjonsnettet [3].

Nettselskapene er nødt til å balansere planlagte investeringer med blant annet drifts- og vedlikeholdskostnader. Dette kan knyttes til begrepet asset management eller anleggsforvaltning, som er et begrep som brukes i mange ulike bransjer. Denne rapporten vil bruke det engelske begrepet asset management. Generelt gjør asset management en organisasjon mer rustet til styring og drift, og omhandler balansering av kostnader, ytelse og risiko [9].

Levetiden på nettanlegg kan økes ved at vedlikeholdet blir bedre tilpasset, og med økt levetid reduseres også behovet for nettinvesteringer. IKT-systemer som bidrar til effektiv asset management blir dermed viktige i framtiden og de som utnytter slike systemer godt, vil ha mulighet

til høyere avkastning enn de som ikke gjør det. [3] For at det i hele tatt er mulig å diskutere IKT-systemer, er det umulig å komme utenom digitaliseringen. Nye sensorer er på vei inn, og begreper som stordata, skylagring og tingenes internett har kommet for å bli. Digitalisering åpner først og fremst for håndtering av store mengder data som kan lagres, prosesseres og visualiseres.

Det høyspente distribusjonsnett består av svært mange komponenter og representerer store økonomiske verdier for nettselskapene. Levetiden til komponenter i områder med store eksterne påkjenninger blir mye kortere enn i områder med moderate påkjenninger. Komponenter som representerer høy risiko for netteier prioriteres foran komponenter med mindre risiko.

Med dette som bakteppe, er det verdifullt med gode visualiseringer av både rådata og ulike former for analyser. Det er flere former for visualisering, som kan være knyttet til grafer, tabeller, matriser, kart og ulike dashboard. Det er mulig å samle informasjon i et dashboard som kan bidra til et bedre beslutningsgrunnlag for asset management. Et slikt dashboard bidrar til at brukeren kan planlegge når tiltak skal iverksettes over en lang tidsperiode. IT-delen av dashboardet har en viktig funksjon, men vil ikke være hovedfokus i denne oppgaven da det ikke skal utvikles en prototype av et dashboard.

1.3 Oppbygging av rapporten

I oppgaven presenteres det generell teori i Kapittel 2-5. Kapittel 2 vil presentere begrepet asset management, med fokus på vedlikehold og reinvestering. Formål og teorien bak et dashboard vil bli forklart i Kapittel 3. Mye av teorigrunnlaget i dette kapitlet er inspirert fra samtaler med kontaktperson i Powel. I de to etterfølgende kapitlene blir teori om høyspennings distribusjonsnett og IKT-systemer lagt frem.

Teorikapitlene brukes som utgangspunkt for utarbeiding av skisser i Kapittel 6. Det blir i dette kapitlet presentert skisser for et tenkt dashboard basert på fiktive data for transformatorer i fylket Sogn og Fjordane. Kapittel 7 presenterer tre ulike caser for visualisering av både rådata og utført analyse. Dette kapitlet presenterer metoder som støtter opp om strategier for beslutningstaking for vedlikehold og reinvestering, som er presentert i Kapittel 2.

I Kapittel 8 presenteres resultat fra spørreundersøkelsen. Det blir også referert til spørreundersøkelsen i andre deler av rapporten, hvor undersøkelsen har bidratt som teorigrunnlag. Spørreundersøkelsen danner også et grunnlag for diskusjon i Kapittel 9 hvor dashboardets utforming, de ulike casene og styrken/svakheten med en spørreundersøkelse blir diskutert.

Rapporten avsluttes i Kapittel 10 med konklusjon og Kapittel 11 med anbefaling til videre arbeid.

Kapittel 2

Beslutningstaking for asset management

I dette kapitlet vil begrepet asset management bli definert og forklart. Det vil bli sett på risikoaspektet og utfordringen knyttet til asset management. Det er i denne oppgaven fokus på vedlikehold- og reinvesteringsdelen av begrepet asset management. Målene med beslutningstaking for vedlikehold og reinvestering vil bli presentert til slutt i dette kapitlet.

2.1 Asset management

Asset management er definert som «koordinert aktivitet i en organisasjon for å realisere verdien av dens eiendeler» [9].

For nettselskap handler asset management om å ta beslutninger for å skape et robust distribusjonsnett. Dette innebærer balansering av kostnader, ytelse og risiko – hvor det lages strategier og prosedyrer for å balansere preventiv og korrektivt vedlikehold og reinvesteringer. Generelt kan det sies at asset management gjør organisasjon mer rustet til drift og vedlikehold. [2, 10]

Asset management dekker spesielt to områder: forvaltning av anleggsområdet og det mer organisatoriske [11]. I denne oppgaven er det valgt å fokusere på det første området, med hovedvekt på vedlikehold og reinvestering/fornyelse. Når beslutninger for asset management nevnes videre i denne rapporten, menes det beslutninger for vedlikehold og reinvestering. Videre i dette delkapitlet vil risikobegrepet bli presentert, med etterfølgende definisjon av både vedlikehold og reinvestering.

2.1.1 Risikobegrepet

Risiko er et sentralt begrep innen asset management og omhandler hva som kan skje i fremtiden. Begrepet risiko kan forklares ved å besvare disse tre spørsmålene [12]:

- Hva kan gå galt?
- Hva er sannsynligheten for at de uønskede hendelsene inntreffer?
- Hvilke konsekvenser kan hver av de uønskede hendelsene medføre?

Risiko er, med andre ord, knyttet til kombinasjonen av sannsynligheten for en fremtidig hendelse og dens konsekvenser [2]. For hver anleggsgruppe kartlegges risiko for uønskede hendelser i form av sannsynlighet og konsekvens. Ligning 2.1 viser hvordan risikoen kan regnes ut ved bruk av kvantitative verdier for konsekvens og sannsynlighet.

$$Risiko = Sannsynlighet \text{ for svikt/feil} \cdot Konsekvens \text{ for svikt/feil} \tag{2.1}$$

En 5x5 risikomatrix er vist i Figur 2.1. En risikomatrix brukes for å analysere konsekvensene (innvirkning) og sannsynligheten for en hendelse. Risikomatriksen er vanligvis delt inn i tre områder [13]:

Rødt område: Hendelsene i dette området blir ansett som ikke akseptable og krever risikoreduerende tiltak.

Gult område: De hendelsene som faller inn i dette område krever nærmere vurdering. Kostnadseffektive tiltak som kan redusere risikoen kan vurderes.

Grønt område: Hendelsene i dette området gir akseptabel risiko.

Konsekvens Sannsynlighet	Liten	Middels	Stor	Svært stor	Katastrofal
Svært sannsynlig	Yellow	Yellow	Red	Red	Red
Ganske sannsynlig	Green	Yellow	Yellow	Red	Red
Sannsynlig	Green	Green	Yellow	Yellow	Red
Lite sannsynlig	Green	Green	Green	Yellow	Yellow
Svært lite sannsynlig	Green	Green	Green	Green	Yellow

Figur 2.1: Eksempel på en 5x5 risikomatrix [13].

Ved å bruke en risikomatrix på denne måten forutsettes det at et selskap har forhold til hvilken risiko som både er akseptabel og uakseptabel. Begrensningen med en slik risikomatrix er at dersom risikoen splittes inn i mange bidrag med ulik grad av konsekvens og sannsynlighet, kan det være utfordrende å vekte de ulike bidragene. En uønsket hendelse kan få mange ulike konsekvenser. [13]

Det deles ofte inn i følgende konsekvenskriterier [11]:

- Personsikkerhet
- Økonomi
- Miljø
- Omdømme
- Leveringskvalitet
- Regulatoriske endringer
- Sårbarhet

Det er mulig, og ofte gunstig, å lage forskjellige risikomatrixer for disse konsekvenskriteriene. Akseptkriteriene for disse er ofte ulike, og også utfordrende å sammenligne da det ofte er en blanding av kvalitative og kvantitative vurderinger. For eksempel er det vanskelig å sette en kvantitativ verdi på personsikkerheten, mens det for økonomi er mer overkommelig. I tillegg kan akseptkriteriene (hvilke felt som er røde, gule og grønne) for personsikkerhet, være ulike enn for andre konsekvenskriterier.

2.1.2 Vedlikehold og reinvestering

Vedlikehold og reinvestering defineres som følgende og er hentet fra Ref. [14]:

- *Vedlikehold: Kombinasjon av alle tekniske og administrative aktiviteter – inkludert overvåkingsaktiviteter – som har til hensikt å opprettholde eller gjenvinne en tilstand som gjør en enhet i stand til å utføre en krevd funksjon. En skiller ofte mellom rutinemessig (planlagt) vedlikehold, uforutsett vedlikehold og rehabilitering.*
- *Reinvestering: Utskifting av eksisterende enhet med en ny. Den nye enheten forutsettes dimensjonert i henhold til de forutsetninger som gjelder ved utskiftingstidspunktet. Dette kan være utskifting (lik ytelse) eller oppgradering (økt ytelse).*

Reinvestering er et av alternativene når vedlikehold vurderes til å ikke være teknisk eller økonomisk lønnsomt eller at komponenten har sviktet. Dette når en enhet ikke lenger er, eller vurderes til å være, i stand til å utføre sin tiltenkte funksjon. [14] Det kan være verdt å merke seg at dersom reinvesteringen også innebærer en forsterkning eller utvidelse av eksisterende nett, blir dette betraktet som en nyinvestering.

Når kostnader beregnes, er det ofte kostnad knyttet til reinvestering eller korrektivt (korrigerende) vedlikehold og preventivt (forebyggende) vedlikehold. Med korrektivt vedlikehold menes det å vente til en hendelse har inntruffet før tiltak blir iverksatt. En slik hendelse kan være både

forutsett eller uforutsett. Metoden kan være fornuftig dersom kostnaden og risikoen for svikt er lav og det er vanskelig å gjennomføre grundig tilstandsvurdering [15].

I motsetning til korrektivt vedlikehold, går preventivt vedlikehold ut på å utføre vedlikehold før det oppstår skade på komponenter. Målet med preventivt vedlikehold er å forlenge levetiden av komponenten. Dette involverer ulike tilstandskontroller som inspeksjoner, befaringer og målinger, samt rutinemessige vedlikehold som blant annet rengjøring og revisjoner. [16] Preventivt vedlikehold kan deles inn i flere typer. Her er det valgt å forklare de tre typene periodisk preventivt vedlikehold, tilstandsbasert preventivt vedlikehold og risikobasert vedlikehold.

Periodisk preventivt vedlikehold

For periodisk preventivt vedlikehold blir inspeksjoner og service utført etter et fast tidsintervall. Komponentene vedlikeholdes basert på forventet levetid og er ofte basert på erfaringer, anbefalinger fra eksperter og informasjon gitt fra produsent. Tidspunkt for vedlikeholdsaktiviteter blir bestemt på forhånd med hovedfokus på å unngå svikt. Ulempen med dette er at levetiden til en komponent kan være mye lengre enn det som er forventet og at vedlikehold gjøres for tidlig. [15] Fordelen med periodisk preventivt vedlikehold er at vedlikeholdet er enkelt å administrere [16].

Tilstandsbasert preventivt vedlikehold

Tilstandsbasert preventivt vedlikehold omhandler vedlikehold av komponenter basert på komponentenes tilstand. For å finne den tekniske tilstanden til komponenten kombineres informasjon om komponenten og kunnskap fra driftspersonell. Dette innebærer ulike tester og inspeksjoner, som for eksempel oljeprøve av transformatorer. Det er viktig med kompetent personell som tydelig har oversikt og kunnskap om hvordan forskjellige komponenter skal tilstandsettes. [15]

Mye av utfordringen tilknyttet en komponent ligger i å kunne estimere tilstanden på en riktig måte. Tilstanden til en komponent vil synke med tiden, og riktig vedlikehold kan ofte forbedre tilstanden. Er derimot tilstanden ansett som dårlig, kan reinvestering være et alternativ kontra videre vedlikehold. Det kan tenkes at maskinlæring, manuell inspeksjon og sensorer vil være nyttige hjelpemiddel for å kunne si noe om tilstanden til en komponent. Det vil være naturlig å gi tilstanden en poengsum eller en tilstandskarakter, gjerne fra 1-5. Eksempel på slik tilstandskaraktersetting er vist i Tabell 2.1.

Tabell 2.1: Tilstandskarakterer og generelle kriterier for karaktersetting [17].

Karakter	Betydning
1	Ingen tegn til svekkelse.
2	Noe tegn til nedbrytning. Resultatet er noe dårligere enn i ny tilstand.
3	Utbredt tegn til nedbrytning. Betydelig dårligere enn i ny tilstand.
4	Tilstanden er kritisk.
5	Feil

Risikobasert vedlikehold

Risikobasert vedlikehold er en forlengelse av tilstandsbasert vedlikehold der risiko er med som en ekstra faktor [10]. Dette betyr at konsekvensen og sannsynligheten for uønskede hendelser er en sentral del av vurderingsgrunnlaget for å fastsette vedlikeholdet. Konsekvenskriteriene er knyttet til kriteriene vist i delkapittel 2.1.1.

2.1.3 Hovedutfordringer

Ref. [18] viser til fire hovedutfordringer tilknyttet asset management for selskapene rundt om i verden i dag. Disse fire hovedutfordringene er:

1. Mange komponenter som ble installert på slutten av 1900-tallet er fortsatt i drift og den antatte levetiden vil snart være utgått.
2. Selv om det ikke er problemer med komponenter som ble designet og produsert for mange år siden, kan det likevel være utfordringer knyttet til teknisk støtte og reservedeler.
3. I mange situasjoner vil det med dagens utskiftingshastighet ta mange hundreår å erstatte allerede eksisterende utstyr fullt ut.
4. Siden det er en del aldrende komponenter, vil risikoen for at flere komponenter svikter samtidig øke, som igjen vil medføre at mange distribusjonsselskap må reagere.

Siden levetiden til en komponent kun er estimert har ulike selskaper forskjellige oppfatninger av komponentens levetid. Dette vil igjen føre til at det blir installert ekstra sensorer på kritiske deler i kraftnettet, mens andre litt mindre viktige deler ikke blir gjort noe med. [18]

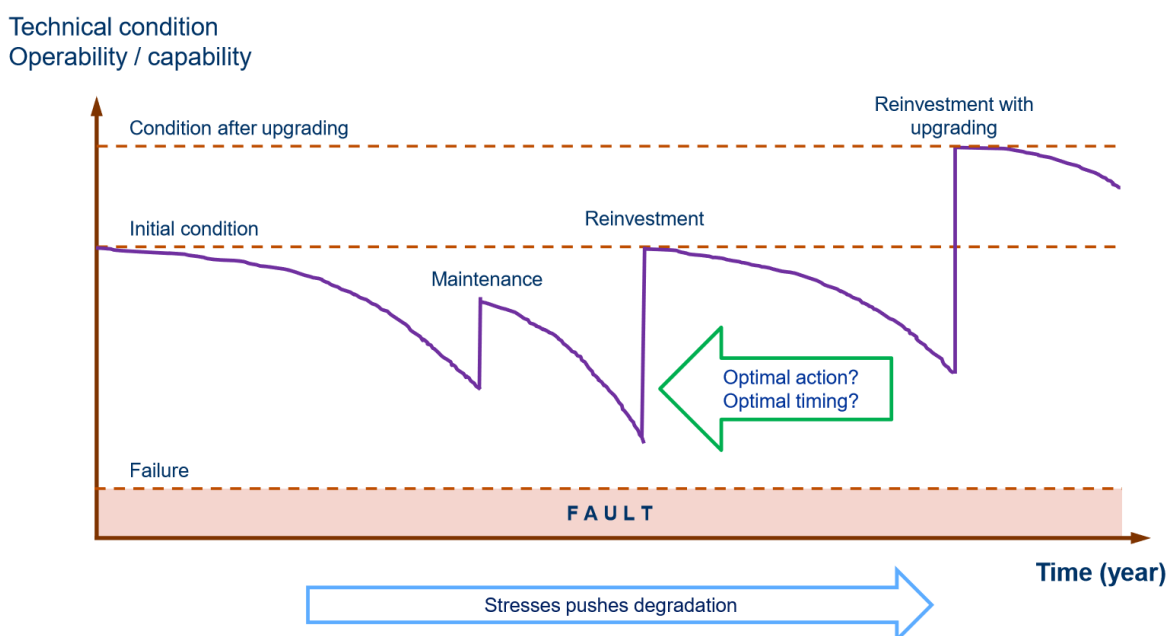
Feilaktig håndtering av asset management vil kunne resultere i ytterlige avbrudd, som vil ha betydelig kostnad. Dette er spesielt knyttet til KILE-ordningen som ble satt i drift i 2001 i Norge. KILE (Kvalitetsjusterte inntektsrammer ved ikke levert energi) omfatter kortvarige (<3 min) og langvarige avbrudd (> 3 min). Kostnaden som nettselskapene påføres varierer ut ifra om avbruddene er varslet eller ikke varslet. De totale KILE-beløpene i Norge er rundt 800 millioner kroner per år. [19]

2.2 Beslutningstaking for vedlikehold og reinvestering

For å forsøke å få en optimal beslutningstaking er det nødvendig å definere mål og satsingsområde, samt utvikle strategier og prosedyrer for å nå disse målene. Slike strategier og prosedyrer vil bli presentert i dette delkapittelet.

2.2.1 Mål med beslutningstaking

Formålet med beslutningstaking for vedlikehold og reinvestering er å kunne levere en tilgjengelighet som bidrar til å maksimere overskuddet for selskapet, samt minimere totale vedlikehold- og reinvesteringstkostnader. Samtidig skal myndighetspålegg og HMS-krav overholdes. [14] Et eksempel på hvordan en komponent sin livssyklus kan være med vedlikehold og reinvestering er vist i Figur 2.2.



Figur 2.2: Eksempel på en komponents livssyklus [20].

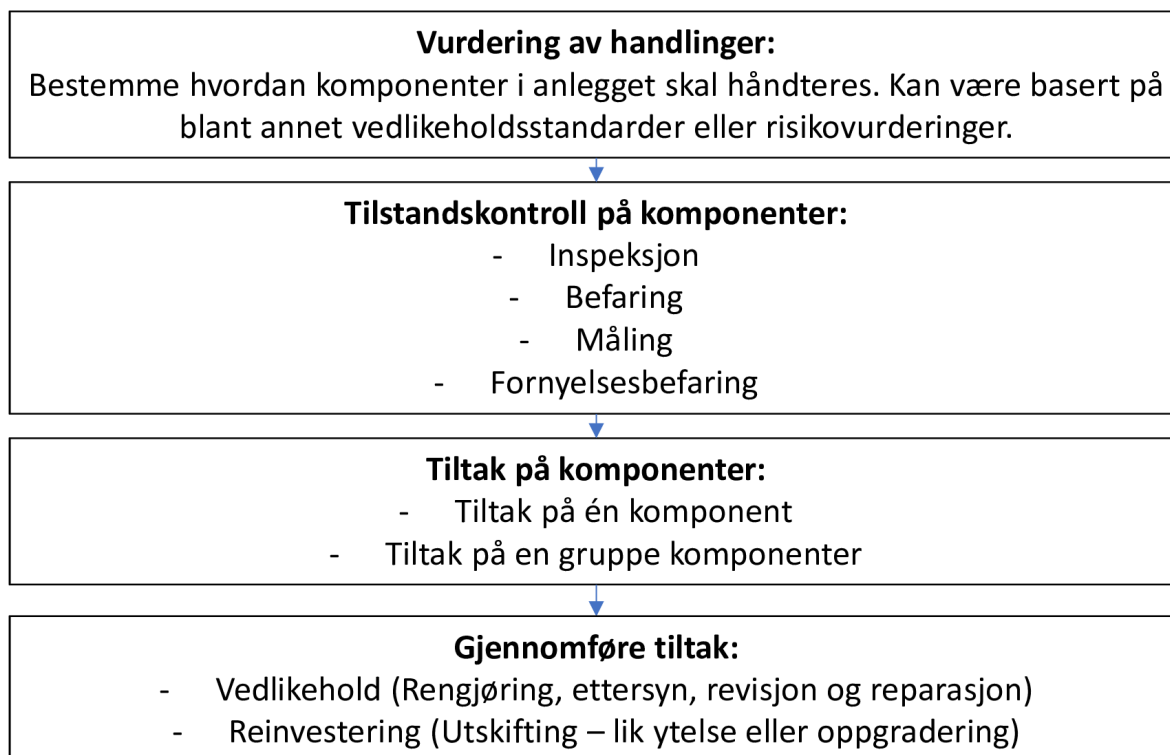
Det er ønskelig å ta beslutninger når det er økonomisk optimalt. Dette gjøres ideelt ved at en anleggsdel skiftes ut eller vedlikeholdes like før en anleggsdel svikter. Det er viktig at det er nok ressurser tilgjengelig for å iverksette disse beslutningene. Dermed vil det å kunne prioritere handlinger for å forsøke å oppnå optimal beslutningstaking være en viktig del av selskapenes oppgaver. Ulike selskaper har ulike mål basert på hvor mye ressurser de har tilgjengelig både i form av arbeidskraft og økonomi. Derfor er det for mange et hovedmål å tyne kraftnettet så lenge som mulig.

I utført spørreundersøkelse (Kapittel 8) svarer kontaktpersoner fra nettselskap at personsikkerhet og HMS er viktige mål. Videre prioriteres tiltak på bakgrunn av et helhetsinntrykk basert på ulike faktorer som andre kosekvenskriterier. I dag kan en god vedlikehold- og reinvesteringstrategi kombinere risiko- og tilstandsbaserte vurderinger. Det er flere verktøy som brukes som

underlag for beslutning, men det er ofte er vanskelig å skaffe tilstrekkelig mengde relevante data. Samtidig brukes vurdering og erfaring fra eksperter innad i selskapet.

2.2.2 Strategier

Når det gjelder strategi for vedlikehold og reinvestering vises det til RENblad 8015 - Vedlikeholdsstrategi [21]. Figur 2.3 viser en fornuftig strategi som beslutningsgrunnlag for gjennomføring av vedlikehold og reinvestering, og er basert på anbefalinger for vedlikeholdsstrategi fra dette RENbladet.



Figur 2.3: Strategi for beslutninger for gjennomføring av vedlikehold og reinvestering basert på RENblad 8015 [21].

Ulike vedlikeholdsstandarder for ulike komponenter gir anbefaling for hyppigheten og omfang av preventivt vedlikehold. Risikovurderinger kan også benyttes slik at ressursene blir brukt mest fornuftig, som for eksempel i områder med større risiko enn andre. Aldrende transformatorer eller stolper i anleggsområdet, kan for eksempel få ekstra fokus.

Det bør altså etableres standardiserte vedlikeholdsstrategier som beskriver hvordan ulike vedlikeholdstiltak må gjennomføres og når fornyelsesvurderinger skal gjennomføres. Dette baseres ofte på å indentifisere komponenter som kan få samme vedlikehold. For reinvestering handler det om å analysere de rette anleggene. Dette involverer å definere risikobaserte triggekriterier for når anlegg skal vurderes for utskifting, lage standard mal og prosedyrer for hvordan fornyelsesvurdering skal gjennomføres og ta hensyn til risiko, kostnader og lignende forhold. I en slik vurdering skal det sees på alternativer til tiltak for det gitte anlegget. Slike alternativer kan

være knyttet opp mot å drive anlegget videre uten spesielle tiltak eller å skifte ut en eller flere komponenter. [22]

Det varierer ofte i hvilke områder skader bør letes nøyere etter. Områder med store drifts- og miljøpåkjenninger er ofte viktige. Dette innebærer områder med kraftige vindforhold, råteutsatte områder, spesielt forurensende og korrosivt miljø i tillegg til områder med høy og vekslende strømbelastning. Det er mulig å dele nettet inn i ulike klimasoner inndelt i for eksempel kystklima og innlandsklima. For å undersøke tilstanden i ulike klimasoner, kan det være interessant å foreta stikkprøver i et avgrenset område. I andre kritiske områder vil det være nødvendig å sjekke for eksempel alle høyspentmaster. [23]

Videre blir det utført tilstandskontroller på ulike komponenter, hvor befaringer er en sentral del og vil bli sett på i delkapittel 2.2.3. Ut ifra tilstandskontrollen iverksettes det tiltak for enten én enkel komponent eller en hel gruppe komponenter. Tiltakene er da enten vedlikehold eller reinvestering.

2.2.3 Tilstandskontroller og befaringer

For tilstandskontroller er det snakk om inspeksjon, befaringer og diverse målinger. For å få et godt overblikk over anlegget før det iverksettes tiltak er inspeksjoner og befaringer sentralt. Dagens praksis omfatter ofte linjeinspeksjoner til fots og manuelle inspeksjoner av komponenter som er tid- og ressurskrevende for nettselskapene. Alternativet er å fotografere komponentene fra et helikopter for så å analysere resultatene i etterkant. REN anbefaler at det skal foregå en årlig inspeksjon, bakkefaring hvert 5. år samt toppbefaring hvert 10. år for nøyere inspeksjoner [24]. Selv om inspeksjoner er tid- og ressurskrevende gir det et viktig grunnlag for beslutningstaking. I utført spørreundersøkelse sier flere nettselskap at de bruker digitale løsninger i felt for befaringer som er tidsbesparende.

Det jobbes i dag med automatiserte metoder som kan gjøre oppgavene lettere. Fotografiene som blir tatt fra helikopteret kan bli analysert automatisk ved hjelp av maskinlæring, som legger til rette for mer objektive vurderinger. Per dags dato er ikke denne teknologien moden nok for kommersiell bruk. Droneteknologien har også vært igjennom en stor utvikling de siste årene. Med droner får selskapene mulighet til å fly oftere og nærmere kraftlinjen, og fotografier kan bli tatt fra flere ulike vinkler. Morgendagens droner vil ved hjelp av sanntidsanalyser kunne oppdage avvik på stolper, linjestrekk og andre elementer og åpne for mer effektiv nettdrift [25]. Den forventede utviklingen av automatiske tilstandskontroller gjør altså at kontrollene blir mer effektive og nøyaktige. Automatiske kontroller vil også forbedre kvaliteten på analysen ved å etablere kortere intervaller for kontrollene [26]. Det tenkes at manuelle inspeksjoner ikke nødvendigvis vil utgå, men at automatiske metoder vil kunne effektivisere tilstandskontrollene og gi mer nøyaktig resultat.

Kapittel 3

Dashboard for asset management

For å kunne få et bedre beslutningsgrunnlag for vedlikehold og reinvestering vil det være sentralt å samle all informasjon i et dashboard. Målet og teorien bak et dashboard for beslutningstaking vil bli presentert i dette kapitlet. Det er flere involverte i et selskap som vil ha ulik nytte av et slikt dashboard. Videre vil det også bli sett på i hvor stor grad automatiske analyser kan bli utført.

3.1 Visualisering i et dashboard

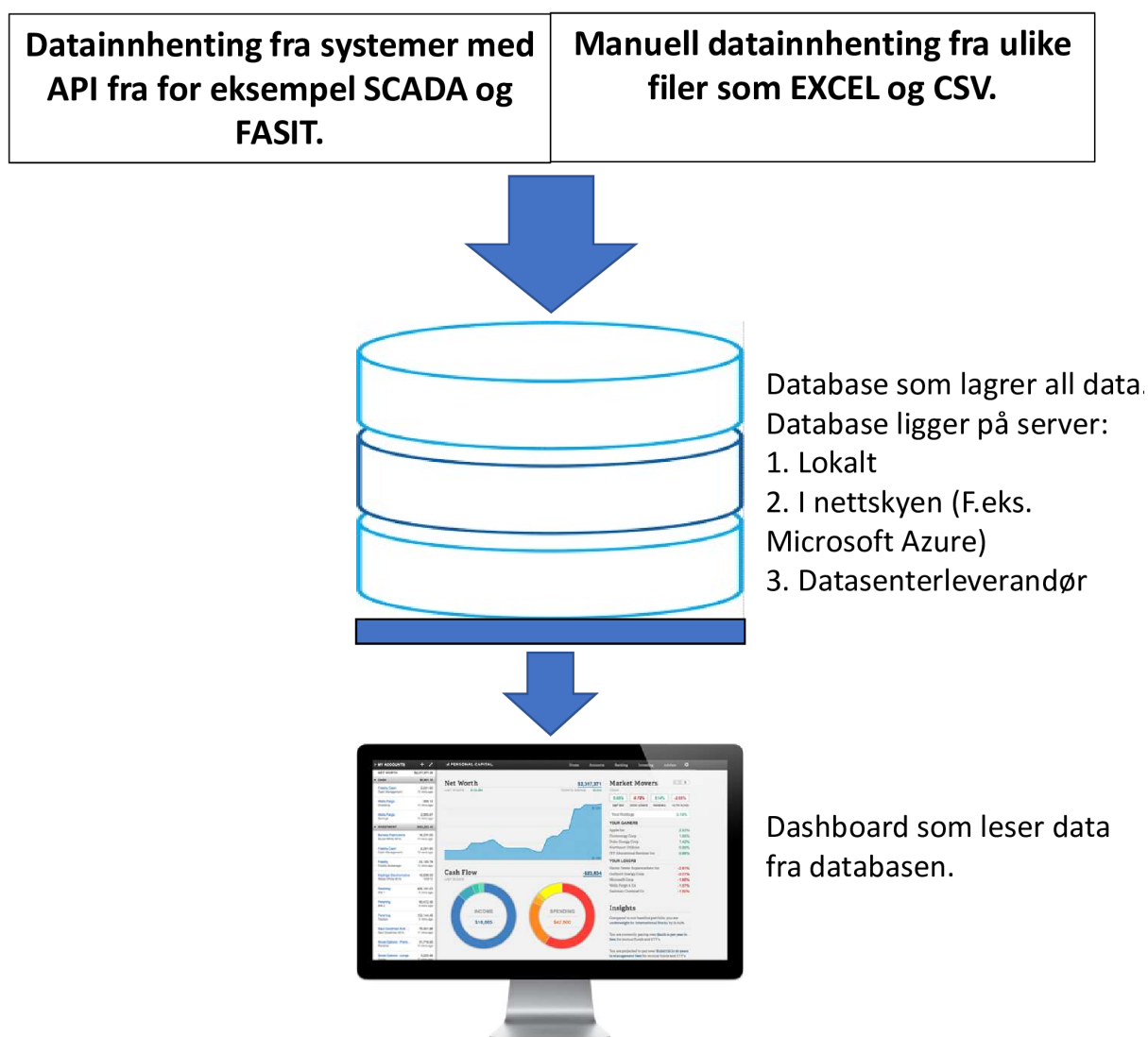
Når det er snakk om å samle all data i en plattform, snakkes det ofte om å visualisere disse dataene i et dashboard. Det er i dag svært mange dashboard som bidrar til ulike formål for visualisering. Så lenge datagrunnlaget er der, står de fleste driftspersonell fritt til å utvikle dashboard som kan gjøre oppgavene enklere. Det er mange former for visualisering som kan benyttes. Eksempler er geografiske data, tabeller, grafer og infobokser.

Med dashboard menes det ikke et vindu, men gjerne flere. For å få mer informasjon om ulike komponenter kan en bruker bla seg frem og tilbake til ulike vindu. Det er viktig at et dashboard er oversiktlig og brukervennlig. For mye informasjon kan bidra til å forvirre brukeren. Ulike analyser blir sammenstilt fra ulike system, og selve visualiseringen blir gjort i et dashboard. Det er også mulig å gjøre analyser i samme verktøy hvor visualiseringen gjøres.

I denne oppgaven deles sidene i et dashboard inn i tre hovedtyper. Dette er *oversiktsside*, *hjelpeside* og *tilleggsside*. Et dashboard vil i praksis være dynamisk, oppbygd av flere vindu og prosessen vil være interaktiv. I denne oppgaven er det delt inn i de tre hovedtypene for å vise hvilken informasjon som er mest viktig, og hvilken informasjon som støtter opp om denne informasjonen. Oversiktssider er sider som vil bidra til å gi i en oversikt over anlegget og en idé om tiltak som må gjennomføres. Hjelpeside er sider som bidrar til støtte for disse idéene. Her ligger informasjon knyttet til de enkelte komponentene. Tilleggssiden vil ikke nødvendigvis fungere som støtte for tiltak, men er interessant for kvaliteten til data i dashboardet.

3.2 Konseptet bak et dashboard

Med datastrukturering menes det innhenting, prosessering og visualisering av data. Hele konseptet som vil ende opp i et dashboard er vist i Figur 3.1. Enkelt forklart er det ønskelig å lagre data i en database som enten er plassert eksternt i en sky, hos en datasenterleverandør eller på en lokal server. For å få tilgang til ønsket dataprogram, så er API (Application Programming Interfaces) en løsning. API er et grensesnitt for overføring av data mellom ulike parter. Det er slik at en driftssentral (SCADA-system) har en egen API, som fungerer som en slags nøkkel som overfører data mellom to ulike parter. En annen sensor, som ikke er en del av SCADA-systemet, kan være koblet til et eget program med egen API. API samler nåtidens data, og inneholder ikke historikk. Alle disse ulike APIene kan bli lagret i en database, som er tilknyttet et dashboard som vil kunne visualisere ønsket informasjon.



Figur 3.1: Skisse av konseptet bak et dashboard. De to små figurene er hentet fra Ref. [27, 28].

De to største nøkkelordene er **datakvalitet og datatilgjengelighet**. Med datatilgjengelighet menes det først og fremst digitaliserte data. Det må være mulighet for å implementere data fra flere ulike system. For å i det hele tatt kunne utnytte denne dataen, må datakvaliteten være god. Det vil alltid være usikkerheter knyttet til registrerte data. Slik usikkerhet skal ikke undervurderes og bør være en viktig faktor i utarbeiding av et dashboard.

Det varierer fra selskap til selskap, men datakvaliteten kan variere og det kan være utfordrende å gjøre dataene mer solid. En av grunnene til dette kan være at selskapene ofte deler ansvaret for en komponent på flere avdelinger med eget IKT-system. De separate IKT-systemene (ofte betegnet som ulike siloer) må bli integrerte for å få en samlet plattform. Denne dataen må også struktureres for bruk i ulike modeller. [29]

Mer data betyr ikke nødvendigvis bedre informasjon. En studie utført i Ref. [29] viser at 70 % av all data ikke er i bruk i ulike kraftselskaper, og studien foreslår også at dårlig data er verre enn ingen data. Flere spørsmål dukker opp når datainnsamling for tilstandsmåling blir linket opp med stordata. Selskapene er nødt til å finne ut blant annet [29]:

- Hvor på komponenten skal det overvåkes?
- Hvor ofte skal data samles inn?
- Hvor raskt skal data bli overført?
- Hvordan skal problemet med dårlig data løses?

Dette stiller et enormt krav til datasikkerhet. Digitaliseringen har på mange måter gjort energisektoren mer sårbar. Selv om it-leverandører har et stort fokus på sikkerhet, har mer informasjon og bruk av internett gjort industrien mer sårbar i henhold til hacking [30].

3.3 Oppbyggingen av et dashboard

Et dashboard for neste generasjons asset management må inkludere data tilknyttet vedlikehold og reinvesteringer. Dette dashboardet skal ikke være støtte for driften av kraftsystemet og systemet skal ikke varsle brukere med for eksempel sms om en feil har oppstått. Dette skal foregå på en driftssentral. Dashboardet skal ikke bare være et vanlig dashboard hvor brukerne kan lese informasjon. Det er også viktig at dashboardet gir mulighet til kommentarer fra felt og ikke minst gjøre det oversiktlig for flere brukere å legge inn informasjon.

Det er flere måter å bygge opp et dashboard, og i denne oppgaven er det valgt å dele oppbyggingen inn i fem ulike nivåer:

- Nivå 1: Sammenstilling av data for analyse fra ulike system/verktøy som for eksempel SCADA og Netbas. Resultatene blir videre manuelt behandlet i Word eller Excel, og beslutning blir tatt basert på manuell analyse ved innhenting av data fra disse verktøyene. Dette er den mest tidkrevende prosessen, og dataene blir ikke automatisk koblet til et dashboard.
- Nivå 2: Data blir analysert og sammenstilt for til slutt å bli visualisert automatisk i et dashboard. Brukeren får opp ulik informasjon som kan brukes til beslutningstaking (analyse – sammenstilling - beslutning).
- Nivå 3: Analyse av data som blir sammenstilt og forslag til beslutning blir gjort i analysen og visualisert automatisk i et dashboard (analyse - sammenstilling - anbefaling - beslutning).
- Nivå 4: Som Nivå 3 bare at verktøyet vil sende ut arbeidsordre basert på analysen, men denne arbeidsordrer kan/må bli godkjent.
- Nivå 5: Data samles inn og det blir automatisk sendt ut arbeidsordre dersom visse kriterier i analysen inntreffer. Et dashboard vil ikke være nødvendig i dette nivået.

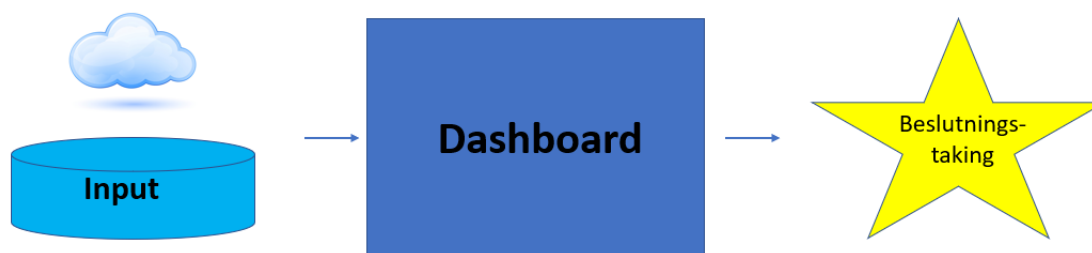
Et tenkt dashboard vil rette seg et sted mellom nivå 2 og nivå 3. Altså, det vil være interessant å få opp en prioriteringsliste over tiltak som kan eller bør gjøres. Hvordan en slik prioriteringsliste blir, avhenger av brukeren sine preferanser. En prioriteringsliste kan bli laget basert på faktorene risiko, feil og avbrudd og tilstand. Det er viktig å være obs på at dokumentasjonen må være på plass, og dette vil være vanskeligere med et helt automatisk system.

Dersom dashboardet skal være basert på mer automatiske analyser, er det viktig å finne ut hvilken beslutning som skal bli forsøkt optimalisert før et slikt dashboard lages. Beslutninger kan for eksempel bli forsøkt optimalisert basert på selskapenes mål. Mange ulike analyser kan bli utført med et dashboard på toppen. Det kan for eksempel være at et selskap har avsatt begrensede midler å bruke hvert år og må fokusere på hvilke tiltak som blir gjennomført.

Før dashboardet lages bør det finnes ut hva hovedmålet med dashboardet er og hvilke data som kan sorteres ut. Eksempelvis er det naturlig å fokusere på komponenter med høyest risiko eller lavest tilstandskarakterer.

3.4 Formål for visualisering

For å kunne ta riktige beslutninger, er det viktig å benytte informasjon som kan støtte beslutningene som blir tatt. Det er mye data som kan benyttes, men ikke alle data vil være aktuell. Figur 3.2 viser konseptet som er tenkt i denne oppgaven.



Figur 3.2: Et dashboard innhenter ulike data som visualiseres for bedre beslutningstaking.

Formålet med visualisering er å gi støtte til strategien og prosedyrene beskrevet i delkapittel 2.2.2. For å nå dette målet, bør et dashboard bestå av flere deler som til sammen gir et godt grunnlag. De ulike delene er delt inn i:

- Oversiktsside: Vise oversikt over komponentene i kraftnettet og hvordan disse henger sammen. Dette er en oversikt som gjerne kan knyttes til et kart.
- Oversiktsside: Vise en oversikt som involverer ulike påkjenninger, som kan være både drifts- og miljøpåkjenninger. Knyttes til spørsmålet: I hvilke områder er der store eksterne påkjenninger og i hvilke områder er der høye belastninger?
- Oversiktsside: Virksomhetsstatus med tanke på blant annet mål, budsjetter, personsikkerhet og KPIer.
- Oversiktsside: Hvilke komponenter er ekstra utsatt for feil/svikt. Dette gjelder gitte betingelser og feil- og avbruddsstatistikk. Anbefale tiltak som bør iverksettes og prioritere ulike komponenter.
- Oversiktsside: Planlagte tiltak som skal utføres. Tiltakene er både rettet mot vedlikehold og reinvestering.
- Hjelpeside: Vise ulike informasjon knyttet til de enkelte komponentene. Historisk utvikling er et nøkkelord i denne sammenheng.
- Hjelpeside: Dersom det viser seg at noen komponenter bør skiftes ut, hva er da alternativene? Tiltak kan gjennomføres på ulike måter og til ulike tidspunkt.
- Hjelpeside: Dersom alle beslutninger ikke blir gjennomført, vil ulike alarmer/notifikasjoner være nødvendig.
- Tilleggsside: Visualisere usikkerheten i datagrunnlaget.

3.5 Informasjonsgrunnlag for komponenter i anlegget

I prosjektoppgaven ble det sett på ulik informasjon som ble ansett som nyttige og, i noen tilfeller, helt nødvendige for riktig beslutningstaking. En litteraturstudie ble gjennomført for å undersøke eksisterende løsninger for dashboard for asset management hos ulike selskaper som IBM, GE, Powel og NEC. En av de viktigste funnene fra litteraturstudien var muligheten for å knytte komponenter opp mot et kart, samt at tilstand og risiko er sentrale deler i en visualisering. Dashboardløsninger fra ABB og NEC er vist i Vedlegg A. Det er mange faktorer som bidrar til et godt informasjonsgrunnlag for hver komponent. Disse faktorene er som følger:

- Tilstandskarakter
- Risikomatrise
- Informasjon om komponenten
- Utført vedlikehold
- Feil- og avbruddsstatistikk
- Planlagt tiltak/arbeid
- Økonomisk analyse knyttet til ulike alternativ
- Rapportering fra felt og tidligere avvik

For å kunne ta gode beslutninger er det ofte helt avgjørende å ta grundige vurderinger av de enkelte komponentene. Slike vurderinger kan ofte involvere tilstandskarakterer og risiko, som er presentert tidligere i rapporten. Dersom det er ønskelig å se på de mest kritiske komponentene, kan de komponentene med lave tilstandskarakterer eller risiko sorteres ut i en hovedside. For en komponent er det også interessant å se når det ble utført vedlikehold, planlagte tiltak og rapporter fra felt med tilhørende registrerte avvik. Økonomisk analyse, feil- og avbruddsstatistikk og informasjon om komponenter vil bli presentert noe grundigere i dette delkapittelet.

3.5.1 Informasjon om komponenter

Informasjon om de ulike komponentene er avgjørende for beslutningstaking. Dette er informasjon som bør omhandle alder, type komponent og estimert levetid. Dersom en komponent består av flere delkomponenter, kan disse også listes opp.

3.5.2 Feil og avbrudd

Nettselskap er ifølge forskrift om leveringskvalitet pliktige til å registrere data om kortvarige og langvarige avbrudd i eget nett. Nettselskap skal benytte programvare som følger gjeldende kravspesifikasjoner for FASIT, samtidig som at nettselskapet skal oppbevare registrerte data og underlagsmaterialet for innrapporterte data i ti år. FASIT er et standardisert registrerings- og rapporteringssystem for feil og avbrudd i kraftsystemet. [4] Avbrudd knyttes blant annet til ikke levert energi (ILE) med både kortvarige- og langvarige avbrudd. Dersom det er avbrudd vil

selskapene også få en KILE-kostnad. For feil blir det ofte sett på forbigående og varige antall feil for ulike komponenter.

3.5.3 Resultat fra en økonomisk analyse

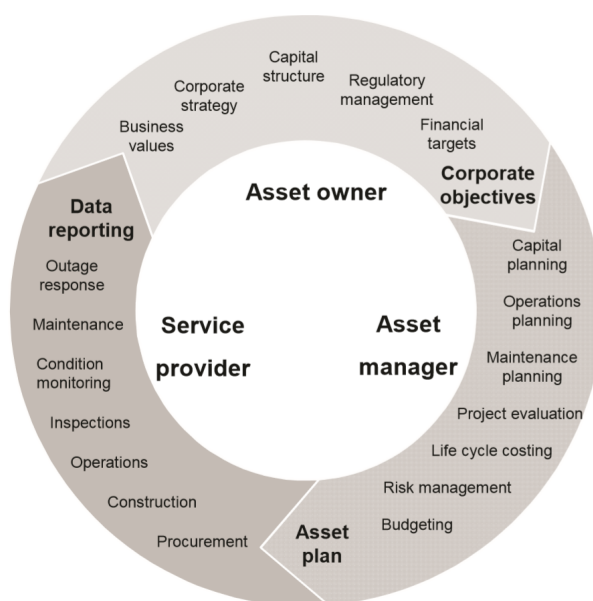
Økonomisk analyse er en analyse som gjøres for å sammenligne ulike tiltak og konsekvensene av dem. En analyse kan gjøres når det skal velges mellom flere alternativer. Disse alternativene kan omhandle reinvestering og vedlikehold. Analysen kan inneholde kostnader som: kostnad av vedlikehold og reinvestering (planlagte handlinger), KILE-kostnader tilknyttet planlagt handling, KILE-kostnader tilknyttet feil/svikt, kostnad av effekttap og kostnad av reparasjon grunnet feil [10].

3.6 Brukere og informasjon

Det er flere involverte i et selskap som vil dra nytte av et slikt dashboard. De tre hovedinvolverte tilknyttet asset management er:

- Eier
- Beslutningstakere / planleggere
- Driftspersonell / montører

Figur 3.3 viser de tre ulike funksjonene til de hovedinvolverte. Eieren (asset owner) setter mål for å forbedre verdien til selskapet. En driftskoordinator (asset manager) setter opp detaljert planlegging som oftest utføres av en operatør (service provider).



Figur 3.3: De ulike nivåene for asset management [2].

De ulike involverte vil ha ulike funksjoner de ser etter i et slikt dashboard. En hovedside bør inneholde informasjon som er viktig for alle, men videre i dashboardet bør alle de involverte føle at de har nok informasjon til å utføre sitt arbeid på en tilstrekkelig måte.

For driftspersonell bør dashboardet være fleksibelt slik at det er mulig å komme med kommentarer fra felt. De har nytte av det som går på tiltak som skal gjøres og er ikke så avhengig av planleggingsfasen som planleggere vil være. En god vedlikeholdsstrategi er viktig for driftspersonell. De følger ulike standarder og retningslinjer, og er avhengig av gode prosedyrer og oversikt over når ulike tilstandskontroller skal gjøres. Det kan også innebære å ha planer for når små rutinemessige vedlikehold gjennomføres på de ulike komponentene.

For planleggere er økonomien en viktig parameter og knyttes til oversikt over kostnaden for de ulike tiltakene, samt kontroll over budsjettet. For tiltak som kan iverksettes, er det viktig å ha et godt datagrunnlag tilknyttet komponentene i anlegget. Det må være mulig å kunne prioritere komponentene basert på for eksempel tilstand, risiko og områder som er svært utsatt med tanke på miljømessige forhold. Når det er sortert ut de komponentene som det skal sees nærmere på, er det interessant å se på tiltak som må gjøres og kostnaden knyttet til tiltakene.

Andre faktorer som er viktige for beslutninger bør også sees på i en slik oversikt. For HMS er det viktig å registrere ulike HMS-avvik og fremtidige utfordringer. For eiere vil en slik oversikt være viktig og fungere som en kvalitetssjekk og oversikt over driften. I tillegg gir en hovedside en oversikt over statusen i nettet, som er nyttig for eiere for å sjekke om det er mulig å nå målene som er satt.

Videre vil det for de fleste parter være interessant å se hvilke tiltak som er utført og hvilke som er planlagt. For å forsøke å optimalisere budsjettene er det ønskelig å få opp oversikt over hvor mye penger som er brukt, og som forventes å brukes det neste året. Det kan på denne måten undersøkes om noen tiltak kan ventes med. Et forslag til hvilken informasjon som er viktig for de involverte er vist i Tabell 3.1. I teorien vil all informasjon være interessant for alle involverte, men i tabellen er det plukket ut de viktigste informasjonene.

Tabell 3.1: Informasjon som kan samles i et dashboard

Type side	Informasjon	Driftspers.	Planlegger	Eier
Hovedside	Overblikk over nettet	X	X	X
	Høyt belastede områder	X	X	X
	Virksomhetsstatus	X	X	X
	Prioriteringsliste	X	X	X
Hjelpeside	Tilstand for hver komponent	X	X	
	Risiko knyttet til hver komponent	X	X	
	Informasjon om komponent	X	X	
	Utført vedlikehold/reinvestering	X	X	
	Feil- og avbruddsstatistikk	X	X	
	Planlagt tiltak/arbeid	X	X	
	Rapportering fra felt og tidligere avvik	X	X	
Tilleggsinformasjon	Økonomiskanalyse knyttet til ulike alt.		X	X
	Usikkerhet knyttet til data	X	X	X

3.7 Dagens praksis: Fra manuelle til automatiske analyser

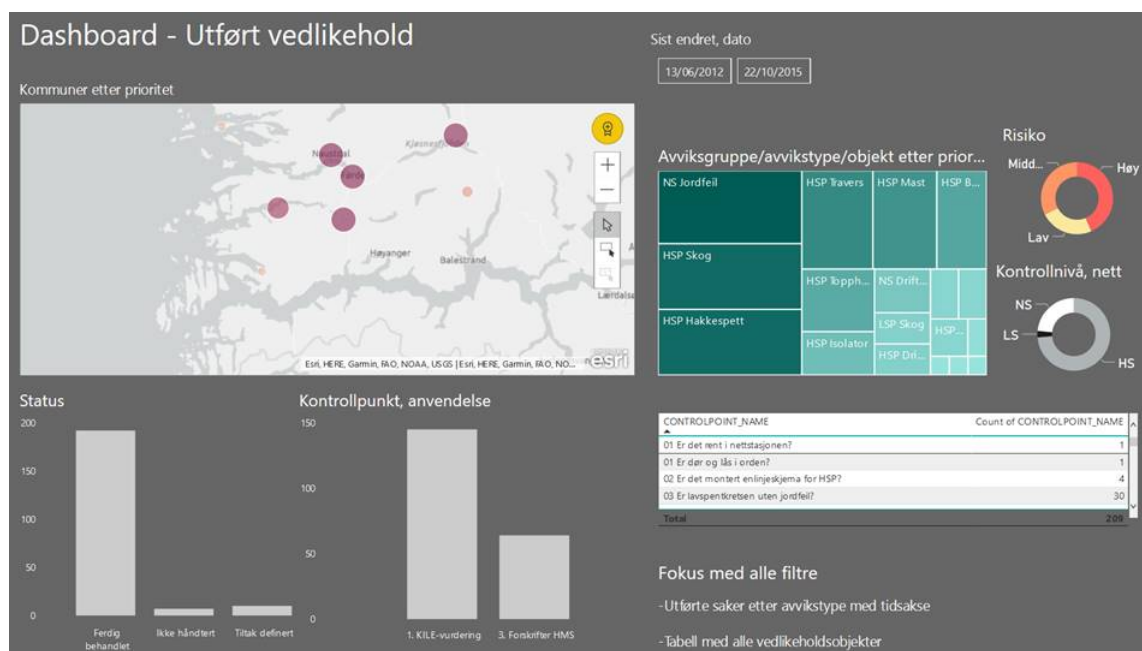
Utvikling av nye analyseprogram og verktøy gir mulighet for flere, mer komplekse og mer nøyaktige analyser. Det ideelle er å kunne ta beslutninger basert på anbefalingen fra ulike analyser visualisert i et dashboard. Det er mange faktorer som spiller inn i slike analyser, og det er ofte stor usikkerhet knyttet til ulike analyser. Da det ikke er fokus på analysene i denne oppgaven, vil dette delkapittelet presentere sammenstilling av data, samt manuelle- og automatiske analyser.

3.7.1 Sammenstilling av data

Data sammenstilles fra ulike system og mange systemer bidrar til verdifull informasjon for beslutningstaking. For reinvestering er det spesielt tre hovedsystemer som benyttes:

- NIS (presenteres i delkapittel 5.1) - Inneholder dokumentasjonen av nettet (eksempel: Netbas).
- FASIT (presentert i delkapittel 3.5.2) - Feil og avbruddssystem
- Vedlikeholdssystemer - Avviksdata (eksempel: Netbas vedlikehold)

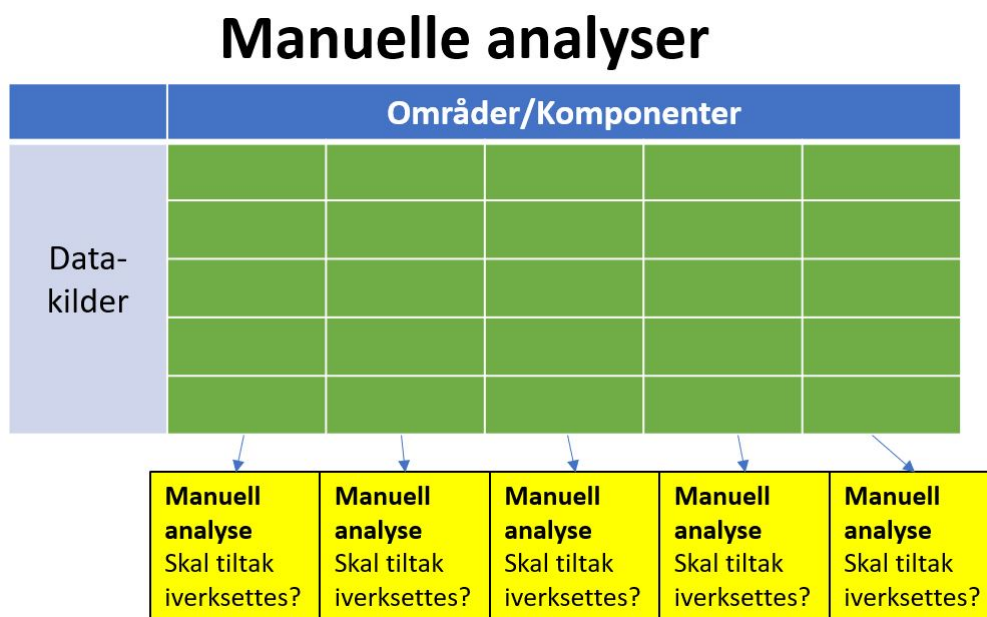
Vedlikeholdssystemene brukes først og fremst for vedlikehold rettet mot håndtering og registrering av avvik. Et slikt system er også sterkt knyttet til driften av anlegget, hvor for eksempel Netbas vedlikehold er en tilleggsfunksjon i Netbas. Et eksempel på visualisering av vedlikeholdsavvik er vist i Figur 3.4. Figuren viser utførte vedlikeholdsoppdrag med risikovurdering for å prioritere fremtidige arbeider. Risikovurderingen er laget i Netbas vedlikehold og visualiseringen er gjort i Power BI med ArcGIS-kart [31].



Figur 3.4: Dashboard som viser utførte vedlikeholdsoppdrag [31].

3.7.2 Manuelle analyser

I dag er det, for de fleste, vanlig praksis at det blir utført manuelle analyser. Data hentes manuelt fra ulike system for så å bli brukt til beregninger eller visualisering i Excel. Data hentes for eksempel fra et område eller et linjestrekk. Det blir så gjort en manuell analyse basert på ulike faktorer og mål. På bakgrunn av dette er det mulig å si om tiltak skal iverksettes eller ikke. Praksis for å bestemme hvilke tiltak som skal iverksettes basert på manuelle analyser er vist i Figur 3.5.

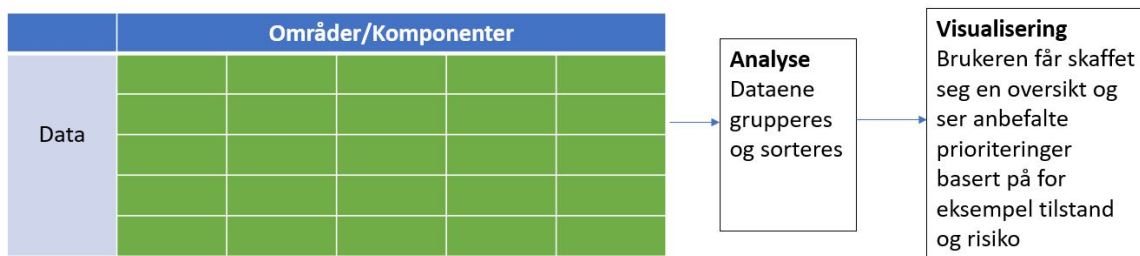


Figur 3.5: Praksis for tiltak basert på manuelle analyser.

3.7.3 Automatiske analyser

Alternativet er å samle alle områder eller komponenter i en automatisk analyse med prioriteringsliste for anbefaling av diverse tiltak i nettet. Denne metoden fører til en mer objektiv analyse og er vist i Figur 3.6.

Automatiske analyser



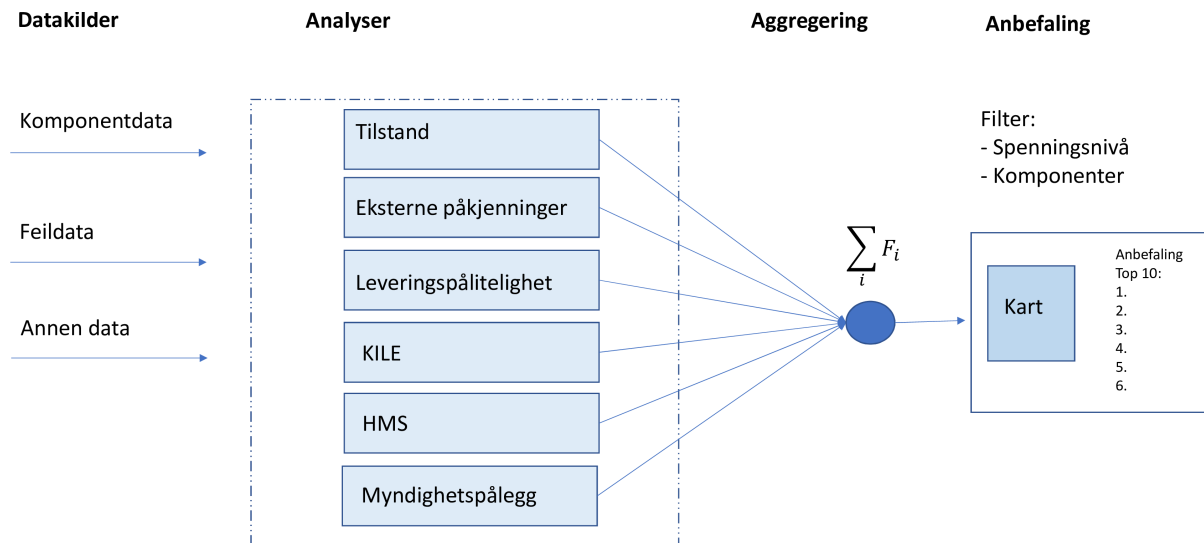
Figur 3.6: En mer automatisk tilnærming til prioritering av tiltak.

3.7.4 Automatisk prioriteringsliste

For en hovedside vil det være viktig å få anbefalinger over områder eller komponenter som må gjøres noe med. Dette kan være handlinger basert på ulike faktorer som tilstand og risikokategorier. Samtidig kan det i fremtiden være muligheter å få mer automatiske system. Teorien bak automatiske system presenteres i dette delkapittelet, men det er ikke sett på konkrete løsninger for dette da det ikke skal utvikles et analyseverktøy.

Prosjekter tilknyttet reinvestering kan brukes i et automatisk system. For rutinemessig vedlikehold er det ofte mer utfordrende, da det ofte er snakk om tiltak som er mindre tid- og ressurskrevende, som ofte følger ulike standarder og er avviksbasert. For tilstandskontroller kan et slikt automatisk system føre til at ekstra befaringer blir utført i områder eller på komponenter som det gjennom analysen anbefales å skiftes ut.

Et eksempel på en automatisk modell er vist i Figur 3.7. Ulike datakilder og informasjon hentes inn og analyseres. De ulike datakildene kobles til hver sin kategori. Ulike kategorier i figuren er tilstand, eksterne påkjenninger, leveringspålitelighet, KILE-kostnad, HMS og myndighetspålegg. De ulike kategoriene vil få ulik vektning basert på hvor stor innvirkning de har for den enkelte komponenten. Derfor blir aggregering brukt til å vekte alle kategoriene, for så å gi en sum for anbefaling. En slik analyse vil være utfordrende, da det er vanskelig å si noe om hvor stor innvirkning de ulike analysekategoriene har.



Figur 3.7: Eksempel på oppsett av en automatisk modell.

De ulike komponentene vil ha ulike faktorer som gir ulik vektning. For linjenett vil de miljømessige forholdene ha mye større innvirkning sammenlignet med en transformator eller nettstasjon bygget under tak. For et linjenett må det finnes ut hvordan alle mastepunktene skal visualiseres. For datalagring og analysens skyld, bør ulike master samles under et linjeobjekt eller en radial. Et linjeobjekt er gjerne en del av en sammenhengende linje med samme alder og samme spenningsnivå.

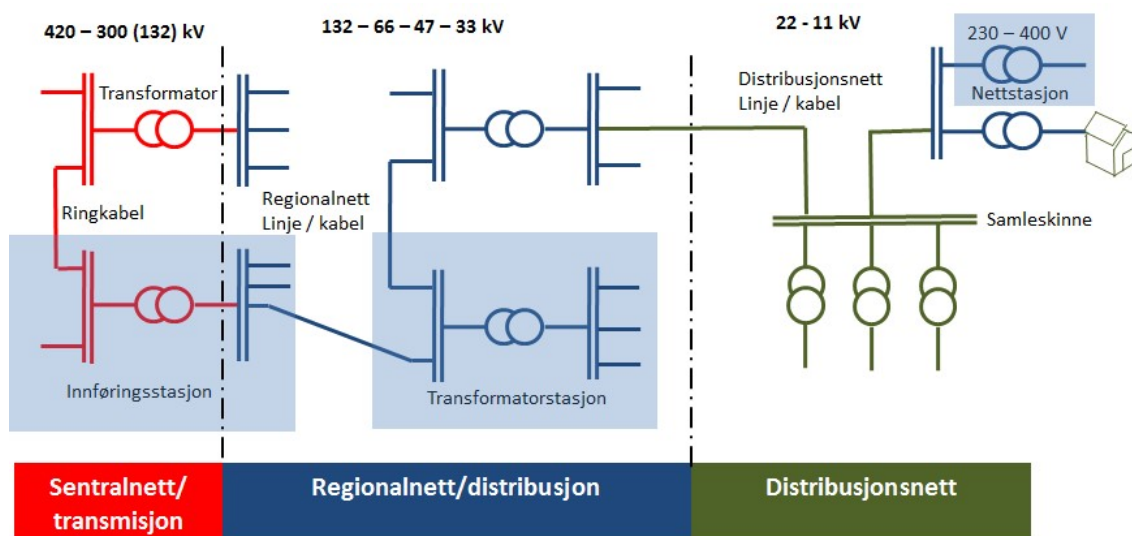
Kapittel 4

Høyspennings distribusjonsnett

Dette kapitlet vil presentere det norske kraftnettet, hvor det høyspennte distribusjonsnettet er sentral for denne oppgaven. Det rettes fokus mot komponenten trestolpe, som er en av komponentene i en høyspentmast. En av de mest vanlige skadetyperne for en trestolpe er råteskade.

4.1 Oppbygging av kraftnettet

Det norske kraftnettet er delt inn i de tre nettnivåene sentralnettet, regionalnettet og distribusjonsnettet. Sentralnettet har det høyeste spenningsnivået med 300 kV og 420 kV, da sentralnettet dekker store avstander og det ønskes lite tap. Regionalnettet fungerer som et bindeledd mellom sentral- og distribusjonsnettet med spenning på hovedsakelig 66 kV og 132 kV. Distribusjonsnettet transporterer strømmen det siste stykket frem til sluttbrukeren. Strømnettets spenningsnivåer er vist i Figur 4.1.



Figur 4.1: Ulike spenningsnivåer i strømnettet [32].

Distribusjonsnettene beskrives som de lokale kraftnettene som sørger for distribusjon av kraft til mindre sluttbrukere. For distribusjonsnettene skilles det mellom høyspent og lavspent distribusjonsnett. Det lavspente distribusjonsnettene inneholder spenninger opp til 1 kV og kan leveres direkte til husstander, mens det høyspente distribusjonsnettene inneholder spenning fra 1 kV til 22 kV. Det høyspente distribusjonsnettene utgjør om lag 100 000 km og vil være fokusområde i denne oppgaven. [33]

For nettselskapene er det store variasjoner i størrelsen. Hver av de åtte største nettselskapene har flere enn 100 000 tilknyttede nettkunder og leverer tilsammen strøm til over 1,6 millioner nettkunder. 103 av selskapene har færre enn 10 000 nettkunder hver. De store selskapene befinner seg i og rundt de store byene, mens flere av de minste nettselskapene er i hovedsak stasjonert vest og nordvest i landet. Totalt forsyner 136 distribusjonsnettselskaper i størrelsesorden 2,8 millioner nettkunder. [32]

4.2 Feilstatistikk

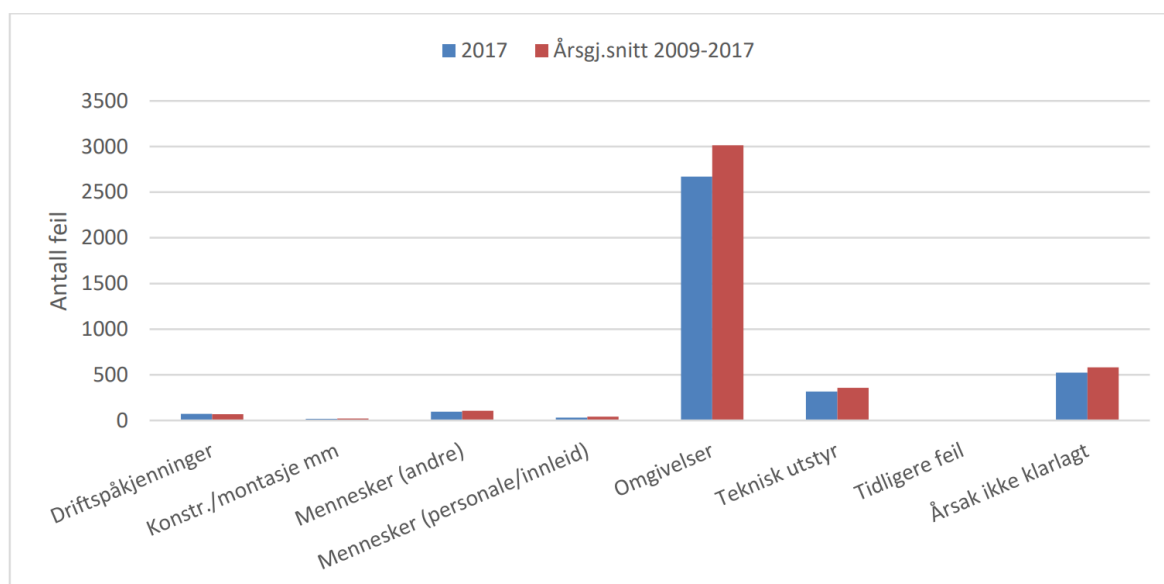
Statnett publiserer hvert år egne årsstatistikker for driftsforstyrrelser, feil og planlagte utkoblinger i det høyspente distribusjonsnettene, regionalnettene og sentralnettene. Med feil menes det en anleggsdels mangel eller nedsatte evne til å utføre krevd funksjon, og det er ofte snakk om feil som utløser eller utvider en driftsforstyrrelse. Det skilles mellom forbigående og varige feil. Med en forbigående feil kreves det korrigerende vedlikehold (reparasjon), mens det ikke er nødvendig med korrigerende vedlikehold for forbigående feil. [34] Tabell 4.1 viser de anleggsdelene som bidrar til varige feil og ikke levert energi (ILE) i det høyspente distribusjonsnettene i 2017.

Tabell 4.1: Fordeling av feil og tilhørende ILE på anleggsdeler [34].

Anleggsdel	Varige feil	ILE pga. feil
Kraftledning	42.0	49.2
Kabel	17.7	20.3
Ikke identifisert	4.6	8.2
Transformator	14.7	6.9
Lastskillebryter	3.5	3.3
Avleder	2.0	2.3
Samleskinne	1.9	1.9
Skillebryter	3.7	1.9
Vern	0.7	1.4
Sum	90.8	95.4

Tabellen viser at det er flest varige feil og ILE på grunn av feil for kraftledninger. Med bakgrunn i at denne anleggsdelen har forholdsvis høy ILE vil det videre i oppgaven fokuseres på kraftledninger i det høyspente distribusjonsnettene. Totalt er det registrert 3735 feil på kraftledninger i 2017, hvor 2074 er forbigående feil, mens 1661 er varige feil. Totalt ble det registrert 9759 feil for alle anleggsdeler. De utløsende årsakene for feil på kraftledning er vist i Figur 4.2.

Figuren viser at omgivelser står for over 71 % av alle feilene. I omgivelser er driftsforstyrrelser på grunn av tordenvær, vegetasjon, vind og fugler/dyr de mest dominerende faktorene. [34]



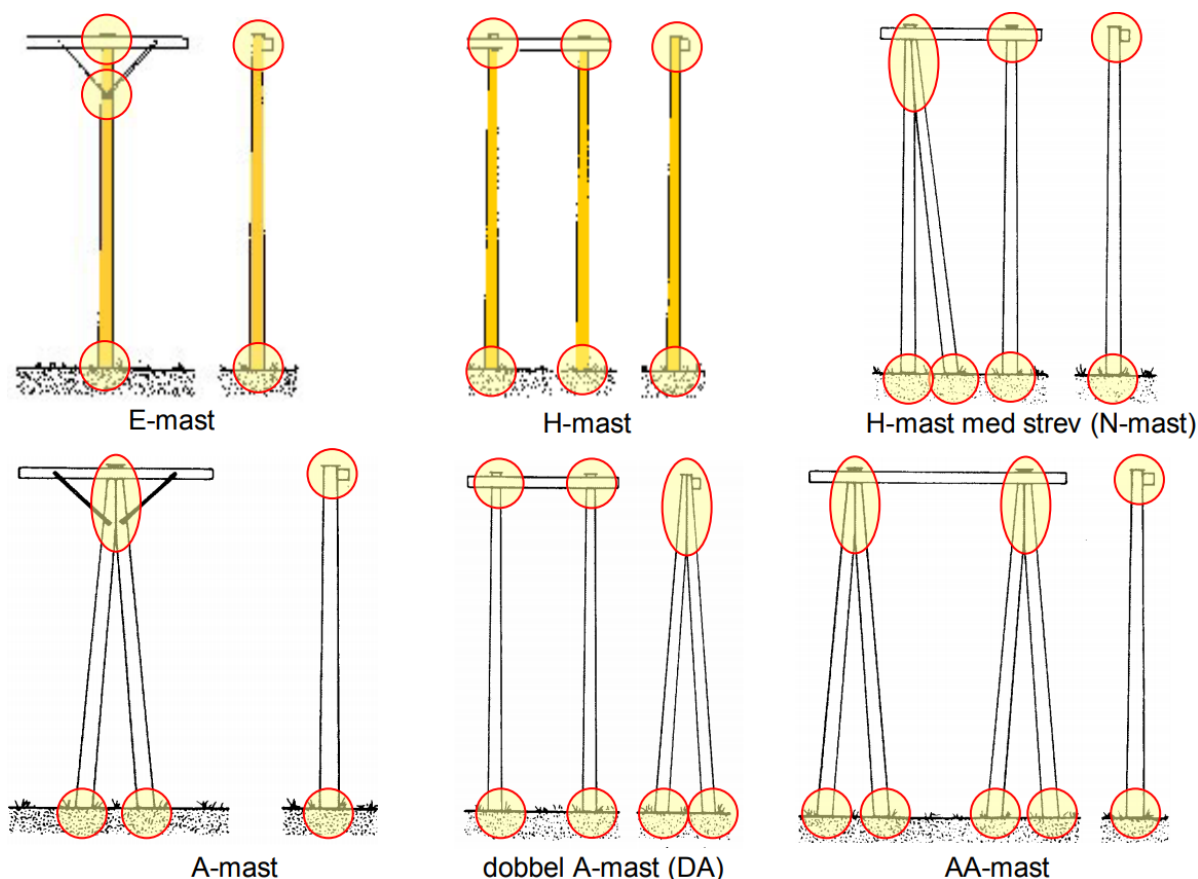
Figur 4.2: Utløsende årsaker for feil på kraftledning i det høyspente distribusjonsnettet i 2017 [34].

4.3 Kraftledning

Hovedfunksjonen til en kraftledning er å overføre driftsstrøm og dimensjonerende kortslutningsstrømmer ved å unngå overoppheting og for høye tap. Videre skal kraftledningen holde driftsspenning og dimensjonerende spenninger uten kortslutninger og overslag til jord. [35] En kraftledning består av svært mange ulike komponenter og er delt opp i følgende delsystem:

- Strømførende system
- Lineoppheng
- Stolper (trestolpe, betongstolpe, stålstolpe)
- Fundamentering og forankring
- Jordings- og overspenningsavledningssystem
- Tilleggsutstyr

I denne oppgaven er det fokus på stolper. Forskjellen på stolper og master, er at en stolpe er en av flere komponenter som tilsammen utgjør en mast. Hovedoppgaven til en mast er å bære faselinene, samtidig som at linene blir holdt i en posisjon over bakken som oppfyller kravene i forskrifter om minsteavstander. [35] Oppbygging av en mast er vist i Figur 4.3 og viser et mastepunkt. Et mastepunkt består av mange komponenter, som blant annet stolpe, fundament, bardun, travers, line (lineseksjon, skjøt og klemme), oppheng og isolator.



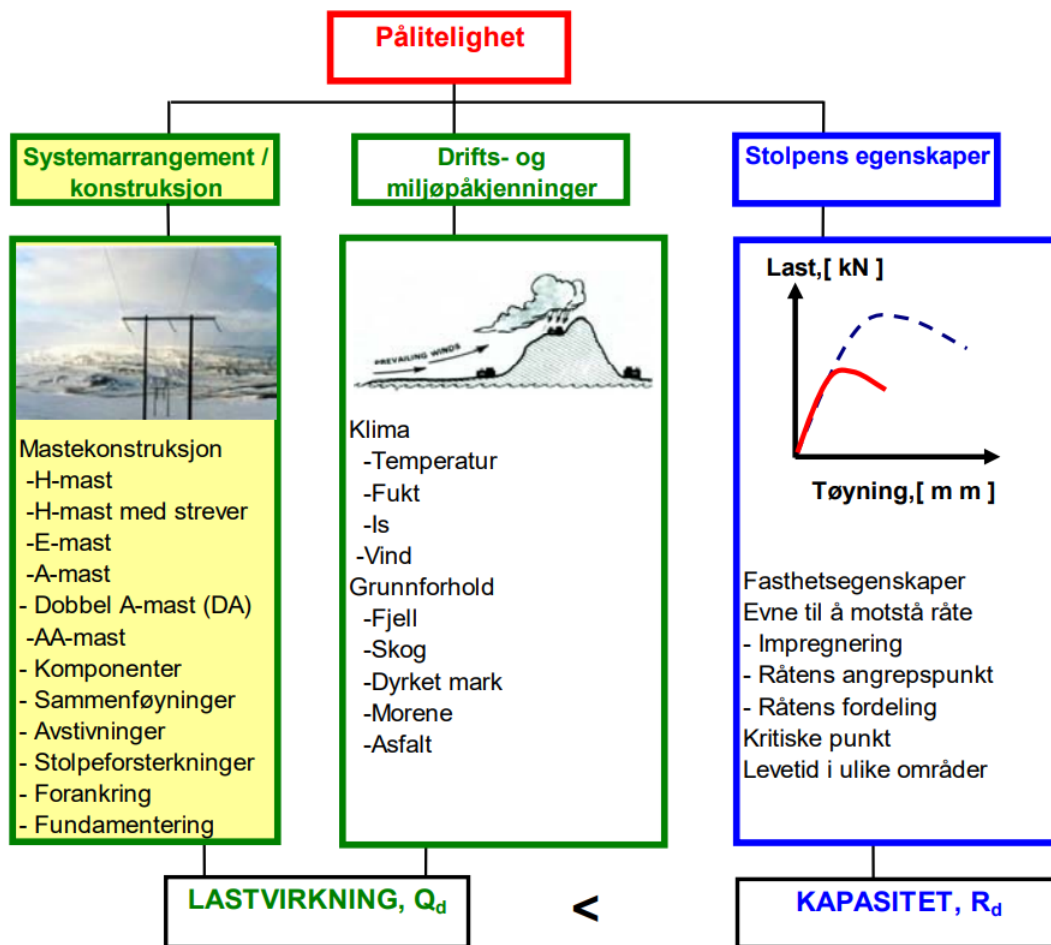
Figur 4.4: Forskjellige konstruksjonsløsninger for tremaster, samt potensielle angrepspunkter for råte [35].

4.4 Råteskader

Ulike skadetyper knyttes til de ulike komponentene. For et mastepunkt er det ofte snakk om hakkespettskader, råte, mekanisk skade, korrosjon, brann og partielle utladninger [35]. Det følgende delkapittelet vil omhandle råteskader.

Råte er nedbryting av organisk materiale på grunn av soppangrep. Råte forårsaker særlig stor skade i trær eller konstruksjoner av trær. [36] Mulige konsekvenser av råte er redusert evne til å motstå ytre påkjenninger grunnet mekanisk svekkelse, brudd eller mastehavari eller at stolpen gir etter slik at forskriftsmessige avstander ikke overholdes [35].

Figur 4.5 viser hvordan ulike innvirkninger fra drifts- og miljøpåkjenninger på mastekonstruksjonen kan endre stolpens styrkeegenskaper ved ulike skader. Redusert kapasitet (for eksempel forårsaket av råte) gjør at sannsynligheten for redusert pålitelighet øker. Figuren viser at det er krav om at kapasiteten med tanke på stolpens egenskaper er større enn lastvirkningen fra drifts- og miljøpåkjenninger og systemarrangementet.

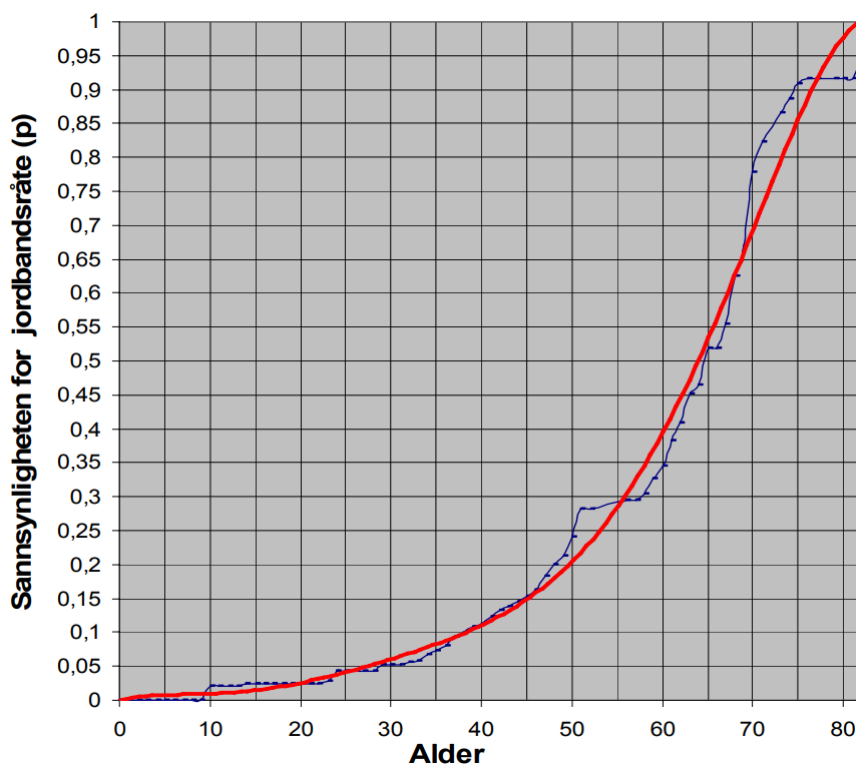


Figur 4.5: Påliteligheten til systemet er avhengig av systemarrangement, drifts- og miljøpåkjenninger og stolpens egenskaper [37].

Avhengig av mastetype vil råten utvikle seg i ulike områder på masten. Dette er områder hvor de ulike komponentene er koblet sammen, steder med drillede hull eller topp med manglende topphette [38]. Fuktighetsnivået til treet avhenger av forholdene i luften og i bakken. Viktige klimatiske forhold er: temperatur, fukt, is og vind. Derfor er det vanlig å dele inn i ulike klimasoner med hensyn til kyst/innland, høyde over havet og ulike varmesommer. Videre er grunnforhold en annen viktig faktor. Erfaring har vist at [37]:

- Nedbrytningshastigheten er dobbelt så raskt i dyrket mark som i mose og myrområder.
- Asphalt og betong inntil stolpen gir forhold som kan gi rask råteutvikling.
- I skog med næringsrik 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. Angrepene kan eventuelt komme ca. 30-50 cm over grunnvannsspeilet.
- Stolper som står i godt drenert morenejord med sand og grus er lite utsatt for råte.
- Stolper som står på fjell er vanligvis lite utsatt for råte.

Resultat fra en undersøkelse utført på cirka 40000 trestolper i området rundt Oslofjorden, viser sannsynlighet for jordbandsråte i kreosotimpregnerte stolper. Sannsynligheten er vist i Figur 4.6 og viser at sannsynligheten for råte stiger med alder. [37]



Figur 4.6: Sannsynligheten for råte i kreosotimpregnerte stolper som funksjon av tid i området rundt Oslofjorden [37].

4.5 Råtekontroller

For råte kan ulike tilstandskontrollmetoder benyttes, hvor to eksempler er visuell kontroll og bruk av hammermetoden. Visuell kontroll benyttes for å se etter synlige tegn på råte. Dette er en ikke-destruktiv metode som kan utføres ifra bakken eller ved at kontrollør klatrer opp i stolpen eller bruker helikopter. Her avhenges det av trenet kontrollør og muligheten for å observere ytre råteskade. [35]

Hammermetoden er også ikke-destruktiv hvor en kontrollør slår på stolpen med en øksehammer og hører på klangen i stolpen og tilbakesprett fra øksehammeren. Metoden er rimelig og effektiv, og gir indikasjon på ytre eller indre råte. Ulempen er at den kan være lite effektiv i tidlig fase av råteutviklingen, i tillegg til at personell må ha god opplæring og et trent øre. [35]

Kapittel 5

IKT-systemer og verktøy

Nettselskaper bruker flere systemer som understøtte for driftsfunksjonene. Noen av systemene har allerede blitt presentert i Kapittel 3, mens flere systemer kan også være nyttige kilder til informasjon. Dette kapitlet vil presentere de mest sentrale visualiseringsverktøyene ArcGIS og Power BI.

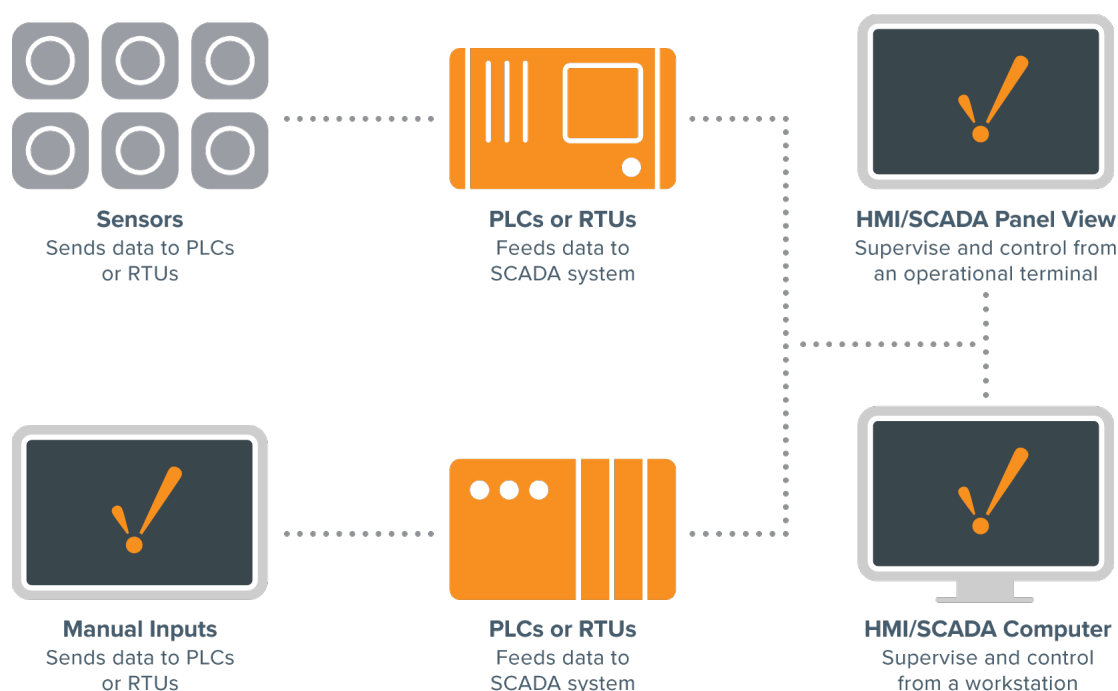
5.1 Systemer for drift og planlegging

For nettselskapene er det i stor grad samme systemer som benyttes for å understøtte driftsfunksjonene. Dette er SCADA-system, NIS og GIS-verktøy og DMS-systemer. I tillegg til disse bruker noen selskaper spesifikke systemer for overvåking av jordfeil, spenningskvalitet og kritiske hendelser. Støttesystemer til dokumentasjon og driftslogging, samt systemer som tilrettelegger for bruk av mobile enheter for arbeid i felt brukes også. [3]

SCADA

SCADA er viktig for industrielle organisasjoner siden det er med på å skape effektivitet, prosessering av data for smartere løsninger og kommunikasjonssystem laget for å minimere nedetid. SCADA-systemer benyttes til fjernstyring og overvåking av kraftnettet. Programmerbar logisk styring (PLS) eller remote terminal units (RTU) er mikrodatamaskiner som kommuniserer med en rekke objekter som maskiner/generatorer, sensorer og andre slutenheter og gir informasjon til SCADA-systemet som prosesserer, distribuerer og visualiserer dataen. På denne måten kan kraftnettet overvåkes off-site. [39] Et oppsett av oppbyggingen til SCADA er vist i Figur 5.1.

Dagens SCADA-systemer tillater innhenting av sanntidsdata fra for eksempel kraftverk og kan i praksis bli vist over hele verden hvor SCADA-systemet er lokalisert. Kraftselskap bruker denne plattformen til å kontrollere og overvåke kraftnettet. Operatører kan observere kraftflyten, samtidig som de for eksempel kan stenge/styre brytere dersom lastflyten ikke er passende. Uten et slikt SCADA-system ville det vært veldig vanskelig for drivere av kraftverket å ta gode valg. [39] De dominerende leverandørene av SCADA-systemer i Norge er Siemens (Spectrum) og ABB (Network manager) [3].



Figur 5.1: En enkel skisse av SCADA-systemet [39].

NIS og GIS-systemer

NIS (Network Information System) og GIS (Geographical Information System) benyttes til forvaltning av informasjon om kraftnettet, samt understøtte planlegging av løpende vedlikehold. NIS-systemer inneholder oversikt over komponentene i kraftnettet og deres karakteristikker. Sentrale NIS-leverandører inkluderer blant annet Powel (Netbas), Cascade (OpenNIS) og Trimble. GIS inneholder informasjon om geografi og topografi i nettområdet. GIS-systemer kan for eksempel leveres i kartmoduler. [3]

DMS

DMS-systemer (Distribution Management System) benyttes til beslutningsstøtte og analyse, og blir ansett som hjelpesystemer for drift av kraftnettet. DMS-systemene innhenter informasjon fra flere ulike datakilder som SCADA og NIS/GIS, og har stor analysekapasitet. Systemene er effektive for beslutningsstøtte og håndtering av komplekse prosesser i kraftnettet. Siemens, ABB, Powel og Trimble er noen av de benyttede leverandørene. Det er forskjeller mellom energiselskapene når det gjelder hvilke DMS-systemer de tar i bruk. [3]

Tilleggssystemer

I tillegg brukes det ulike systemer for arbeidsordrer. Dette er system som involverer oppdragsbeskrivelse, arbeidsflyt og dokumentasjon av utført arbeid. For prioritering, planlegging og beslutning om nyanlegg blir det som regel gjort manuell innhenting av data (som for reinvestering). I slike tilfeller er det ofte behov for en rekke ulike data som hentes fra ulike interne systemer som NIS og DMS. Datainnhenting og analyse gjøres i disse tilfellene ofte manuelt ved at data samles inn og analyseres i Excel. Noen selskaper bruker også systemer for prosjektstyring, systemer for innsamling og rapportering av tekniske eller økonomiske data. I tillegg brukes systemer som tilrettelegger for bruk av mobile enheter til feltarbeid, samt systemer for innsamling og rapportering av tekniske/økonomiske data som FASIT og eRapp. [3]

5.2 Analyse- og visualiseringsprogram

Det sentrale med visualisering er at bak ligger det ofte mange analyser for å komme frem til faktorene og tallene som blir visualisert. Da det i oppgaven kun er tenkt å vise skisser for et dashboard, er det valgt å bruke visualiserings- og analyseprogrammet Power BI, som vil bli beskrevet i delkapittel 5.2.2. Grunnen var at det virket veldig brukervennlig, og et enkelt visualiseringsverktøy som ble anbefalt både av Powel og andre nettselskaper. Likevel har dette verktøyet flere begrensninger, som går på datamengde og ytelse. Som et alternativ til Power BI er det også mulig å, blant annet, benytte verktøyene Qlik VIEW [40] og Tableau [41].

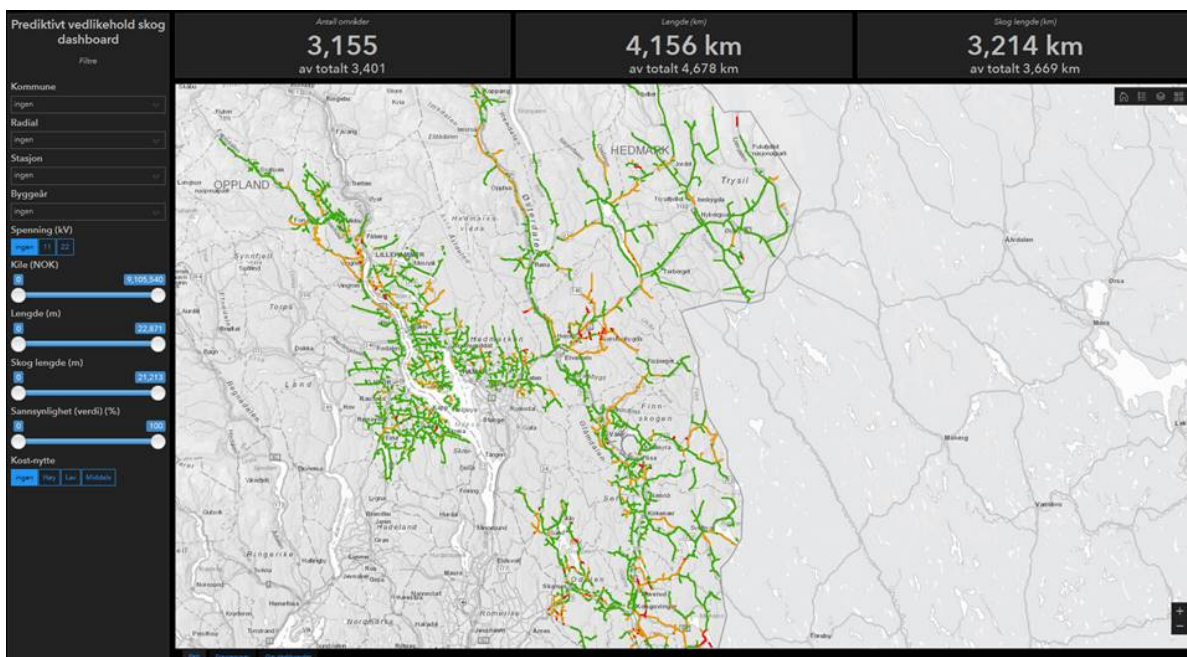
En kontaktperson i et nettselskap viser til at det finnes mange avanserte og kraftige analyseverktøy, samt kraftige verktøy for visualisering. Flere nettselskaper i Norge har startet å bruke GIS-verktøy for å støtte beslutninger, men det er fortsatt stort potensiale for bruk av slike verktøy. I GIS kan all datainput som nettdata, miljø, vær, vind, lyn, grunnforhold, nedbør, miljø, terreng, tilgjengelighet, befolkningsvekst, ladestasjoner og mange flere kombineres. Et eksempel på et GIS-verktøy er ArcGIS, og dette verktøyet blir beskrevet i dette delkapittelet. Power BI vil deretter bli presentert, og til slutt vil disse to verktøyene bli sammenlignet.

5.2.1 ArcGIS

ArcGIS er dataprogrammer som sammen med geografiske data utgjør et komplett GIS-system [42]. ArcGIS er levert av ESRI som er verdensledende leverandør av programvare for GIS. Med ArcGIS kan data kobles mot kart for å se ulike sammenhenger og ta bedre beslutninger. Denne programvaren brukes til å lage kartformat og dashboard til mange bransjer, og noen av kundene er Equinor, politiet og diverse kommuner. [43]

ESRI er teknologipartneren til Powel. Powel har utviklet ulike dashboard for diverse beslutningsstøtte i ArcGIS. Et eksempel er vist i Figur 5.2, hvor et dashboard viser predikerte vegetasjonsfeil med tilhørende risikomodell. Risikomodellen er laget i samarbeid med Eidsiva Nett hvor det blir lagt inn tidsserier med tilstandsdata for skog, avbruddsdata, utført vedlikehold og tilhørende GIS-data. Selve beregningene er gjort i Microsoft Azure, mens visualiseringen er gjort i ArcGIS. [31, 44]

Et eksempel på en programvare som kan benyttes er ArcGIS Online, som er den enkleste tilgjengelige programvaren i ArcGIS-familien. ArcGIS Online er en nettbasert løsning hvor data lagres i en sky og den krever ikke installasjon eller drift på en annen måte. [43]



Figur 5.2: Dashboard som viser predikerte vegetasjonsfeil med tilhørende risikomodell [31].

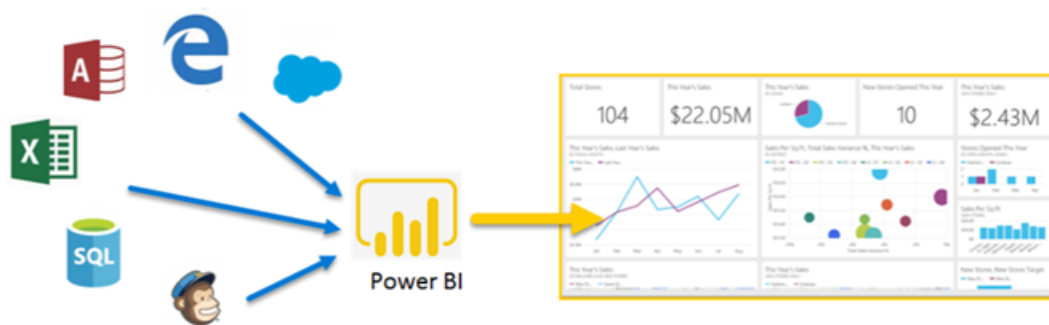
Hovedfordelen med et slikt verktøy er muligheten knyttet til komplekse kart og å knytte disse opp mot et dashboard. Det ble sett på som et kraftig og godt verktøy, men komplisert og tidkrevende å lære seg. Selve innholdet i et dashboard er fokusert på i denne oppgaven, og det ble besluttet at Power BI var tilstrekkelig.

5.2.2 Power BI

Under arbeidet med prosjektoppgaven ble det sett på flere visualiseringsprogram som kunne benyttes. Hovedgrunnen til valget av Power BI er at verktøyet er brukervennlig og ikke for komplisert. Etter samtaler med kontaktperson i Powel, har det kommet frem at for visualisering bruker Powel flere verktøy. Hvilke verktøy som blir benyttet kan avhenge av kunden, men ofte blir verktøyet Power BI benyttet. Power BI er utviklet av Microsoft og på deres nettside blir verktøyet forklart som [45]:

Power BI er en samling med programvaretjenester, apper og koblinger som sammen transformerer dine urelaterte datakilder til sammenhengende, visuelt imponerende og interaktivt innsikt.

Dataene kan komme fra vanlige Excel-ark eller skybaserte databaser. Power BI blir benyttet for å koble til datakildene, visualisere ønsket informasjon og dele dashboardet med ulike brukere og er vist i Figur 5.3.

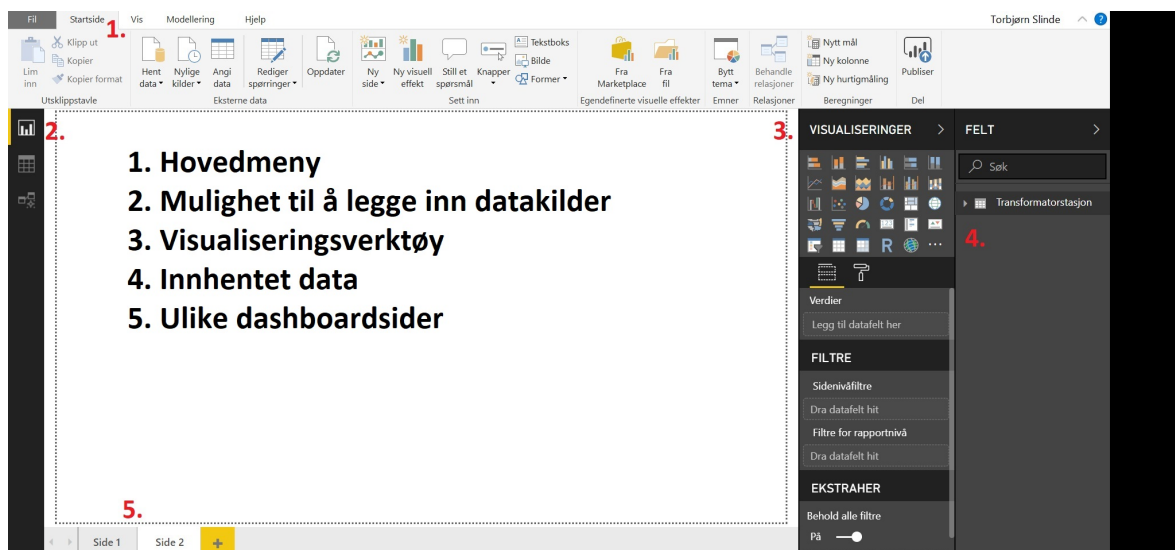


Figur 5.3: Verktøyet Power BI [45].

Power BI er offentlig tilgjengelig og brukervennlig. Power BI tilbyr en gratislisens som inneholder de fleste funksjonene, og en pro-lisens som gir tilgang til alle funksjoner samt mulighet til å dele innhold og samarbeide med andre Pro-brukere [46].

Inngangsverdier

Hovedsiden til verktøyet er vist i Figur 5.4. Punkt 1 viser hovedmenyen hvor det er mulig å innhente tidligere arbeid og eksterne data, samt sette inn ulike figurer og knapper i tillegg til å publisere arbeider. For dataanalyse hentes data inn fra Excel eller så kan dataene lages manuelt i selve verktøyet i punkt 2. Disse dataene blir vist i punkt 4. Videre blir visualiseringsmuligheten brukt i punkt 3 for å innhente ønsket data. Dette omhandler blant annet kart, tabeller og flere ulike diagram. I punkt 5 er det mulig å velge mellom de ulike vinduene i dashboardet. I dette eksempelet er det kun to vinduer.

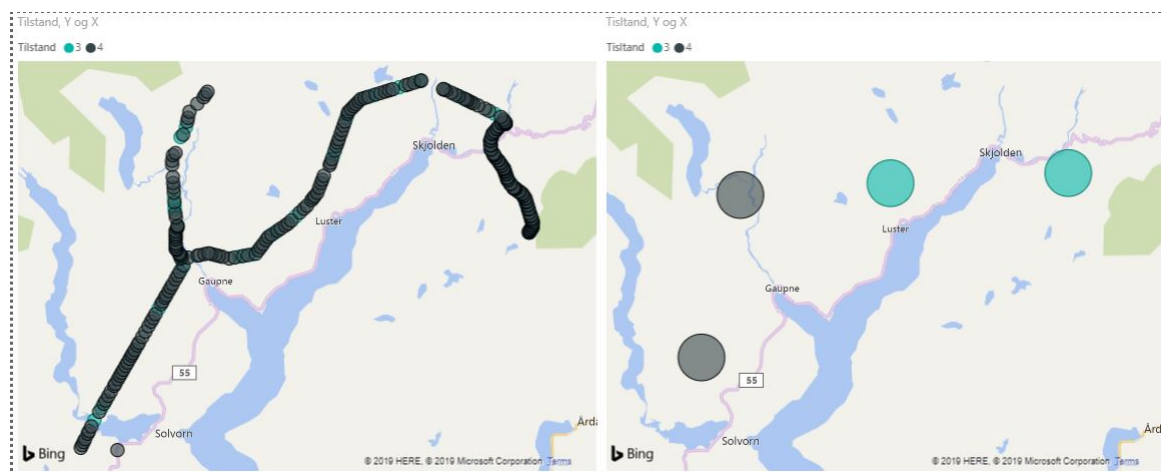


Figur 5.4: Utklipp av visualiserings- og analyseverktøyet Power BI.

I tillegg til å inneholde tegneverktøy, er det også mulig å legge inn data i kartformat. For å kunne illustrere data i kart må en bruker ha tilgang til lengde- og breddegrader for de ulike komponentene i anleggsområdet. Alternativet vil være å legge inn stedsnavn, som for eksempel adresse eller bynavn.

Nettselskaper rår over et stort anleggsområde og i verktøyet Power BI vil det være utfordringer med bruk av antall datapunkter. I et kart er det kun mulig å bruke maksimalt 3500 datapunkter, og dette vil gi utfordring dersom alle komponentene i et anleggsområde skal implementeres. En mulighet for å løse dette problemet er ved å aggregere komponentene. Altså, et linjeobjekt vil aggregeres til et datapunkt. I Netbas er det valgt å presentere linjene i et linjeobjekt med samme spenning og alder. Et objekt kan også være deler av en linje som først ble bygget ut. Derfor vil de ulike linjeobjektene ha ulik lengde.

Det er mulig å vise master når kun linje eller et område er valgt. Et eksempel på hvordan fire linjestrekk kan aggregeres er vist i Figur 5.5. Dataene er hentet fra sentralnettet i Luster kommune fra NVEs kartkatalog og er åpent tilgjengelig på nettsidene til NVE [47]. Dataene er kun ment for å vise eksempel på visualisering.



Figur 5.5: Eksempel på aggregering av fire antatte linjestrekk til fire datapunkter.

5.2.3 Fordeler/ulemper med ArcGIS og Power BI

For denne oppgaven var det fokus på enkle visualiseringer og oppsett av et dashboard. Power BI gir mulighet til å gjøre enkle analyser og hente data fra databaser. Videre er verktøyet brukervennlig og mye informasjon er tilgjengelig på nettsiden til Microsoft. Det er antatt at driftspersonell raskt kan lære å bruke et slikt verktøy.

I ArcGIS er det mulig å gjøre enda flere og tyngre analyser, samt hente inn data fra ulike databaser. ArcGIS er et populært verktøy, hvor for eksempel Powell og Geodata besitter stor kunnskap. ArcGIS er mye dyrere enn Power BI.

Spesielt kartfunksjonen er et nyttig verktøy. Som tidligere nevnt blir et dashboard ved å benytte Power BI noe begrenset av at det ikke er mulig å visualisere mer enn 3500 datapunkter. I tillegg er det ikke mulig å implementere gode kartfunksjoner med tilhørende miljøpåkjenninger som temperatur, vind, bonitet og mange flere. En mulighet er å hente ulike kartdata og sammenstille de med ulike mastedata i ArcGIS, for så å eksportere dette videre til Power BI. Noen av fordelene og ulempene ved bruk av de to verktøyene er vist i Tabell 5.1.

Tabell 5.1: Fordeler/ulemper med ArcGIS og Power BI.

Verktøy	Power BI	ArcGIS
Fordeler	<ul style="list-style-type: none"> - Pris - Brukervennlig. - Populært verktøy - Mulighet å gjøre enkle analyser og hente inn data fra databaser. 	<ul style="list-style-type: none"> - Gode kartfunksjoner - Mulighet for tunge analyser - Populært verktøy
Ulemper	<ul style="list-style-type: none"> - Kartfunksjon - Antall datapunkt 	<ul style="list-style-type: none"> - Pris - Tidkrevende og komplekst

Kapittel 6

Oppbygging av dashboard

Et dashboard bør inneholde flere vindu og er i denne oppgaven delt inn de tre sidene *oversiktsside*, *hjelpeside* og *tilleggsside*. Eksempel og skisser av et tenkt dashboard vises i dette kapitlet.

6.1 Formål for visualisering

Denne oppgaven vil ikke visualisere alle sidene i et dashboard. Det vil heller vises hvordan selve visualiseringen vil gi bedre beslutningsstøtte. Disse funksjonene er vist i Tabell 6.1 med tilhørende caser og informasjon om hvilken type side de tilhører (oversiktsside, hjelpeside og tilleggsside). Denne oppgaven skal ikke gi noen anbefaling for måten selskapene skal arbeide på. Ulike nettselskaper har ulike praksiser og måter å jobbe på. Likevel er det flere generelle mål alle selskaper jobber mot, og det vil bli tatt utgangspunkt i disse målene.

Tabell 6.1: Oversikt over funksjonen til et dashboard med tilhørende caser.

Type side	Informasjon	Tilknyttet case
Oversiktsside	Oversikt over komponentene i kraftnettet.	
Oversiktsside	Vise en oversikt som involverer ulike påkjenninger, som kan være både drift- og miljøpåkjenninger.	Case 1
Oversiktsside	Virksomhetsstatus	
Oversiktsside	Hvilke komponenter er ekstra utsatt for feil/svikt.	
Oversiktsside	Planlagte tiltak som skal utføres.	
Hjelpeside	Ulik informasjon knyttet til komponentene	Case 3
Hjelpeside	Dersom det viser seg at noen komponenter bør skiftes ut, hva er da alternativene?	Case 2
Hjelpeside	Dersom alle beslutninger ikke blir gjennomført, vil ulike alarmer være nødvendig.	
Tilleggsside	Visualisere usikkerheten i datagrunnlaget	Case 1

6.2 Antagelser og forutsetninger

Et dashboard for beslutningstaking vil ikke kunne løse alle problem. Uansett hvor gjennomtenkt et dashboard er, vil det være nødvendig å ta hensyn til at digitaliseringen tar tid og at nettselskapene går igjennom en endringsprosess. Antagelsen i dette kapitlet er derfor at nettselskapene har god datakvalitet og datatilgjengelighet. Dette innebærer tilstandskarakterer, hvor tilstandskarakterene 1-5, som forklart i delkapittel 2.1.2, blir brukt videre i dette kapitlet.

Det ble også tatt et valg om å benytte Power BI som visualiseringsverktøy, som beskrevet i Kapittel 5.

6.3 Oppbyggingen

Oppbyggingen av dashboardet er knyttet til Tabell 6.1. Hovedsiden i et dashboard bør inneholde en oversikt over alle komponentene i et selskaps anleggsområde. Komponentene kan knyttes til en kartfunksjon. En bruker kan for eksempel trykke seg videre inn på de ulike linjestrekkene for å få opp informasjon om de ulike komponentene. Disse linjestrekkene bør også kunne vises i kartet. I dashboardet er det sentralt å få med nettstasjoner (transformatorstasjon, koblingsanlegg, kraftstasjoner), transformatorer, linjestrekk, kabler og brytere.

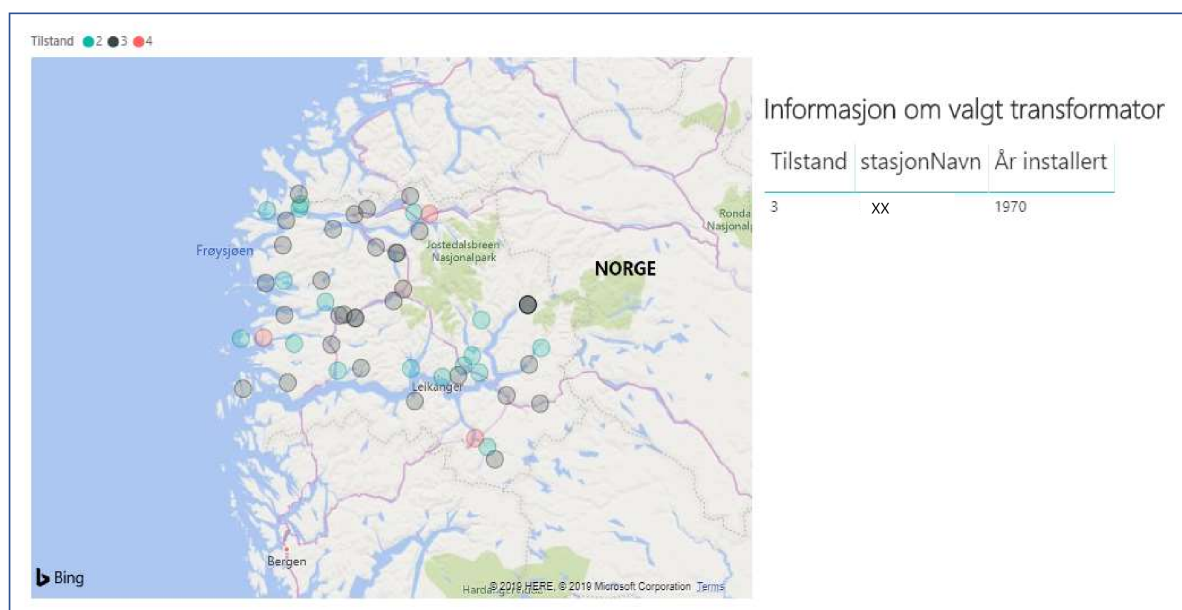
Det er ønskelig at det lages et oversiktsbilde hvor det kommer opp en prioriteringsplan for kritiske komponenter. For å lage en slik prioriteringsplan kan maskinlæring benyttes. Maskinlæring kan brukes for å kartlegge en brukers interesser ved tidligere søkehistorikk og så videre. Det kan tenkes at, i første omgang, brukeren kan velge ulike kriterier som for eksempel tilstand og/eller risiko.

På den neste siden (hjelpesiden) kan det være mulig å få informasjon om de ulike komponentene. Dette er informasjon som baserer seg på både analyser (tilstandskarakterer) og data hentet fra ulike system (for eksempel informasjon tilknyttet en komponent).

6.3.1 Eksempel på oversiktsside

En enkel oversiktsside bør inneholde dagens status og oversikt over komponenter i nettet. Som eksempel på oversiktsbilde er det tatt utgangspunkt i 52 transformatorer i fylket Sogn og Fjordane. Alle de 52 transformatorene har tilhørende lengde- og breddegrader lagt inn og kan finnes i NVEs kartkatalog [47]. Det er lagt til fiktive tilstandskarakterer og alder. Disse verdiene er på ingen måte reelle, og kun brukt som antagelser i denne oppgaven.

Figur 6.1 viser hvordan data tilhørende en enkel transformator vises i kartet og i tabell ved siden av kartet.

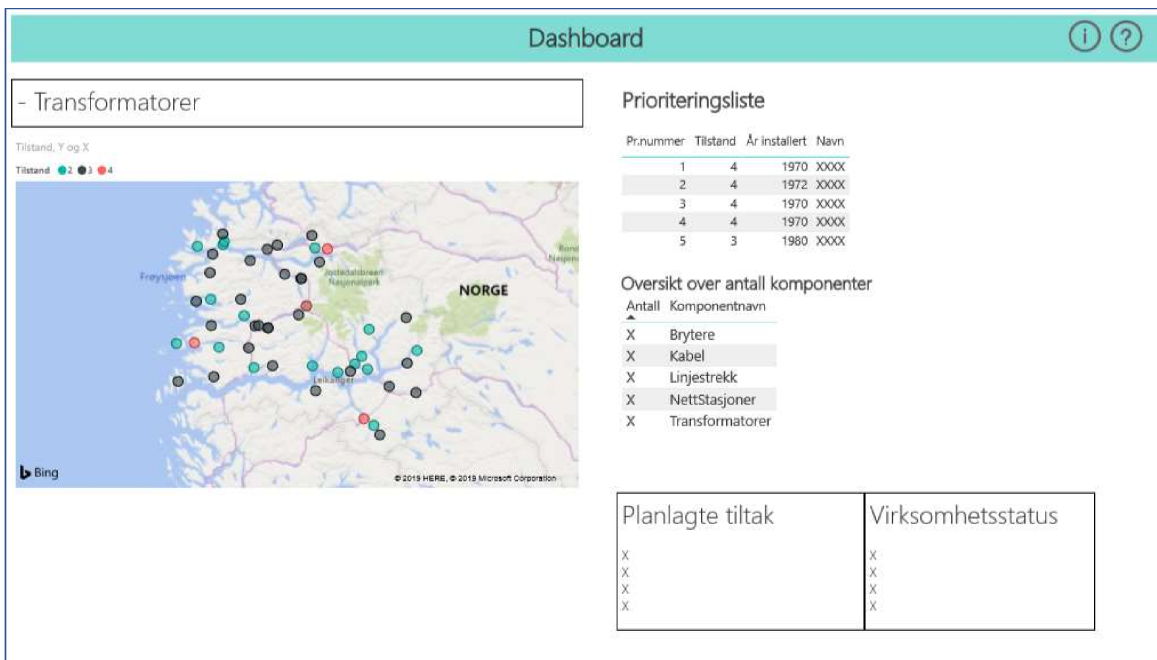


Figur 6.1: Informasjon om valgt transformator i et område.

Når det gjelder data tilhørende ulike områder for miljø- og driftspåkjenninger hentes disse fra ulike system. For eksempel hentes eksterne påkjenninger fra ulike kartdata. Disse funksjonene er ikke vist i denne oppgaven, men er nyttige hjelpemidler med tanke på beslutningstaking. Case 1 vil vise hvordan miljødata kan brukes til visualisering for beslutningstaking knyttet til master.

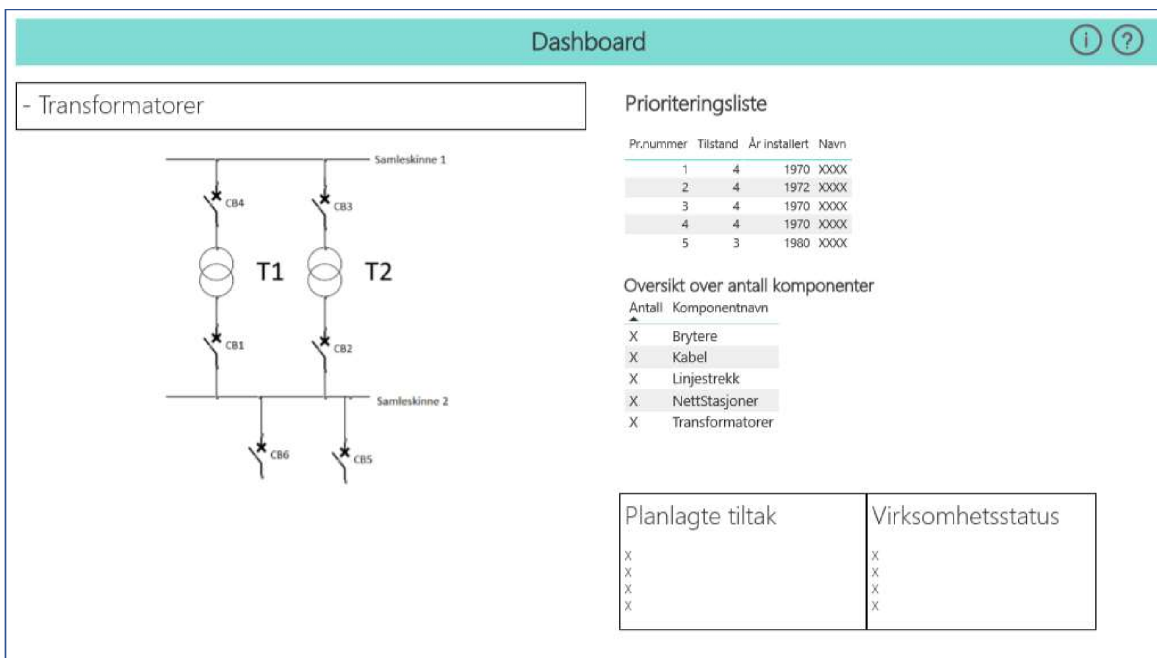
Med tilstand som utgangspunkt er det mulig å lage en enkel prioriteringsliste for komponenter med lave tilstandsv verdier. En prioriteringsliste betyr nødvendigvis ikke at komponenter bør skiftes ut med en gang. Det er heller en metode for å rangere de ulike komponentene. I prioriteringslisten kan verdier for for eksempel tilstand og alder rangeres.

En enkel hovedside er vist i Figur 6.2 for de 52 transformatorene (som også er vist i Figur 6.1) og viser en enkel prioriteringsliste. I tillegg får en bruker oversikt over antall komponenter i nettet, samt oversikt over planlagte aktiviteter og virksomhetsstatus.



Figur 6.2: Hovedside for transformatorer i et tenkt dashboard.

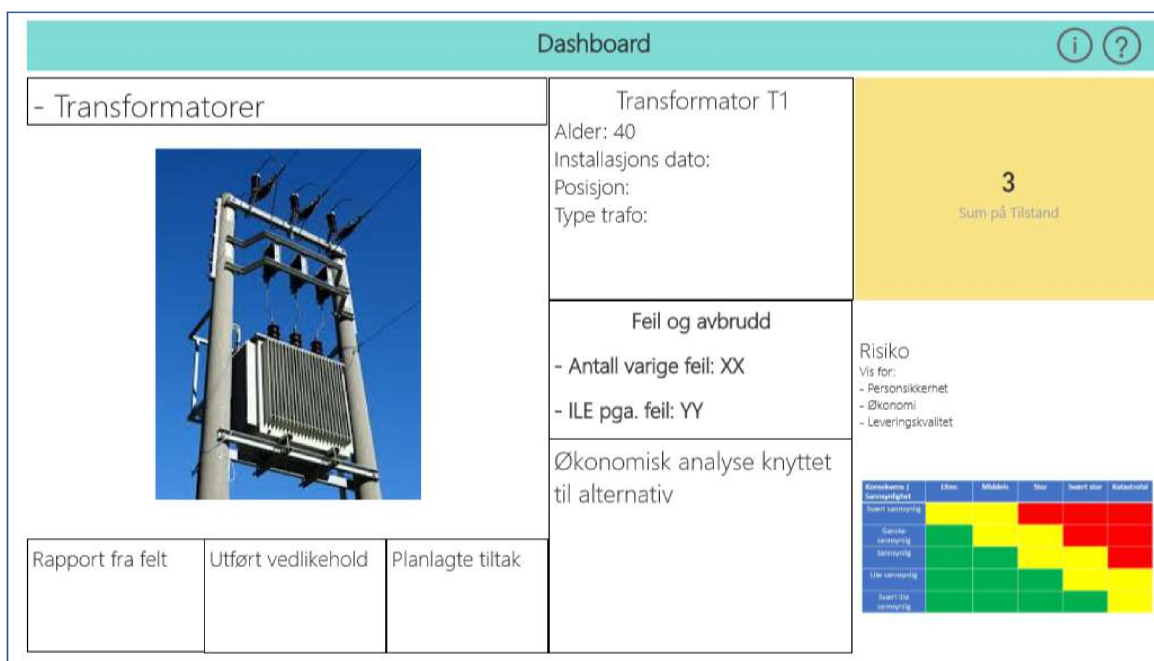
Figuren kan også bli koblet til et enlinjeskjema, dersom det er ønskelig. Et eksempel på enlinjeskjema med to transformatorer er vist i Figur 6.3.



Figur 6.3: Hovedside for transformatorer med tilhørende enlinjeskjema i et tenkt dashboard.

6.3.2 Eksempel på hjelpeside

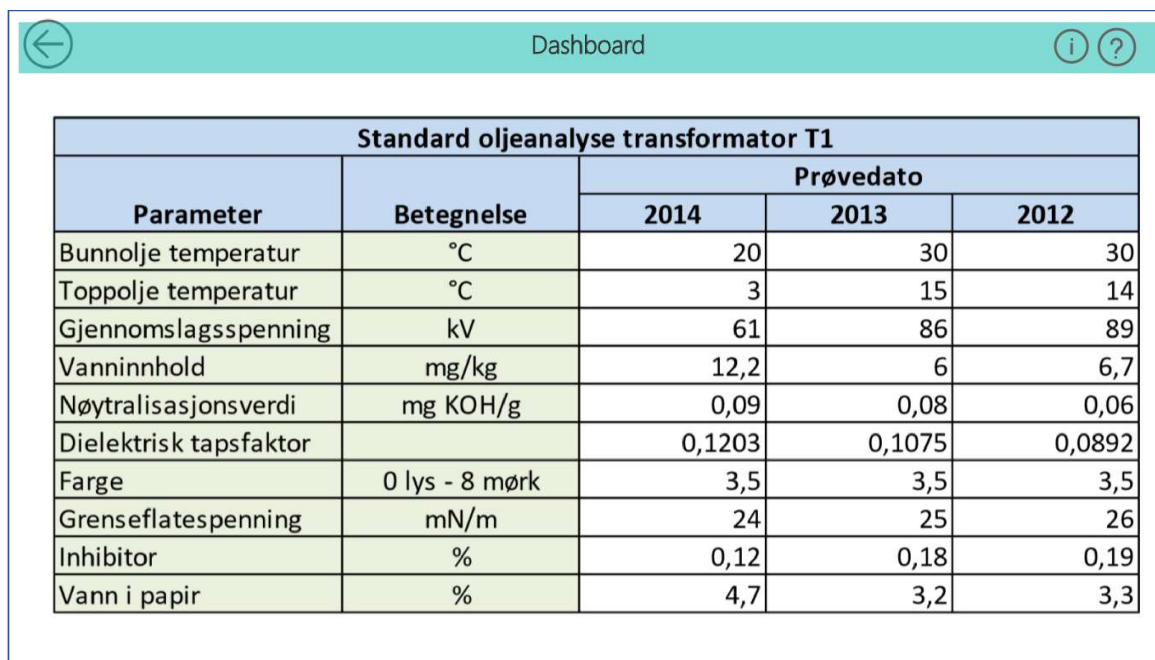
Ved videre å undersøke eksempelet med tilstandskarakterer, er det mulig å trykke seg inn på en gitt transformator for å få tilhørende informasjon. Et forslag til en hjelpeside er vist i Figur 6.4. En slik side inneholder mye informasjon, og det er vist et eksempel med tilstanden til en komponent, risiko og annen sentral informasjon. Det er ønskelig at driftspersonell selv kan skrive inn kommentarer fra felt.



Figur 6.4: Hjelpeside som viser informasjon om en valgt komponent. Figur i dashboardet er hentet fra Ref. [48].

Det er mulig å trykke seg inn i de ulike informasjonsboksene tilhørende de ulike faktorene. For enkeltkomponenter hentes data inn fra ulike kilder, og det er lite analyser som må gjøres i selve dashboardet. En transformator kan også deles inn i flere ulike komponenter. Det vil være interessant å få oversikt over disse komponentene ved å trykke på boksen Transformator T1, for å få opp full informasjon om komponenten. Måter å visualisere resultat fra en økonomisk analyse og risikovurderinger vises i Case 2 og Case 3.

Ved å trykke på tilstandsboksen kan en bruker få opp informasjon til grunnen for at en tilstandskarakter ble gitt. I dette eksempelet har en transformator fått tilstandskarakteren 3. En tilstandskarakter kan, som tidligere forklart, være basert på analyser knyttet til flere faktorer. En standard oljeanalyse er gjort i forbindelse med en masteroppgave [49] og vist i Figur 6.5. På bakgrunn av denne oljeanalysen, ble en transformator gitt tilstandskarakteren 3. Figuren viser at vanninnholdet i transformatoren har endret seg fra 2012 til 2014. I Ref. [49] kommer det frem at dette er en naturlig endring. Visualisering av slike analyser gir et godt bilde på utviklingen av tilstanden til en komponent, samtidig som at en bruker får oversikt over grunnen til at transformator ble gitt tilstandskarakteren 3.



Standard oljeanalyse transformator T1				
Parameter	Betegnelse	Prøvedato		
		2014	2013	2012
Bunholje temperatur	°C	20	30	30
Toppolje temperatur	°C	3	15	14
Gjennomslagsspenning	kV	61	86	89
Vanninnhold	mg/kg	12,2	6	6,7
Nøytralisasjonsverdi	mg KOH/g	0,09	0,08	0,06
Dielektrisk tapsfaktor		0,1203	0,1075	0,0892
Farge	0 lys - 8 mørk	3,5	3,5	3,5
Grenseflatespenning	mN/m	24	25	26
Inhibitor	%	0,12	0,18	0,19
Vann i papir	%	4,7	3,2	3,3

Figur 6.5: Standard oljeanalyse for en transformator innhentet til det tenkte dashboardet. Oljeanalysen er hentet fra Ref. [49].

6.3.3 Tilleggsside

Usikkerhet kan være knyttet til en tilleggs side. Datakvalitet skal ikke undervurderes, og det vil derfor være nødvendig å understreke hvilke data som mangler. Dette kan gjerne visualiseres i et annet dashboard fordi det ikke direkte knyttes til hoveddashboardet. utfordringer knyttet til usikkerhet vises i Case 1.

Kapittel 7

Caser: Visualisering for beslutningstaking

I dette kapitlet vises det hvordan visualisering av både rådata og analyser kan føre til bedre beslutningsstøtte. Kapitlet vil presentere tre ulike casestudier.

7.1 Beskrivelse av caser

Tabell 6.1 viser hvordan de ulike casene kan knyttes til et dashboard. Det er likevel selve visualiseringen som er interessant i dette kapitlet. Casene skal underbygge ulik bruk av metoder for visualisering som beslutningsstøtte. Alle tre casene er knyttet til å støtte opp om strategiene og prosedyrene i delkapittel 2.2.2. Samtidig viser casene mulighetene knyttet til visualisering. En mulighet er å kunne visualisere den informasjonen en beslutningstaker behøver, samt vise konsekvensene av ulike valg. Hvilke informasjon beslutningstakeren behøver, avhenges av hvilken type beslutning som skal tas. En visualisering kan danne et grunnlag for nye spørsmål rettet mot konsekvensene som videre kan visualiseres.

I den første casen er det sett på scenarioer knyttet til utskifting og grundigere råtekontroller for stolper. Det blir videre antatt at når en stolpe byttes ut, byttes de tilhørende komponentene i en mast ut (inkludert stolpen). Derfor blir master brukt videre i denne casen, selv om råte i prinsippet kun fører til dårligere tilstand for trestolper og eventuelle traverser. Grunnforholdene til alle mastene blir brukt til å lage strategier for utskifting.

I case 2 er det sett på hvorvidt et helt linjestrekk eller enkeltkomponenter skal skiftes ut. Her er det tatt utgangspunkt i prosjektet REPLAN, og i dette prosjektet er det sett på ti ulike alternative tiltak. Disse alternativene kan visualiseres for å bedre kunne ta en beslutning om tiltak. Slik visualisering er utført i denne casen.

Det er tidligere i oppgaven nevnt ulike konsekvenskriterier som er viktige for nettselskaper. Å legge til rette for god personsikkerhet er en av de viktigste målene for et nettselskap. Risiko knyttet til personsikkerhet er ikke sett på i Case 1 og Case 2. Derfor er det i Case 3 sett nærmere på ulike konsekvenskriterier og vekten av dem i en risikomatrise.

7.2 Case 1 - Råteutvikling knyttet til reinvestering

I denne casen er det benyttet en Excel-fil med 23669 mastepunkt som ble innhentet i forbindelse med en masteroppgave fra 2014 [50]. I masteroppgaven fra 2014 ble det hentet inn mastedata med tilhørende informasjon fra Netbas, samt at ArcGIS ble brukt for å innhente og interpolere klima- og meteorologiske data. Disse dataene tilhører et nettselskap. Tilsammen utgjør dette et Excel-skjema med miljødata og teknisk mastedata. Masteroppgaven fra 2014 beskriver en undersøkelse av reinvesteringsbehov med datainnsamling, etablering av levetidsmodeller og reinvesteringssanalyser.

Hvordan dataene er kommet fram og usikkerheten rundt disse, vil ikke bli fokusert på. Det er i denne oppgaven heller et fokus på hvordan visualisering av de ulike mastepunktene med tilhørende data kan føre til bedre beslutningstaking. Datagrunnlaget er vist i Tabell 7.1.

Tabell 7.1: Ulike mastedata hentet fra en tidligere masteroppgave [50].

Data	Type
Grunntype	Miljødata
Nedbør	Miljødata
Bonitet	Miljødata
Avstand til saltvann	Miljødata
Temperatur	Miljødata
Vind	Miljødata
Forurensning	Miljødata
Spenningsnivå	Teknisk mastedata
Byggeår	Teknisk mastedata
Fundament	Teknisk mastedata
Impregneringsmetode	Teknisk mastedata
Material	Teknisk mastedata
Konstruksjon	Teknisk mastedata
Tilstand	Teknisk mastedata

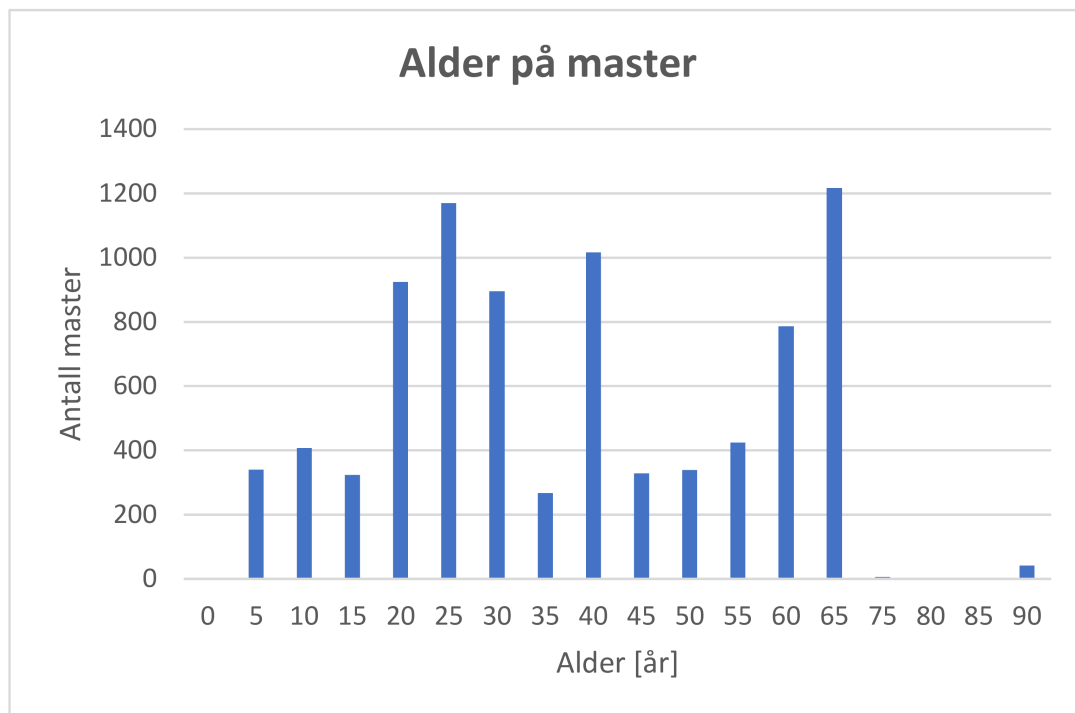
Med et så stort datagrunnlag er det mange analyser og måter å visualisere forskjellig informasjon på. Kartfunksjonen kan brukes til å dele nettet inn i ulike soner basert på for eksempel klima, temperatur, vindforhold og på den måten skape en oversikt over de eksterne påkjenningene i nettet. Samtidig er det interessant å se hvordan ulike forhold kan påvirke levetiden til stolper (heretter master). Derfor er det i denne casen sett på antatte ulike levetider basert på det grunnforholdet mastene er plassert i. Dette er enkle analyser som gir selskapene en idé over tiltak som kan gjøres. Det er antatt samme mastekonstruksjon (type konstruksjonsløsning) av tre, slik at prisen for ulike master er den samme. Hovedvekten blir lagt på visualiseringen, mens det i diskusjonsdelen blir sett på ulempen med slike antagelser og forenklinger.

I datagrunnlaget er det knyttet geografiske posisjoner til hver mast. Disse posisjonene er eksportert fra ArcGIS og er gitt i UTM-koordinater. I Power BI må det legges inn bredde- og lengdegrader i sone 32. For å få koordinatene fra UTM-koordinater til lengde- og breddegrader må de manuelt regnes ut, da ingen tilgjengelige dataverktøy regner ut alle de 23669 mastepunktene.

Derfor er det valgt å ikke visualisere alle mastepunkter i et kart. I de situasjoner/områder hvor det er få mastepunkter, er det valgt å vise visualisering i kart.

Aldersfordeling

Sannsynligheten for råte øker med alder som vist i delkapittel 4.4 og dermed øker sannsynligheten for svikt. I Excel-dokumentet er det registrert alder på kun 36 % av alle komponenter. Aldersfordelingen til mastene er som vist i Figur 7.1.



Figur 7.1: Registrert alder på master.

Som figuren viser, er det litt over 1200 master som har stått i over 65 år. Med estimert levetid på 70 år, betyr dette at cirka 13 % av alle mastene med registrert alder, snart kan nærme seg forventet levetid. Dermed må selskapet forvente en del utskiftings fremover.

Fordeling av antall master er interessant å se i et kart; om det er mange master som må skiftes ut og lokasjonstettheten til disse mastene (om det er mange master i et område som kan skiftes ut som gruppeutskifting). Videre kan det knyttes flere faktorer til alder, som medfører større sannsynlighet for råte. Målet er ikke å finne ut eksakt hvilke master som må skiftes ut, men skaffe en oversikt over estimert tilstand til mastene og i hvilke områder fokuset på reinvestering bør ligge. Skal master skiftes ut, må det i tillegg gjøres befaringer for å undersøke tilstanden. Beslutninger tas ikke kun basert på modeller. Det er ikke nødvendig å skifte ut en mast basert på alder, dersom tilstanden tilsier at den kan stå i mange år til.

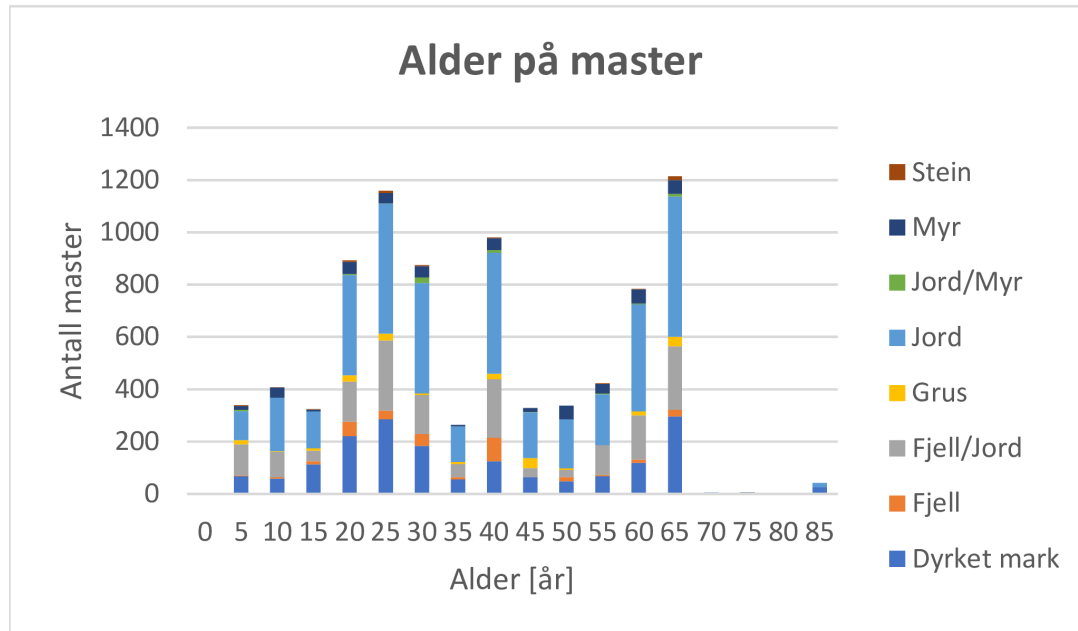
Grunnforhold

En annen faktor som er sentral for råteutvikling, er grunnforhold som vist i delkapittel 4.4. Alle de registrerte grunnforholdene er vist i Tabell 7.2. Tabellen viser at det er betydelig antall master plassert i dyrket mark og jord, hvor det er forventet større sannsynlighet for råte sammenlignet med master plassert i myr og fjell.

Tabell 7.2: Antall master i ulike grunnforhold.

Grunntype	Antall
Dyrket mark	4177
Fjell	631
Fjell/jord	5648
Grus	329
Jord	10908
Jord/Myr	142
Myr	1514
Uvisst	269
Stein	49

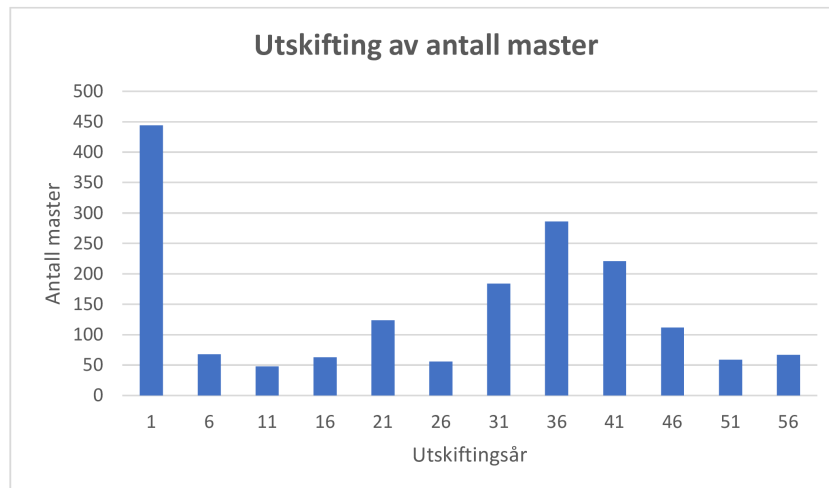
Figur 7.2 viser aldersfordelingen av antall master. Figuren viser at de grunnforholdene med høyest antall master med levetid på 65 år er de mest råteutsatte grunnforholdene.



Figur 7.2: Aldersfordeling basert på grunnforhold.

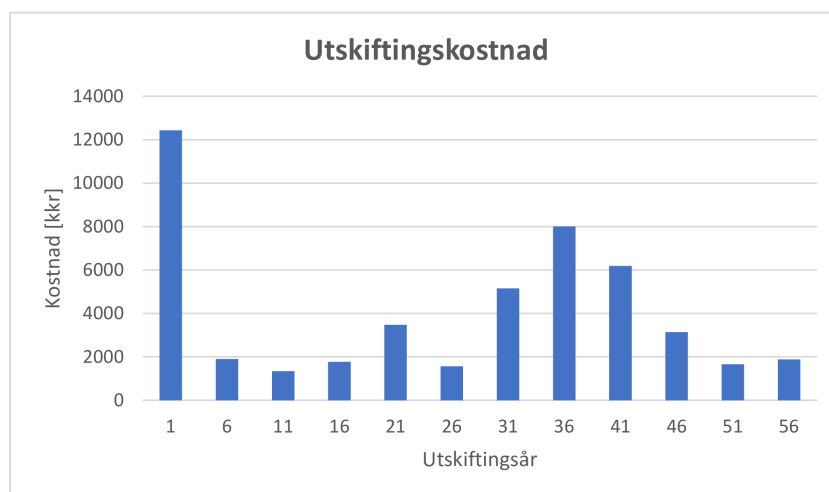
7.2.1 Scenario 1: Master i dyrket mark

I et enkelt scenario er det mulig å anta at grunnforhold påvirker levetid. I scenario 1 er det valgt å se på stolper plassert i dyrket mark. Valget er tatt for å vise hvordan fordelingen av master i en type grunnforhold er med tilhørende antagelser. Derfor vil strategien tilknyttet dette scenarioet være å rette ekstra fokus mot grunnforholdet **dyrket mark**. Det blir antatt at levetiden til mastene er 60 år. Ved 60 år så skiftes mastene ut og antall master som blir skiftet ut er vist i Figur 7.3. Figuren viser en forventet utskiftingstopp det første året.



Figur 7.3: Utskifting av antall master med grunnforholdet dyrket mark.

Kostnadene for utskifting av master er vist i Figur 7.4. I denne utregningen er det antatt at hver mast har like stor kostnad og kostnaden er satt til 28000 kroner. Dette er en kostnad som er medregnet hele mastepunktet, som betyr at når en mast skiftes, så antas det at hele mastepunktet skiftes ut. Kostnaden er hentet fra Ref. [51] og er kostnader hentet fra REN for E-mast i jord.



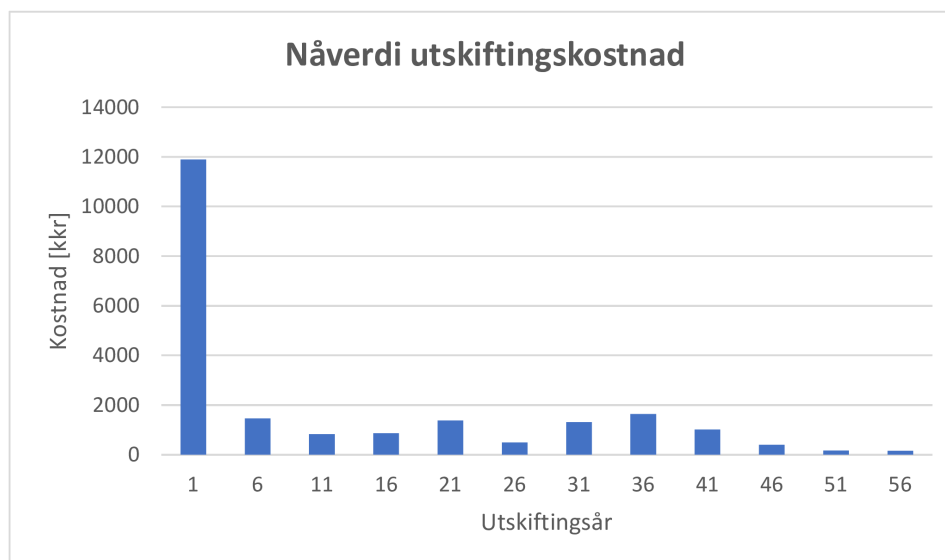
Figur 7.4: Utskiftingskostnad av antall master med grunnforholdet dyrket mark.

For å kunne sammenligne kostnadene, brukes nåverdi-metoden for å vise kostnaden de neste årene. Det brukes en vanlig nåverdiformel med diskonteringsfaktor for alle årene. Formelen er vist i Ligning 7.1 [20].

$$F_0 = PV(F_N) = \frac{F_N}{(1+t)^N} = F_N \cdot (1+r)^{-N} = F_N \cdot \alpha_N \quad (7.1)$$

der $PV(F_N)$ er dagens beløp av et beløp N antall år frem i tid, r er kalkulasjonsrenten og α_N er diskonteringsfaktoren. Kalkulasjonsrenten er satt til 4,5 %.

Nåverdien for utskiftingskostnadene er vist i Figur 7.5. Alle de tre figurene i dette scenarioet viser svært mange utskiftninger og store kostnader det første året. Med antagelser om lengre levetid, blir grafen jevnere. Eksempelvis kan det settes at master med alder på over 60 år får en levetid på 70 år, mens de andre mastene har en levetid på 60 år siden det erfaringsmessig vises at eldre stolper har lengre levetid. Hovedproblemet oppstår likevel med at det er svært mange master med alder 65 år og at det vil være en stor utskiftingsstopp de neste ti årene.

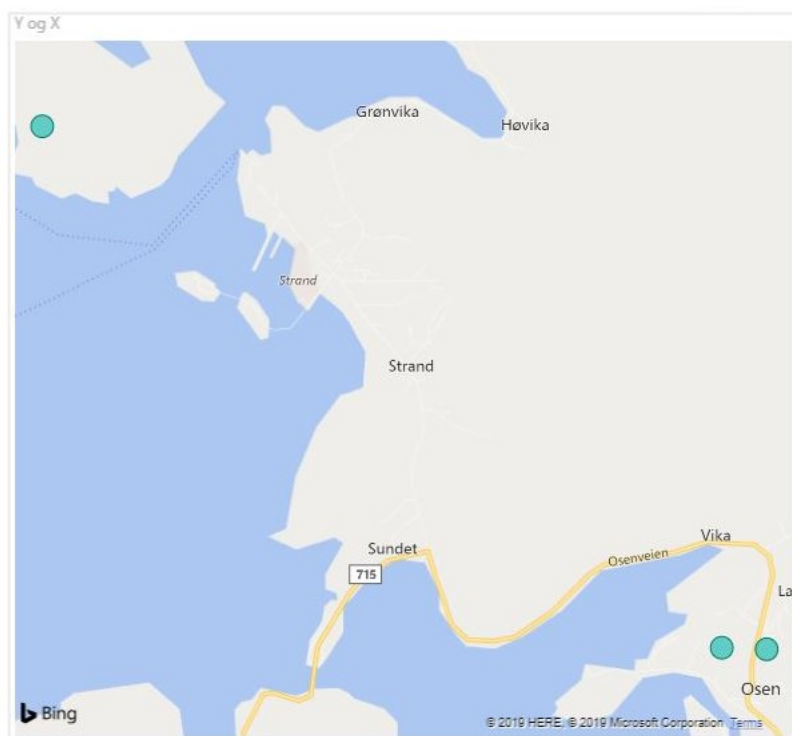


Figur 7.5: Utskiftingskostnad (nåverdi) av antall master med grunnforholdet dyrket mark.

Det er en uønsket risiko knyttet til å ikke skifte ut master. Derfor er det mulig å finne områder hvor sannsynligheten med tanke på ulike forhold er stor, og prioritere disse mastene for utskifting. Master som ikke er knyttet opp mot store miljøpåkjenninger kan bli prioritert bort. Derfor er det videre vist et kort eksempel tilknyttet geografi.

Geografi

Det er valgt å undersøke hvor mange av disse mastene som er påvirket av andre miljømessige forhold. I datagrunnlaget er det regnet ut midlere varmesummer på en tiårsperiode. Høyere varmesummer er antatt å bidra til høyere sannsynlighet for råte. Settes varmesommene inn som en faktor for visualiseringen, kommer det opp tre master med høyeste varmesum og grunnforholdet dyrket mark. Det kan derfor være interessant å vurdere disse mastene nærmere. Som vist i Figur 7.6 er det tre master som har antagelsene dyrket mark, høyeste varmesum og høyere alder enn 60 år. Figuren er hentet fra kartfunksjonen i Power BI.

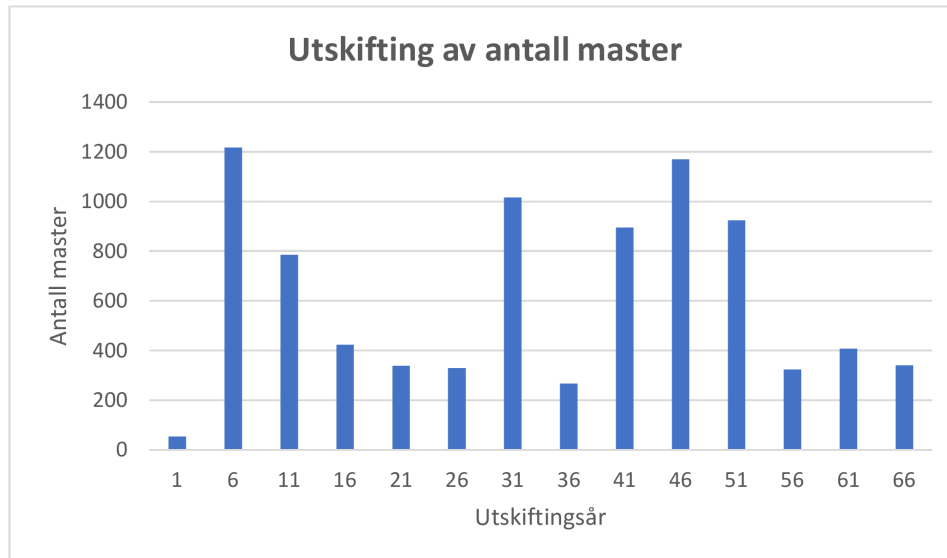


Figur 7.6: Område med tre master med antagelsene dyrket mark, høyeste varmesum og høyere alder enn 60 år.

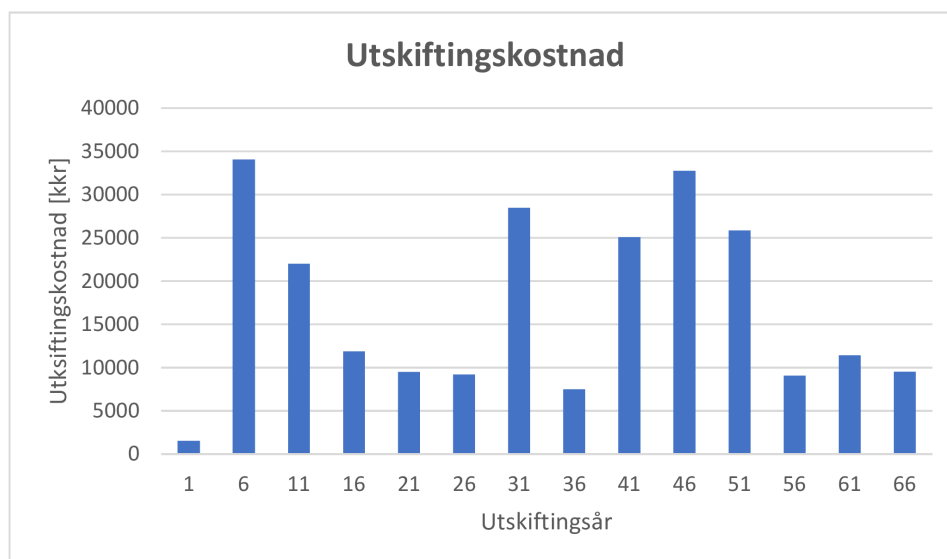
Figuren viser at to master er lokalisert nærmest hverandre, som gjør det enklere å kontrollere eller eventuelt skifte ut mastene. I tillegg er det mulig å undersøke hvor mange master som er del av et linjenett. Mange flere faktorer for råteutvikling kan legges til i modellen, alt etter erfaringen til selskapene. Oppgavens hovedoppgave er ikke å lage en modell over de viktigste faktorene og vektningen av dem, men heller måten ulike sammenhenger kan brukes for visualisering. Ulike befaringer kan bli bedre, da selskapene kan skaffe seg geografisk kontroll over hvilke master som bør sjekkes mer nøyaktig.

7.2.2 Scenario 2: Alle master, ulik alder

Scenario 2 bygger på å lage en strategi ut ifra ulik levetid på master i dyrket mark og de andre mastene i resten av grunnforholdene. Det antas videre at alle master bør skiftes ut etter 70 år, mens mastene som står i dyrket mark fortsatt skiftes ut etter 60 år. Figur 7.7 viser antall utskiftinger som da kan gjøres. Kostnaden er fortsatt satt som konstant for hver mast og vist i Figur 7.8. Figuren viser stor utskifting de ti første årene, grunnet det store antallet av master med alder på 65 år.

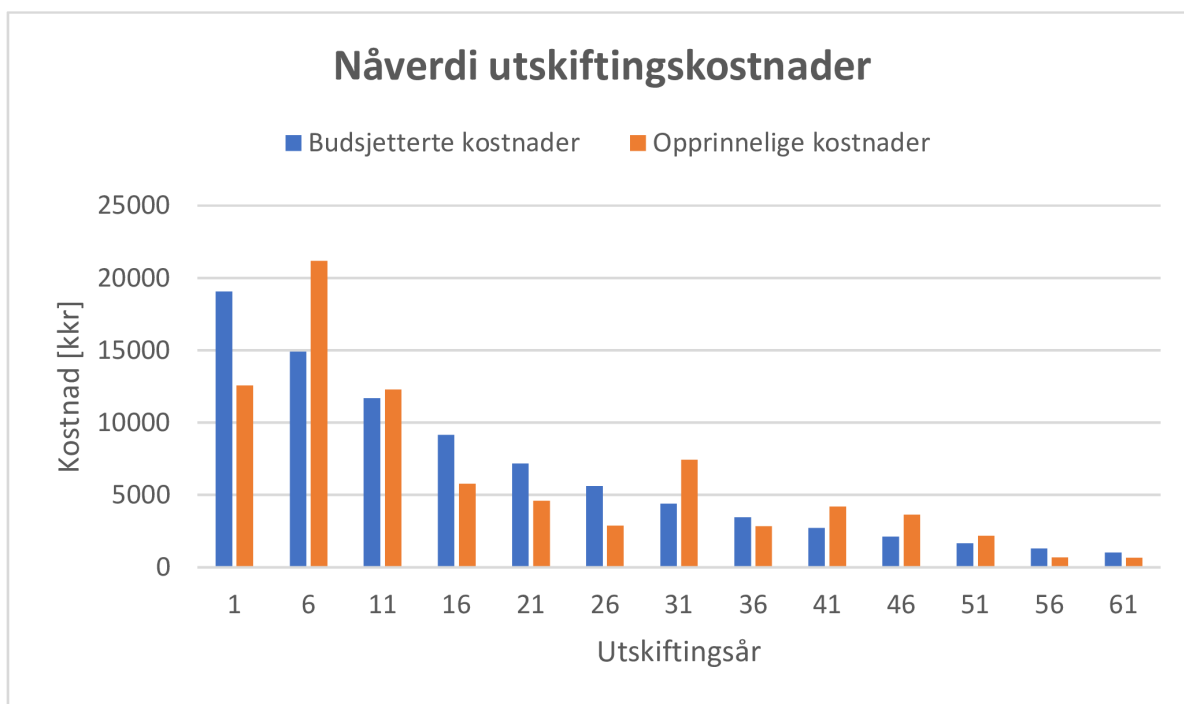


Figur 7.7: Utskifting av antall master for alle grunnforhold med antatt ulik levetid.



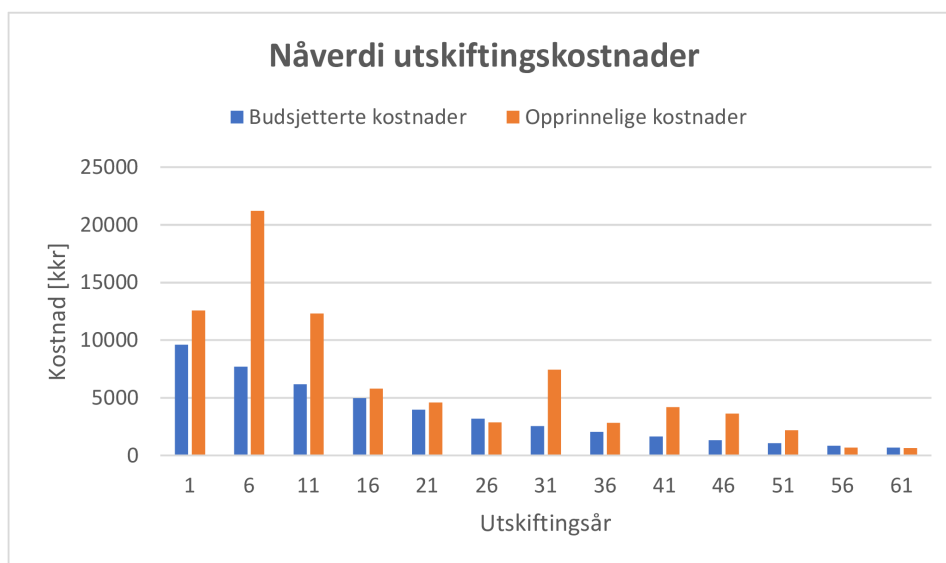
Figur 7.8: Utskiftingskostnad av master for alle grunnforhold med antatt ulik levetid.

Samme muligheten dukker også opp i dette scenarioet knyttet til miljømessige forhold og geografisk posisjon. Spesielt for dette scenarioet er det fordelingen av utskiftingen som er interessant, og det kan, rent hypotetisk, knyttes opp mot et budsjett. Budsjetter for videre år kan variere eller være konstant. Ut ifra ressurser tilgjengelig er det mulig å se om de tenkte planene er realistiske eller ikke. Sammenlignes de med et hypotetisk budsjett på 20 millioner, blir fordelingen som vist i Figur 7.9. Figuren viser at dersom noen tiltak fremskyndes til det første året, er det mulig å holde seg innenfor dette budsjettet.



Figur 7.9: Utskiftingskostnad (nåverdi) av master sammenlignet med budsjett på 20 millioner.

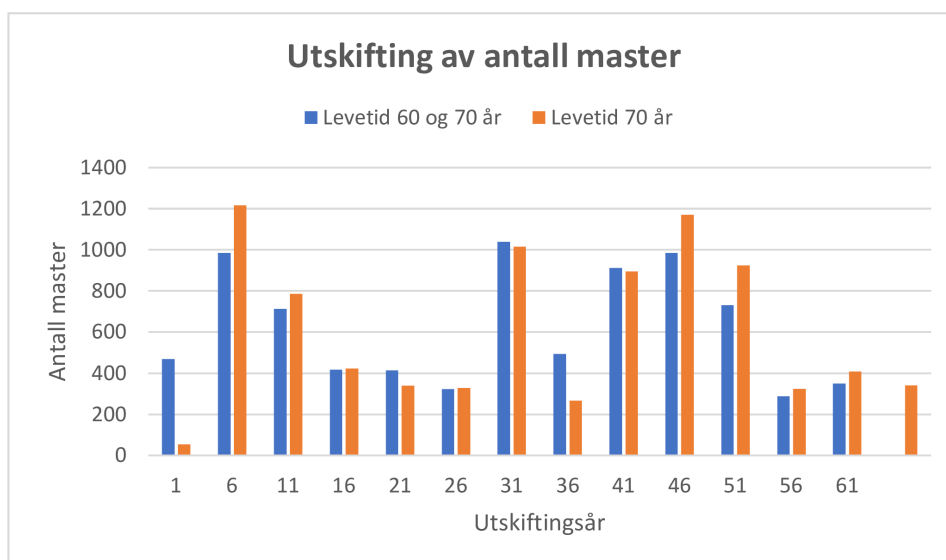
Settes grensen på 10 millioner oppstår det større utfordringer. Her er sannsynligheten for svikt større siden flere master ikke blir skiftet ut til estimert tid. Dette bidrar til at nettselskapene må prioritere alternative løsninger. Det kan være å forsøke å bruke mer penger på akkurat denne posten. Utskiftingskostnaden sammenlignet med budsjett på 10 millioner er vist i Figur 7.10.



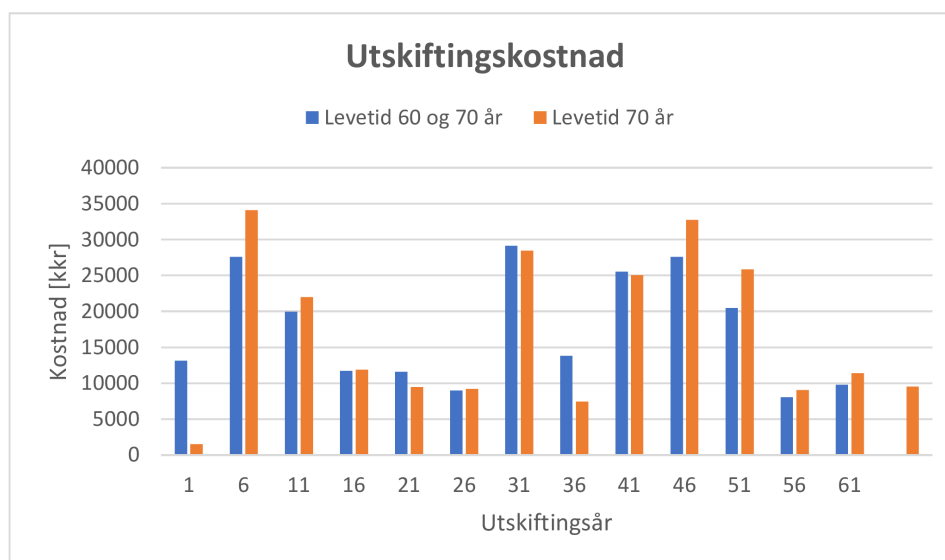
Figur 7.10: Utskiftingskostnad (nåverdi) av master sammenlignet med budsjett på 10 millioner

7.2.3 Scenario 3: Alle master, samme alder

Scenario 3 handler om hvordan fordelingen kan endres ved ulik antagelse. Dersom det videre antas at alle master skiftes ut etter 70 år, gir dette en endring av master som må skiftes ut det første året. Figur 7.11 viser at det da vil være flere master som må skiftes ut etter fem år, og forskjellen er at tiltak da blir forlenget med fem år. Kostnad knyttet til de ulike utskiftingene er vist i Figur 7.12. Det er hensiktsmessig å sammenligne hvordan kostnadene endres.



Figur 7.11: Utskifting av antall master for alle grunnforhold med antatt lik og ulik levetid.



Figur 7.12: Utskiftingskostnad av master for alle grunnforhold med antatt lik og ulik levetid.

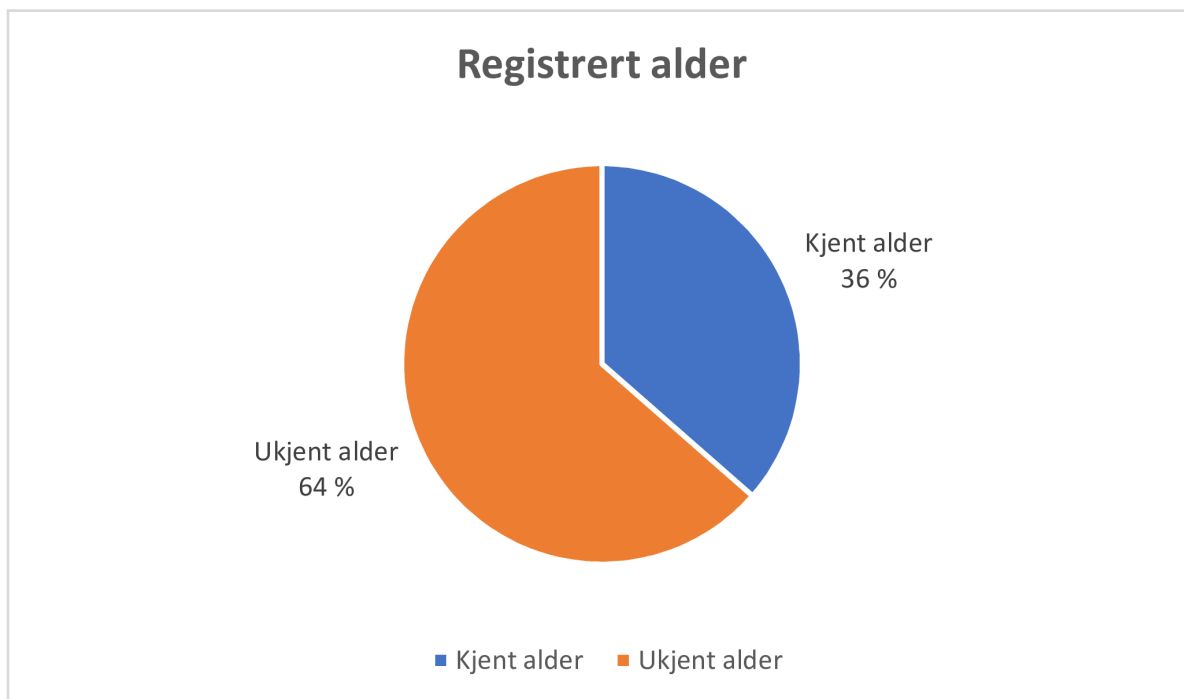
7.2.4 Samlet vurdering

De tre scenarioene bidrar til å gi et bilde over utskiftingene som kan være forventet i løpet av de kommende årene. Med antagelsene gjort i denne casen er det forventet at det kommer en utskiftingsbølge i løpet av kort tid. Scenario 3 synliggjør effekten av endringer for de ulike parameterne i forbindelse med levetid og utskiftingskostnad. Selv om levetiden blir ulik, er likevel mange av mastene 65 år gamle. Selskap har dermed mulighet til å ligge i forkant ved å kontrollere de berørte mastene opp mot utførte råtekontroller, og eventuelt utføre nye kontroller.

Det å skifte ut kun enkelte master, kontra full reinvestering av et nett, blir en helt annen vurdering. Her er det tilstanden og miljøpåkjenningene for et enkelt linjestrekk som er viktig, og denne casen vil ikke gi et godt svar på om et helt linjestrekk bør skiftes ut eller ikke. Dette aspektet berøres i Case 2.

Usikkerhet

Da datakilden har en del mangler, er det knyttet usikkerhet til denne casen. Resultatene vil være riktige, men alle mastepunktene er ikke mulig å benytte seg av. Figur 7.13 viser at 64 % av alle mastene ikke har registrert alder. Dette er et høyt antall og for beslutninger er ikke dette god nok datakvalitet.



Figur 7.13: Oversikt over registrert alder for 23669 master.

7.3 Case 2 - Resultat og bruk av økonomisk analyse

Det kan være ulike kriterier basert på for eksempel risiko, mye feil- og avbrudd samt dårlig tilstand som ligger til grunn for at det blir bestemt å utføre reinvestering eller fortsette vedlikehold. For et linjestrekk står valget ofte mellom å reinvestere et helt linjestrekk eller å skifte ut enkeltkomponenter. Det er valgt å bruke data som har blitt gjort tilgjengelig fra prosjektet REPLAN. Målet med denne casen er derfor å vise hvordan slik data kan visualiseres for bedre beslutningstaking.

7.3.1 Visualisering av resultat fra prosjektet REPLAN

Bakgrunnsdata og informasjon er hentet fra Ref. [52]. Det er i denne rapporten samarbeidet med prosjektet REPLAN. Med mindre annet er oppgitt, er informasjon i dette delkapittelet hentet fra denne rapporten. REPLAN-prosjektet omhandler optimal fornyelsesbefaring og økonomisk analyse.

Gjennom REPLAN-prosjektet er det utarbeidet en veileder for fornyelsesbefaring av 22 kV linjer og et kontrollskjema for mastepunkt. I kontrollskjemaet blir tilstanden delt inn i fem klasser, som vist i Tabell 2.1. Veilederen viser detaljert hvordan karakterene skal settes og hvordan ulike tester og vurderinger skal utføres. Tabell 7.3 bygger på Tabell 2.1, men det er lagt inn tilhørende utskiftingstidspunkt for de ulike karakterene.

Tabell 7.3: Beskrivelse av ulike tilstandskarakterer med tilhørende utskiftingstidspunkt [52].

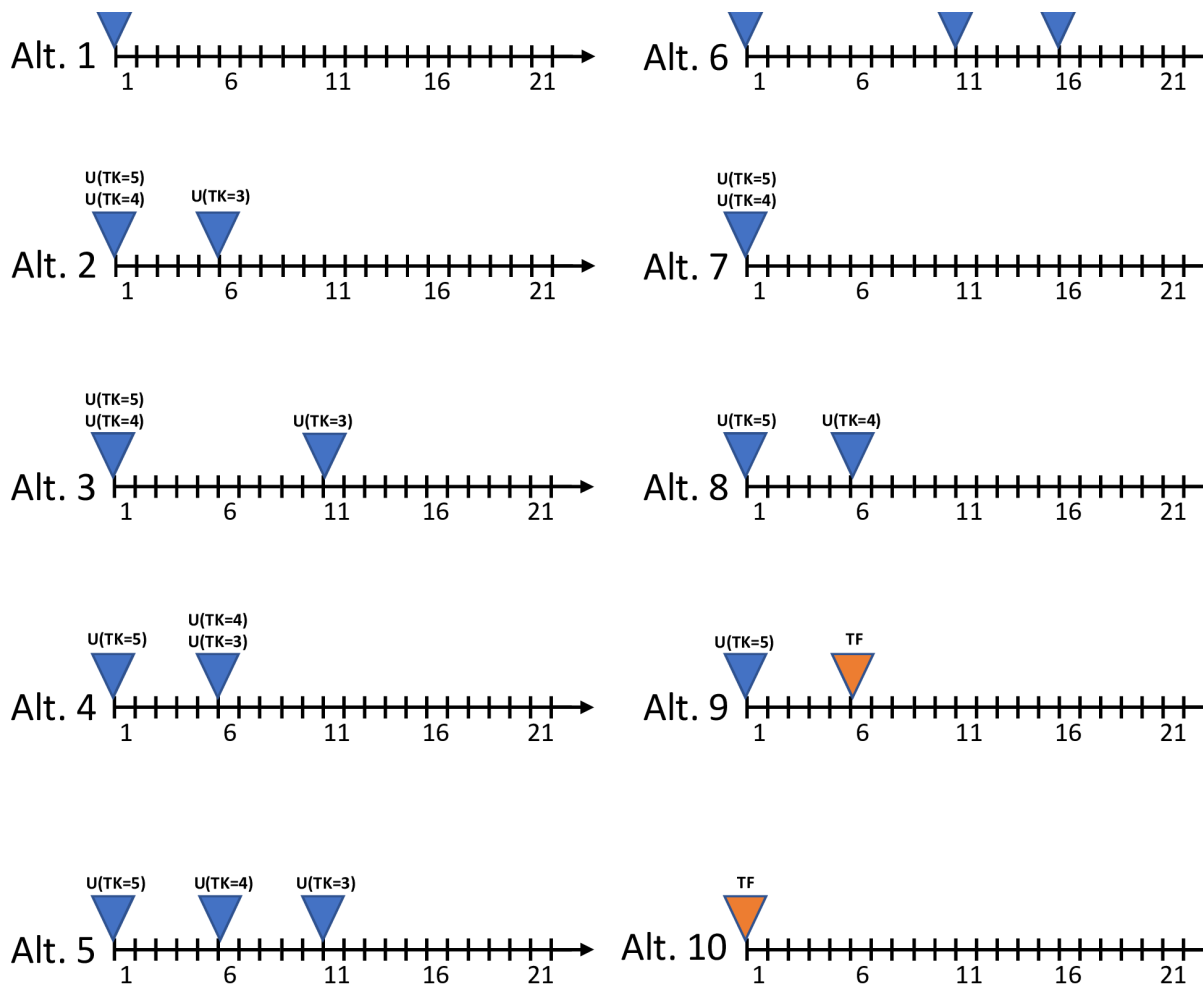
TK=1	Ingen tegn til svekkelse
TK=2	Noe tegn til nedbryting; men ikke nødvendig med utskifting i analyseperioden (20 år)
TK=3	Utbredt tegn til nedbryting; utskifting aktuelt i år 6 (U6) og utføres senest i år 11 (U11)
TK=4	Tilstanden er kritisk; utskifting aktuelt i år 1 (U1) og utføres senest i år 6 (U6)
TK=5	Enheten kan ikke utføre krevd funksjon (feil) og utskifting må utføres i år 1 (U1)

I denne casen tas det utgangspunkt i en linje som ble bygget i 1957/1958 med en lengde på 4,2 km. Linjen inneholder 41 mastepunkter, 7 nettstasjoner og 55 kunder. Makslast er cirka 150 kW, består av 100 % husholdning og linjen er lokalisert på en øy. Aggregerte tilstandskarakterer fra befarings utført er vist i Tabell 7.4.

Tabell 7.4: Aggregerte tilstandskarakterer per komponenttype for linjen.

TK	Stolpe	Fundament	Travers	Bardun	Isolator	Line	Oppheng	SUM	Prosent
TK=1		41	9	8	23	41	40	162	63,53
TK=2	40							40	15,69
TK=3	1		16	1				18	7,06
TK=4			16		18		1	35	13,73
TK=5									0
SUM	41	41	41	9	41	41	41	255	100

Denne rapporten vil ikke gå detaljert inn på den økonomiske analysen som er utført, men i REPLAN prosjektet er det sett på ti ulike fornyelsesalternativ som er vist i Figur 7.14. De åtte første alternativene er knyttet til kostnaden for å bytte ut enkeltkomponenter i forskjellige år. De to siste alternativene går på total fornyelse.



Figur 7.14: Alternativer med tilhørende utskiftingstidspunkt.

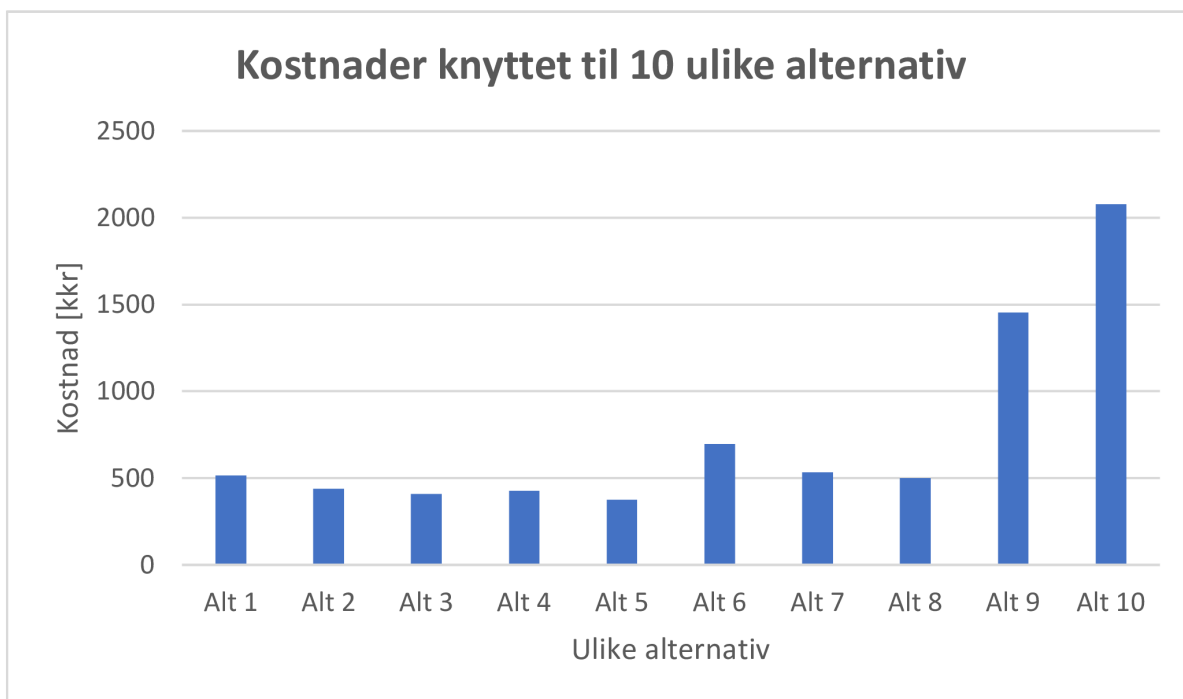
Figur 7.15 viser den økonomiske analysen som er utført. Kostnadene er knyttet til hvert alternativ med tilhørende kostnad for tiltakene og kostnad for svikt/feil (reparasjonskostnad, KILE-kostnad og tapskostnader). Hovedresultatet fra denne analysen er at det er rimeligere å skifte ut enkeltkomponenter istedenfor total fornyelse av linjenettet. I tillegg vises det at alternativ 5 er det mest lønnsomme alternativet for utskifting av enkeltkomponenter.

Prosjekt		Engvik-Storvik								Første år i analyseperioden (20 år)		2020	
Resultat fra fornyelsesbefaringen (antall forekomster)		St	Fu	Ba	Tr	Is	Op	Li	Gj	Kalkulasjonsrente (% p.a.)		4,5	
										E-mast i jord	Antall	Σ mast	
TK=5		0	0	0	0	0	0	0	0	E-mast på fjell	5		
TK=4		0	0	0	16	18	1	0	0	H-mast i jord	12		
TK=3		1	0	1	16	0	0	0	0	H-mast på fjell	2		
TK=2		40	0	0	0	0	0	0	0	Dobbel A-mast i jord	0		
TK=1		0	41	8	9	23	40	41	0	Dobbel A-mast på fjell	0	41	
Uten TK		0	0	0	0	0	0	0	0	Antall km luftledning	4,2		
Sum		41	41	9	41	41	41	41	0	Antall km jordkabel	0,0		

Kostnader (kr)		Planlagte tiltak						Svikt/feil					
		FV	U1	U6	U11	U16	KILEv	Rep.	KILE	Tap	Sum	%	kr
Alt. 1	TK=5 (U1), TK=4 (U1), TK=3 (U1)	6 543	414 236	0	0	0	0	5 345	2 089	87 078	515 291	137	139 021
Alt. 2	TK=5 (U1), TK=4 (U1), TK=3 (U6)	7 802	242 568	92 968	0	0	0	5 345	2 089	87 078	437 851	116	61 581
Alt. 3	TK=5 (U1), TK=4 (U1), TK=3 (U11)	9 304	242 568	0	54 966	0	0	9 920	5 076	87 078	408 912	109	32 642
Alt. 4	TK=5 (U1), TK=4 (U6), TK=3 (U6)	7 802	0	274 438	0	0	0	31 573	25 082	87 078	425 974	113	49 704
Alt. 5	TK=5 (U1), TK=4 (U6), TK=3 (U11)	9 304	0	160 705	54 966	0	0	36 148	28 068	87 078	376 270	100	0
Alt. 6	TK=5 (U1), TK=4 (U11), TK=3 (U16)	9 304	0	0	95 014	0	0	278 046	225 939	87 078	695 381	185	319 111
Alt. 7	TK=5 (U1), TK=4 (U1)	9 304	242 568	0	0	0	0	118 382	75 877	87 078	533 209	142	156 939
Alt. 8	TK=5 (U1), TK=4 (U6)	9 304	0	160 705	0	0	0	144 610	98 870	87 078	500 568	133	124 298
Alt. 9	TK=5 (U1), Totalfornyelse (U6)	0	0	1 321 742	0	0	0	26 229	22 993	83 734	1 454 697	387	1 078 427
Alt. 10	Totalfornyelse (U1)	0	1 995 036	0	0	0	0	0	0	82 149	2 077 186	552	1 700 916

Figur 7.15: Resultater fra fornyelsesbefaring og kostnadsberegning for linjen [52].

Kostnadene tilknyttet de ti alternativene er vist i Figur 7.16. Som figuren viser, er det ikke like stor økonomisk forskjell mellom alternativene for enkeltutskifting som for alternativene med total fornyelse. Som sagt er alternativ 9 og alternativ 10 totalfornyelse i henholdsvis år seks og år en.



Figur 7.16: Kostnader tilknyttet ti alternativer på linjen.

For ulike alternativer skiftes de ulike komponentene ut ved forskjellige tidspunkt. Fornyelsesalternativene er delt inn i to trinn [52]:

- **Trinn 1:** Hver komponent i et mastepunkt skiftes ut ved gitte utskiftingstidspunkt basert på tilstandskarakter.
- **Trinn 2:** Utskiftingstidspunktet blir for noen komponenter justert med tanke på å kombinere med samtidig utskifting av andre komponenter. Når stolper skiftes ut, skiftes også fundament og bardun. For travers skiftes isolator og oppheng ut i tillegg, mens når isolator skiftes ut, skiftes også oppheng ut.

Antall komponenter og tidspunktet de skiftes ut på er vist i Tabell 7.5. I de seks første alternativene kan antallet variere noe, ut fra om for eksempel opphenget som byttes ut ved TK=4 er en del av en av traversene som byttes ut eller ikke. Det er antatt at de henger sammen i dette tilfellet. I de seks første alternativene blir 99 komponenter skiftet ut. I alternativ syv og åtte blir 50 komponenter skiftet ut. I alternativ ni og ti skiftes alle 255 komponenter ut.

Tabell 7.5: Antall komponenter som skiftes ut i løpet av analyseperioden på 20 år for de ti ulike alternativene.

	År 1	År 6	År 11	År 16	SUM
Alt. 1	99	0	0	0	99
Alt. 2	53	46	0	0	99
Alt. 3	53	0	46	0	99
Alt. 4	0	99	0	0	99
Alt. 5	0	53	46	0	99
Alt. 6	0	0	53	46	99
Alt. 7	50	0	0	0	50
Alt. 8	0	50	0	0	50
Alt. 9	0	255	0	0	255
Alt. 10	250	0	0	0	255

7.3.2 Valg av alternativ

Hovedvalget som må tas er om det bør gjøres en total reinvestering eller enkeltutskiftninger. I tilstandsvurderingene som er gjort, har mange komponenter TK=1 og TK=2. Derfor er det ikke i en analyseperiode på 20 år økonomisk lønnsomt å reinvestere hele nettet.

Videre er det usikkerhet knyttet til å ikke bytte ut komponenter. Det er forventet ny fornyelsesbefaring om fem eller ti år. Da vil komponentene få ny tilstand registrert. Derfor kan det være at spesielt komponenter med TK=3 ikke får en dårligere tilstand registrert dersom det utføres en fornyelsesbefaring etter fem år. I tillegg er det slik at for komponenter med TK=3, TK=4 eller TK=5 skal det tas fotografi av komponenten. Dersom det er tvil rundt resultatene er det greit å dobbeltsjekke disse.

For å ta en beslutning, må følgende spørsmål stilles: **Hvilke alternativ skal velges?**

Som nevnt tidligere i rapporten er det flere faktorer som har innvirkning på resultatet. Slike økonomiske analyser er interessante for å sette opp estimert kostnad. En slik kostnad blir sett opp mot andre prosjekter, for så å kunne velge tiltak. I tillegg avhenger det av hvor mye ressurser selskapet har tilgjengelig. Det kan være at det er ledig ressurser i enten år en, seks eller 11. Velges utskiftningene basert på tilstand er det 38 % av alle komponentene som skiftes ut i alternativ 1-5.

Dersom det antas at komponenter med TK=2 skiftes ut i år 20, blir analysen annerledes siden analysen har sett helt bort fra komponenter med TK=2. Det kan være rimelig å anta at komponenter med TK=2 blir TK=3 etter 20 år. I år 20 vil en da få 40 master som skal skiftes ut med tilhørende bardun og fundament. Dette er vist i Tabell 7.6, hvor tilfeldige grunnforhold er tatt med for å gi et innblikk i forventet levetid.

Tabell 7.6: Antall komponenter som har TK=2.

Type komponent	Antall
Stolper - Dyrket mark	20
Stolper - Stein	10
Stolper - Myr	10
Fundmanet	40
Bardun	8
SUM	88

Risikoaspekt

I forhold til risiko er sannsynligheten for svikt relevant. Ved å utsette utskifting, vil sannsynligheten for svikt øke. Da det ikke er gitt noe informasjon om risikoen i forbindelse med blant annet personsikkerhet, handler risikoen her mer om økonomisk risiko i form av reparasjonskostnad og KILE-kostnader.

For å finne sannsynligheten for svikt, antas det diverse verdier basert på utregninger gjort i REPLAN-prosjektet. Det er her kun sett på sannsynligheten for svikt i alternativ 1 og alternativ 5 da de er de to mest relevante og mest sannsynlige alternativene. Da det er snakk om ti alternativ, er det ut ifra Figur 7.15 mulig å velge noen av de mest lønnsomme alternativene og sammenligne de. Sannsynligheten for svikt i alternativ 1 er antatt å være ubetydelig i analyseperioden, mens sannsynligheten for at svikt inntreffer i alternativ 5 er større, som vist i Tabell 7.7.

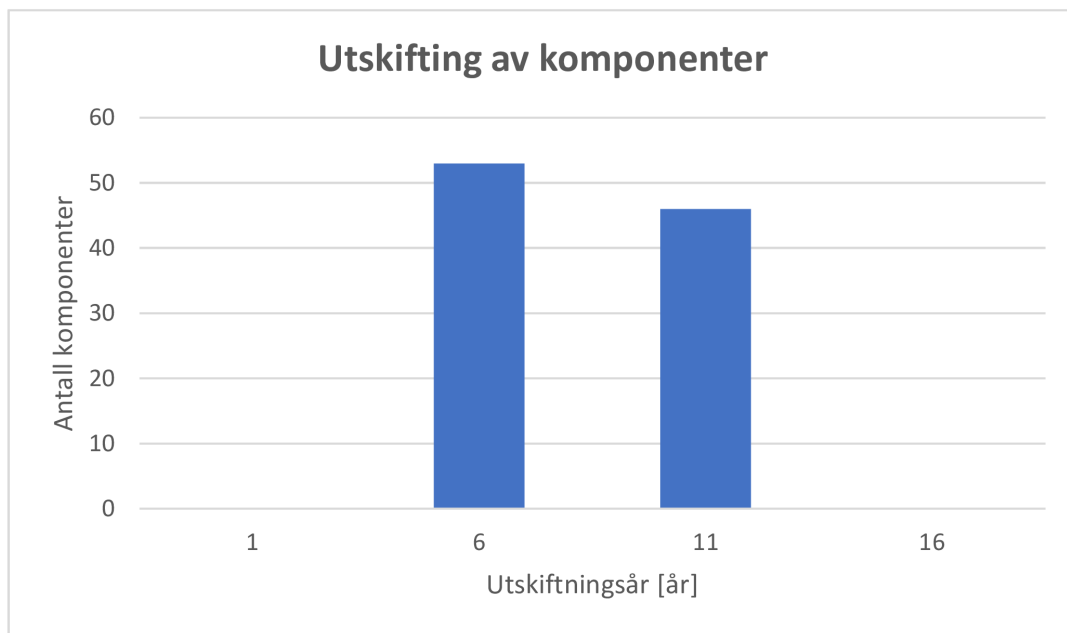
Tabell 7.7: Sannsynligheten for svikt for tiltak i år 6 (U6), år 11 (U11) og totalt for alternativ 5 i løpet av ti år.

År	U6	U11	SUM (U6+U11)
1	0,0001	0,0000	0,0001
2	0,002	0,0001	0,0021
3	0,012	0,006	0,018
4	0,03	0,002	0,032
5	0,05	0,004	0,054
6	0,0000	0,008	0,008
7	0,0000	0,01	0,01
8	0,0000	0,018	0,018
9	0,0000	0,023	0,023
10	0	0,097	0,0297
SUM	0,0941	0,1008	0,1948

I løpet av en 20-årsperiode vil sannsynligheten for svikt stige for alternativ 1, men antas ikke å være betydelig. Summeres alle 20 årene blir sannsynligheten 0,00833 (kommer av at sannsynligheten for svikt stiger mot slutten av analyseperioden) som, i motsetning til 0,1948 for alternativ 5, er lavt. Sannsynligheten er en del av den økonomiske risikoen som er vist i Figur 7.15. Om denne økonomiske risikoen er akseptabel, avhenger av hvilken grense selskapene har satt.

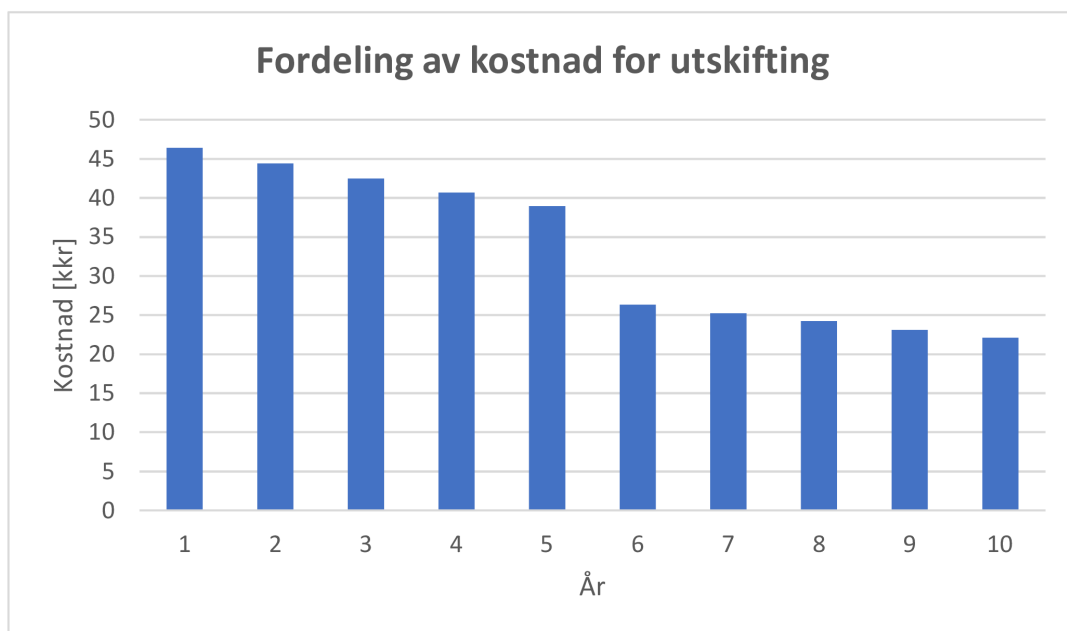
7.3.3 Visualisering av alternativ 5

Dersom alternativ 5 er den løsningen som skal benyttes, er det viktig å lage en plan over når investeringene skal gjøres i løpet av årene. Figur 7.17 viser antall komponenter som må skiftes ut.



Figur 7.17: Utskifting av antall komponenter for alternativ 5.

I casen er det ikke sett på hvert enkelt år. Derfor er det mulig å visualisere hvordan kostnaden eventuelt kunne blitt fordelt. Likevel er det ofte mest optimalt å skifte flere komponenter på en gang når det er mulighet til det. Figur 7.14 viser utskiftingskostnad for komponenter med $TK=4$ og $TK=3$. Ved hjelp av nåverdimetoden med diskontering, viser Figur 7.18 en fordeling av kostnadene. Som i Case 1 er det antatt diskonteringsfaktor på 4,5 %.



Figur 7.18: Kostnadsfordeling for planlagte utskiftinger i løpet av en tiårsperiode for alternativ 5.

7.3.4 Oppsummering

For å oppsummere casen knyttes metoden til Figur 2.3. Linjenettet i denne casen ble plukket ut for fornyelsesbefaring siden strekket ble bygget så tidlig som i 1957/1958. Det ble utført en grundig fornyelsesbefaring basert på prosedyrer for hvordan befaringen gjennomføres. Deretter ble det gjort analyser for å finne ut om utskifting av enkeltkomponenter eller hele linjestrekket er mest lønnsomt. Etter at de ulike alternativene er analysert, må det tas en beslutning. Visualisering vil støtte opp en slik beslutning. Ulike aspekter rundt slik beslutningstaking er som følger:

1. Ta valg om enkel- eller totalutskifting. Undersøk konsekvensen av å velge enkelutskifting. Selv om totalutskifting er dyrere, kan det vise seg at det er mest gunstig siden mange komponenter har $TK=2$. Visualiseres blant annet ved hjelp av grafer og tabeller.
2. Dersom enkelutskifting er tilfellet, velg ut et par av alternativene og sammenlign kostnaden. Visualiseres i grafer.
3. Undersøk hvor mange komponenter som må skiftes ut for de ulike alternativene. Visualiseres i tabeller.
4. Sjekk hvilket alternativ som har akseptabel økonomisk risiko og sannsynlighet for svikt. Visualiseres i tabeller.
5. Velg alternativ. Lag en oversikt over antall komponenter som skal skiftes ut og fordel kostnadene. Visualiseres i grafer.

Heller ikke i denne casen tas det med konsekvenskriteriet personsikkerhet. Dette konsekvenskriteriet blir vist i Case 3.

7.4 Case 3 - Prioritering basert på personsikkerhet

Det kommer i spørreundersøkelsen (Kapittel 8) frem at det ofte er utfordrende å bestemme i hvilken rekkefølge de ulike tiltakene skal gjennomføres. En måte å løse en slik utfordring på, er ved å prioritere ulike tiltak basert på ulike konsekvenskriterier. En viktig faktor for nettselskapene er risiko, hvor også tilstanden til en komponent spiller stor rolle. Ved hjelp av risikoindikatorer får en bruker en oversikt over de kritiske komponentene i anlegget.

Som tidligere nevnt er det flere konsekvenskriterier, som vist i delkapittel 2.1.1, og i denne casen tas det utgangspunkt i følgende kategorier:

- **Økonomi**
- **Personsikkerhet**
- **Omdømme**
- **Leveringskvalitet**

Visualisering av risiko kan gjøres på flere måter. Det brukes ofte en risikomatrix som vist i nevnte delkapittel 2.1.1. Matrisen kan brukes til å dele inn i delene *Liten risiko* (grønt felt), *Medium risiko* (gult felt) og *Stor risiko* (rødt felt). Dersom tiltak iverksettes, er det interessant å visualisere hvor mye risikoen synker.

7.4.1 Eksempel: Råteutvikling i stolpe

Forskrift om sikkerhet ved arbeid i drift og elektriske anlegg (FSE) [53] gjelder for montører og andre som jobber ute i felt. Det er i denne casen antatt at det er flere stolper som har fått påvist råteskade, som fører til større sannsynlighet for svikt. Derfor er dette stolper som med tiden skal skiftes ut siden det, først og fremst, kan medføre skade på montører som klatrer i masten. Person- og personalsikkerhet er den høyeste rangerte risikokategorien og selskapene har stort fokus på personsikkerhet for egne ansatte og for tredjeperson.

I denne casen vises det et eksempel på hvordan visualisering kan bidra til bedre beslutningsstøtte med tanke på risiko. En stolpe vil ha flere skadetyper som kan føre til svikt, hvor en av de mest fremtredende er råteskade. I denne casen følges metoden i Ref. [54] for å gjennomføre en risikoanalyse ved hjelp av en risikomatrix. Metoden er basert på teori presentert i Kapittel 2.1.1. Tilknyttet svikt grunnet råteskade i en stolpe, er det to uønskede hendelser:

1. Mast svikter med montør i stolpen
2. Mast svikter uten montør i stolpen

Dette er ikke en oppgave som skal berøre risikoanalyse i stor grad, men den skal heller vise hvordan visualisering av risiko kan brukes som beslutningsstøtte. Oppgaven skal ikke komme med anbefaling til verdier på en skala for konsekvensen for uønskede hendelser og sannsynlighet for uønskede hendelser med gitt konsekvens. Ref. [54] viser et eksempel for skala for sannsynlighet og konsekvens. Dette eksempelet er vist i Tabell 7.8.

Tabell 7.8: Eksempel på skala for konsekvens/sannsynlighet med forklaring [54].

Type	Skala	Forklaring
Sannsynlighet	Svært sannsynlig	Oftere enn 1 gang/år
	Sannsynlig	1 gang per 1-10 år
	Mindre sannsynlig	1 gang per 10-100 år
	Lite sannsynlig	1 gang per 100-1000 år
	Usannsynlig	Sjeldnere enn 1 gang per 1000 år
Konsekvens	Ubetydelig	Ingen personskade
	Mindre alvorlig	Mindre personskader
	Alvorlig	Til dels alvorlige personskader med sykefravær
	Svært alvorlig	Alvorlige personskader med sykefravær for en eller flere
	Katastrofal	1 eller flere døde eller uføre, mange personskader

Videre blir risikoen vurdert sammen med konsekvensen for de uønskede hendelsene med tilhørende sannsynlighet for at hendelsene inntreffer. Et forslag til risikomatrix er vist i Figur 7.19. Konsekvens har fått verdien *katastrofal* for hendelse 1 og *svært alvorlig* for hendelse 2. Den tilhørende sannsynligheten for at hendelsene inntreffer er *sannsynlig* for hendelse 1, mens sannsynligheten er *lite sannsynlig* for hendelse 2. Det er stor risiko i å klatre i en mast hvor det er observert råteskade. Risikoen er noe mindre når en person oppholder seg i området rundt masten. Det kommer an på graden av råteutvikling, men det er antatt at det er uforsvarlig å klatre i masten og montører får ikke sikkerhetsklarering.

Konsekvens Sannsynlighet	Ubetydelig	Mindre alvorlig	Alvorlig	Svært alvorlig	Katastrofal
Svært sannsynlig					
Sannsynlig					Hendelse 1
Mindre sannsynlig					
Lite sannsynlig				Hendelse 2	
Usannsynlig					

Figur 7.19: En 5x5 risikomatrix for to ulike hendelser for konsekvenskriteriet personsikkerhet.

For hendelse 1 er dette en uakseptabel risiko. Det er videre to alternativ for å redusere risikoen for personsikkerhet:

1. Tiltak 1: Klatreforbud i mast til utskifting blir utført.
2. Tiltak 2: Utskifting av mast

Vedlikehold kunne vært et alternativ på komponenter hvor små rehabiliteringer er mulig, men for en stolpe er det bedre å skifte ut hele stolpen når råten likevel har oppstått. Dersom tiltak 1 blir gjennomført, vil hendelse 1 få mindre risiko knyttet til seg, men vil likevel havne i gult område. Risikoen for hendelse 2 vil ikke endre seg. For tiltak 2 vil både risikoen for hendelse 1 og hendelse 2 være lav, og havne innen grønt område. Dette er visualisert i Figur 7.20.

Konsekvens Sannsynlighet	Ubetydelig	Mindre alvorlig	Alvorlig	Svært alvorlig	Katastrofal
Svært sannsynlig	Yellow	Red	Red	Red	Red
Sannsynlig	Green	Yellow	Red	Red	Red (Hendelse 1)
Mindre sannsynlig	Green	Green	Yellow	Red	Red
Lite sannsynlig	Green	Green	Green	Green (Tiltak 1) Green (Hendelse 2)	Red
Usannsynlig	Green	Green	Green	Green (Tiltak 2)	Yellow

Figur 7.20: En 5x5 risikomatrix for to ulike hendelser og to ulike tiltak for konsekvenskriteriet personsikkerhet.

For konsekvenskriteriet personsikkerhet vil det lønne seg å gjennomføre tiltak 2 dersom risikoen skal bli akseptabel. For konsekvenskriteriene økonomi og leveringskvalitet vil det kun være en hendelse, og det er at masten svikter. For både økonomi og leveringskvalitet, avhenges den totale risikoen for hendelsen av hvor i distribusjonsnettet masten er plassert. Økonomi er knyttet til utskiftingskostnader og KILE-kostnader (planlagte og ikke planlagte), mens leveringskvalitet er mer knyttet til kvalitet på leveringen i henhold til gitte kriterier. For selskapets omdømme er det et ønske om å minimere skader og ulykker. Derfor vil risikoen for omdømme være sterkt knyttet til risikoen for personsikkerhet i dette tilfellet.

I dette tenkte eksempelet antas det at en risikomatrix for økonomi, leveringskvalitet og omdømme er laget med gitte kriterier for hendelsen at masten svikter. Dersom både risikoen knyttet til økonomi og leveringskvalitet i tillegg er høy, vil en slik risikomatrix bidra til å forsterke inntrykket av at denne stolpen bør skiftes ut. Etter at en risikoanalyse er gjennomført, skal det utarbeides skriftlig dokumentasjon [54].

7.4.2 Prioritering basert på risikoindikator

For å prioritere ulike tiltak som skal iverksettes, trengs det ofte en metode å prioritere på. Det å gjøre en samlet risikovurdering basert på flere risikomatriser er ofte utfordrende. Dette siden det er flere hendelser som kan inntreffe, og at det er en blanding av kvantitative og kvalitative vurderinger. Det er her vist tre eksempler på hvordan prioriteringer kan gjøres. Siden risikokriteriene ofte ikke er helt sammenlignbare, er derfor ikke alle tre alternativene å anbefale. De tre alternativene er som følger:

1. Risiko knyttet til kriteriet med høyest risiko.
2. Risiko knyttet til gjennomsnitt av alle kriteriene.
3. Vektet risiko med hensyn til brukerens preferanser.

De første to alternativene belager seg på at det blir en slags tallfesting av risiko. En mulighet er å gjøre om 1 poeng til liten risiko, 2 poeng til medium risiko og 3 poeng til stor risiko basert på gul, grønn og rød farge i risikomatrisen. Ref. [54] peker på at dette kan gi feil bilde på graden av risiko da det egentlig er svært ulineære skalaer. Det er mye større forskjell på stor- og medium risiko, enn på liten- og medium risiko.

Med tanke på vektning, vil ofte det naturlige være å vekte personsikkerhet høyest. En utfordring vil være å prioritere i hvilken rekkefølge tiltak skal gjennomføres. Det må ofte gjøres en vurdering av størst risiko knyttet til flere konsekvenskriterier enn personsikkerhet. I tillegg kan det være forskjeller på reinvestering og vedlikehold. Av stolper er det som sagt ikke gunstig med vedlikehold (bedre med utskifting), mens vedlikehold kan være mer sentralt på andre komponenter.

Risikomatrise er kun et presentasjonsverktøy og det å kunne automatisk prioritere løsninger er utfordrende. Det å bruke samme skala for sannsynlighet og konsekvens, vil gjøre sammenligninger enklere. Men det kan også være faktorer som myndighetskrav som også spiller inn. Det blir utfordrende å lage mange risikomatriser for hver enkel komponent, og noen kriterier må prioriteres.

Kapittel 8

Spørreundersøkelse

En spørreundersøkelse er utarbeidet for å få et innblikk i hvordan nettselskapene tenker i forhold til asset management, samt finne ut hvor langt de har kommet innen digitaliseringen. Hovedfokuset er på innspill av utført arbeid og på denne måten få verifisert noe av arbeidet i denne masteroppgaven. Definisjon på en spørreundersøkelse er som følger [55]:

”Spørreskjemaundersøkelser er betegnelsen på en gruppe av metoder for relativt strukturert datainnsamling ved hjelp av spørsmål og svar. Spørsmålene stilles til et relativt stort antall mennesker. Alle som blir spurt, svarer på tilnærmet samme sett av spørsmål.”

Spørsmålene har dreid seg rundt følgende tre deler:

- Del 1: Generelle spørsmål om asset management.
- Del 2: Spørsmål til skisser for det tenkte dashboardet.
- Del 3: Spørsmål knyttet til casestudiene.

Spørreundersøkelsen ble sendt ut til 14 nettselskap. 13 av disse selskapene er med i CINELDI og eposten ble sendt til personer som er tilknyttet forskningsprosjektet. Syv av disse personene var tilstede ved et webinar holdt i mars hvor deler av denne oppgaven ble presentert, mens de resterende seks er selskapenes kontaktpersoner for WP1. Den siste kontaktpersonen er fra et nettselskap som ikke er med i CINELDI. Av tidsmessige årsaker ble det anslått at svar fra cirka halvparten av nettselskapene ville gi et godt grunnlag.

Følgende nettselskap har svart på denne spørreundersøkelsen: *Eidsiva Nett, SFE Nett, Norgesnett, Istad Nett, NTE Nett, BKK og Nordlandsnett*. Disse selskapene blir behandlet anonymt i denne rapporten og er alle medlemmer av CINELDI. I tillegg til spørreundersøkelsen ble det gjennomført to intervjuer. Spørreskjemaet er vist i Vedlegg B og svarene vil bli presentert i dette kapitlet. Svarene fra spørreundersøkelsen er bearbeidet, men er basert på svarene fra alle syv nettselskapene. I spørreundersøkelsen ble det vist til skisser, som i etterkant har blitt justert og endret basert på svarene. Det ble gjort tydelig klart i undersøkelsen at en person tilknyttet asset management burde svare på spørsmålene.

8.1 Del 1: Generelle spørsmål

Det ble stilt et par generelle spørsmål i den første delen av spørreundersøkelsen. Oppsummering av spørsmålene med tilhørende svar er presentert i dette delkapittelet.

Nettselskapene ble i det første spørsmålet bedt om å rangere ulike kriterier for hovedmål for beslutningstaking. Flere skriver at det er vanskelig å rangere ulike mål, da viktigheten av faktorene ofte varierer og er basert på en helhetsvurdering for ulike komponenter. Men alle er enige om at HMS og spesielt personsikkerhet er viktige mål. Videre er økonomi, myndighetspålegg, tilstand, omdømme og leveringskvalitet viktige faktorer. Komponentenes alder viser seg å ikke være en viktig faktor.

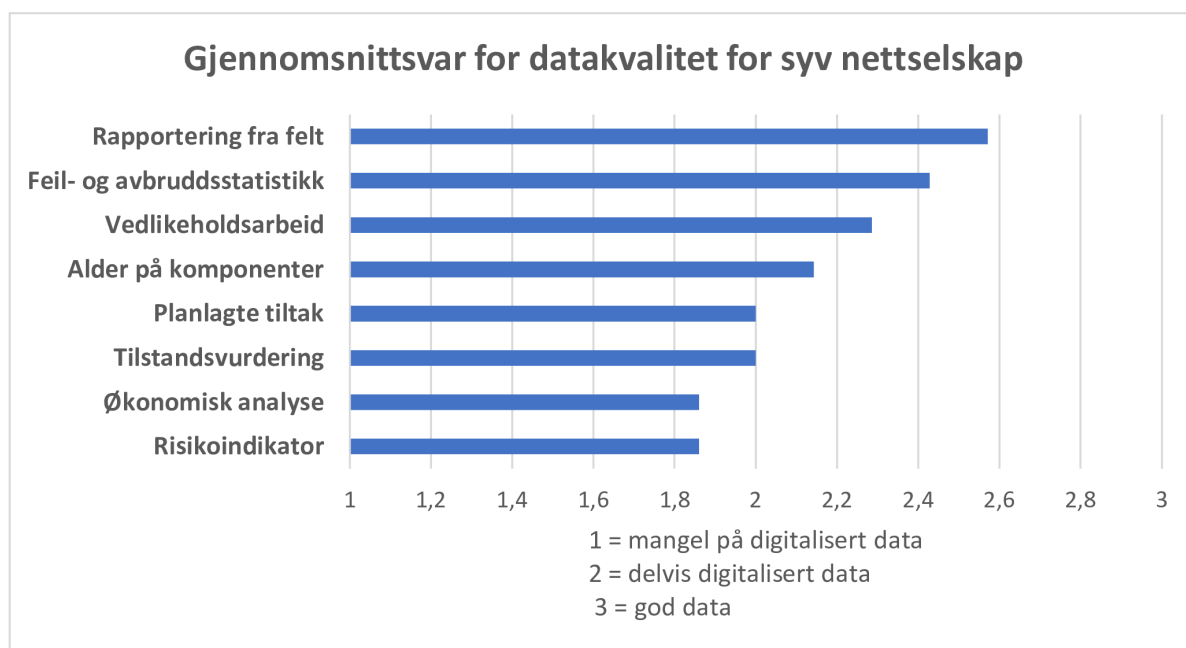
Spørsmål 2 handlet om hvilke verktøy nettselskapene benytter. Svarene indikerer at de har litt ulik praksis når det gjelder hvilke verktøy det brukes mest av for beslutningstaking for asset management. En gjenganger er at verktøyene Netbas og FASIT er i bruk hos de fleste. I tillegg er vedlikeholdssystem som Netbas vedlikehold ofte benyttet. Det vises også til befaringsrapporter etter tradisjonelle befaringer til fots eller med helikopter og tilbakemeldinger fra montører. De fleste nevner også manuelle analyser i Excel. Et nettselskap viser til en manuell oversikt i Excel over alle linjene i distribusjonsnettet. En slik oversikt inneholder fakta om linjene, type komponenter og en generell betraktning om tilstanden til hver enkelt linje basert på observasjoner og fotografier.

Når det gjelder planlagte verktøy/dashboard er det stort fokus på å utvikle egne små dashboard for diverse løsninger. Her bruker de Power BI og Excel som verktøy. Det går også videre på å utvikle allerede eksisterende verktøy som er knyttet til både feilstatistikk og befaringsresultat. Det er et stort fokus på fornyelsesbefaringer på anlegg som de mistenker ligger i grenseland for reinvestering. Dette for å vurdere reinvestering av en strekning, komponentutskifting eller kun fortsette med ordinært drift og vedlikehold.

Et dashboard har behov for å få innhente digitaliserte data som har brukbar datakvalitet. Nettselskapene ble bedt om å rangere åtte viktige faktorer som brukes som underlag for beslutningstaking. Rangeringen var som følger:

- 1 = Mangel på digitalisert data
- 2 = Delvis digitalisert data
- 3 = Digitalisert data

Gjennomsnittsvarene fra nettselskapene er vist i Figur 8.1 og er knyttet til disse faktorene: **Rapportering fra felt, feil- og avbruddstatistikk, vedlikeholdsarbeid, alder på komponenter, planlagte tiltak, tilstandsvurdering, økonomisk analyse og risikoindikator.** De seks første faktorene fikk en gjennomsnittssum på to eller høyere, mens økonomisk analyse og risikoindikatorer er faktorer hvor det er gjennomsnittlig minst digitalisert data.



Figur 8.1: Gjennomsnittssvar fra syv ulike nettselskap om datakvalitet for ulike faktorer.

Siste spørsmålet i denne delen av spørreundersøkelsen omhandlet nettselskapenes fokus på digitale løsninger og hvordan de anser deres fokus på arbeid mot digitaliseringen sammenlignet med andre nettselskap fra 1-3. Tre nettselskap valgte å gi høyeste karakter, mens to valgte å gi middels karakter. To nettselskap valgte å ikke svare.

8.2 Del 2: Kommentarer til skisse

I del 2 av spørreundersøkelsen ble skisser til det tenkte dashboard vist. Hensikten til denne delen var å få innspill og kommentarer. Det kom flere kommentarer på at det var et ryddig og oversiktlig oppsett med kart, bilder og komponenter. Det kom også flere innspill og drøftinger som er presentert i følgende punkter:

- En ekstra informasjon kan være enten estimert levetidsbasert eller tilstandsbasert fornyelsesår på komponenten. Videre er det sentralt å ha med nok informasjon om enkeltkomponenter som alder, egenskaper, typenavn og dokumentasjon. I tillegg bør det være med informasjon om hvilke delkomponenter som er en del av en hovedkomponent. Nettstasjon i mast er for eksempel oppbygd av flere delkomponenter som transformator, bryter, skap, masterarrangement og jording.
- utfordringene er ofte knyttet til å kunne rangere hvilke tiltak som skal iverksettes. I et årsbudsjett er det ofte begrensede midler, og det er ofte en utfordring å begrunne tiltak så nøyaktig og riktig som mulig. Videre er det viktig å kunne sortere ut diverse komponenter basert på risiko, og på den måten kun fokusere på de komponentene som har stor risiko. Et selskap viser også til en prioriteringsmodell for å prioritere prosjekt som allerede er

plukket ut for reinvestering. En slik modell behandler flere faktorer med ulike vektinger for å prioritere reinvesteringene. Vedlikeholdet er mer tilstandsstyrt, men det er ofte at vedlikehold blir utsatt dersom komponent likevel skal reinvesteres.

- Et nettselskap viser til en analysemodell med en risikobasert tilnærming basert på type avvik og KILE ved havari av komponenten. For reinvestering er dette utilstrekkelig, da det ikke blir gitt en god nok helhetsvurdering av et helt linjestrekk eller en trafokiosk. Det tenkte dashboardet er et godt supplement i så måte, men erfaringsmessig er det viktig å lære nettet å kjenne. Det tar tid å bygge erfaring om forskjellige komponenttyper og tilstandsvurderinger for å kunne vekte forskjellige linjer mot hverandre.

8.3 Del 3: Kommentarer til casestudiene

Del 3 baserer seg på kommentarer til de ulike casene. Også her ble nettselskapene informert litt om bakgrunnen for casene, samtidig som skisser av resultatene ble presentert.

8.3.1 Case 1

Når det gjelder nytteverdi av en slik case, er det forskjellige meninger. Flere er enige om at det gir en god pekepinn og oversikt, som kan nyttes i budsjettssammenheng. Det er mange forhold som spiller inn, men det må ofte gjøres mer grundige inspeksjoner i felt. Det ønskes ikke å bytte ut master før det er nødvendig.

Minuset med å se på en og en mast hver for seg, vil være at dette kan være mer korrektive tiltak i nettet der de dårligste mastene blir tatt ut. Det hender at det er betydelige forskjell i kostnader per mastepunkt kontra å reinvestere hele kretsen. Det kan oppstå et lappeteppes hvor personell må tilbake hvert år for å bytte master, istedenfor å bytte ut noen master for tidlig. For flere er det viktig å se hvert linjestrekk hver for seg for å få en oversikt, og ut ifra den oversikten ta en vurdering.

Når en stolpe er råttet og skal skiftes ut, hender det at hele masten skiftes ut. Som oftest er ikke dette tilfellet. For en H-mast kan de skifte ut kun en av stolpene i masten og for en E-mast kan de sette opp en ny stolpe ved siden av og flytte over resten av mastearrangementet. En samlet antagelse av levetid på 70 år (som i scenario 1 i case 1) kan gjøres, men det bør tas hensyn til alder på stolpene. Grunnet forskjell i impregnering, er det forskjellig levetid på ulike stolper.

8.3.2 Case 2

De fleste nettselskapene var mer eller mindre samstemte og mente at Case 2 var en interessant case. Det kom ikke mange kommentarer knyttet til denne casen. Flere nettselskaper sier at økonomiske analyser er veldig interessant. De fleste har enda en vei å gå med tanke på tilstandskarakterer, men noen jobber med lignende aktivitet og forsøker å samle erfaring på dette. Både Eidsiva Nett og Istad Nett har vært delaktige i REPLAN-prosjektet og har tatt med seg gode erfaringer fra dette prosjektet.

8.3.3 Case 3

Kontaktpersonene fikk presentert mål og motivasjonen bak en tenkt case. De fikk komme med forslag til problemstillinger for personsikkerhet, hvor en av disse ville være aktuelle for en case. Tre utvalgte forslag var som følger:

- Ulike typer brytere i nettet er uønsket på grunn av fare ved betjening. Dette kan for eksempel være mastemonterte brytere der det er kjent at isolatorer kan knekke.
- Et eksempel fra lavspenningsnettet er utskifting av kabelskap uten sikringer.
- Det blir gitt klatreforbud i stolper i de tilfeller de er antatt så dårlige at det er fare forbundet med å klatre i dem og de er klare for utskifting.

Et nettselskap skriver at komponenter ofte skiftes ut med hovedargumentet personsikkerhet, men også andre argument er viktig. Dersom personsikkerhet er eneste argumentet for utskifting, kan det i noen tilfeller være enklere å forby arbeid i det aktuelle anlegget og skifte når, eller dersom, noe svikter. For eksempel kan mast en enten skiftes ut med en gang, eller så er det mulig å gi klatreforbud. Det kan tilføyes at alle feil meldes inn, og i svært alvorlige tilfeller utbedres feil på stedet

8.4 Tilleggsinfo og avslutning av spørreundersøkelse

En spørreundersøkelse vil, mest sannsynlig, alltid inneholde mangler og informasjon som kan tolkes ulikt fra person til person. Derfor ble et helt åpent spørsmål stilt der de fikk mulighet til å komme med generelle kommentarer. Det er stor enighet om at å sammenstille ulike data vil ha en stor verdi fremover. De ser for seg å kombinere ulike eksterne databaser i den grad det er nyttig, som værddata, data som lynnedslag, bonitet, utbyggingsområder og så videre. Dette er muligheter som tidligere er diskutert i Kapittel 5 tilknyttet GIS-systemer. Videre påpekes det at det blir mye usikkerhet med tanke på kvaliteten på data. Mye av vurderingene er også erfaringsbasert, som kan føre til at ulike personer gjør ulike vurderinger. Derfor nevner et nettselskap at det jobbes mye med å gjøre bedre vurderinger for å estimere restlevetid.

Kapittel 9

Diskusjon

Dette kapitlet er delt inn i tre deler som er knyttet til de tre ulike hovedpunktene presentert i introduksjonen (delkapittel 1.1). Den første delen diskuterer et tenkt dashboard utarbeidet i Power BI. Den andre delen diskuterer de tre casene, mens den tredje delen diskuterer resultat fra spørreundersøkelsen. Resultat fra spørreundersøkelse tilknyttet de to første delene blir presentert i de tilhørende delene.

9.1 Dashboard for asset management

Kraftnettet blir eldre, samtidig som det skal investeres mye i regional- og distribusjonsnettet de neste årene. Dette medfører at selskapene har mindre ressurser tilgjengelig når det kommer til arbeidskapasitet og økonomi. Et aldrende kraftnett gjør at sannsynligheten for svikt er større. Digitaliseringen gjør det mulig å tenke alternativt, spesielt når tingenes internett, behandling av stordata og skylagring er så store trender. Ulike verktøy finnes i dag, som viser at potensialet for et dashboard er der. Visualisering i dashboard er langt fra en nyskapende idé og blir benyttet så ofte i dagliglivet at vi tar det litt for gitt. En slik visualisering samler ulike data og gir brukeren en oversiktlig plattform for informasjon.

9.1.1 Visualiseringens mål og nytteverdi

Målet med visualisering er å få et bedre beslutningsgrunnlag for reinvestering og vedlikehold. I den forbindelse brukes visualiseringen til å støtte opp om strategien for gjennomføring av vedlikehold og reinvestering som vist i Figur 2.3. Tilstandskontroller og vurderinger om tiltak skal ikke nedprioriteres, men resultatene fra disse kan tydeliggjøres med visualisering. Ulik visualisering vil ha stor nytteverdi for en beslutningstaker. I denne oppgaven er visualisering knyttet opp mot et tenkt dashboard. Dette må nødvendigvis ikke være et stort dashboard som inneholder data fra mange system; det er også mulig å visualisere utvalgte data i enkle verktøy som Excel.

Det å få på plass et dashboard krever mye kunnskap og vil kreve store ressurser. Dette medfører at kundene (her: nettselskaper) vet hvor de vil og er tydelige overfor en it-leverandør som skal sette opp et dashboard. Da det er mye arbeid som ligger bak det tenkte dashboardet, kan det diskuteres hvorvidt et slikt dashboard er nødvendig. Nettselskapene får en oversiktlig plattform med oversikt og informasjon om komponentene i kraftnettet og det er tidsbesparende å slippe å samle data fra ulike verktøy. Samtidig må de ha data på plass for å få til et slikt dashboard, samt gode tilstandskontroller og vurderinger knyttet til alternativ for tiltak, kan ikke unngås. Dette setter store krav til både datakvalitet og datatilgjengelighet.

Utfordringen vil være hvorvidt nettselskap kommer til å bruke et slikt dashboard. Det finnes nettselskap med betydelig større ressurser tilgjengelig enn andre. Hvor mye ressurser det kreves for å få til et slikt dashboard er uvisst. Men dersom et slikt dashboard blir prioritert kan det skje mye på kort tid. Erfaringen fra arbeidet med denne oppgaven er at flere nettselskaper har god oversikt og ulike måter å løse oppgavene på. Det er mye opp til subjektive vurderinger og det å kjenne sitt eget anleggsområde. Derfor vil et slikt dashboard være interessant for å skape god oversikt. Det antas at de fleste nettselskaper er fornøyde med måten oppgavene løses på i dag. Likevel vil det å samle all informasjon medføre lettere overgang hvis sentrale personer slutter i stillingen. I kraftbransjen er ofte trenden at ansatte har samme jobben i mange år, og selskapene er ofte svært avhengige av erfaringen og kunnskapen de har opparbeidet seg.

Selv om ikke it-delen av dashboardet har fått mye fokus i denne oppgaven, er det likevel en del spørsmål som må stilles med tanke på behandling og lagring av data. Nettselskaper kan enten lagre data lokalt, hos datasenterleverandør eller i skyen. Sikkerhet er nøkkelordet her, og det kan argumenteres for at firma som Microsoft har god erfaring innen dette området. Likevel skal data overføres utenfor Norges landegrenser. Med tanke på sikkerhet er det mer fornuftig å lagre data på egne servere, men dette blir ofte altfor dyrt. En mulighet er å lagre all sensitiv informasjon som selskapene ikke vil at andre skal få tak i på egen server, og lagre resten av informasjonen i nettskyen. Uansett må ulike analyser kjøres og lagres på en server, som videre må hentes inn til et dashboard.

9.1.2 Automatiske analyser

Det er i delkapittel 3.3 presentert ulike nivåer i et dashboard. Det å gå fra manuelle til automatiske analyser kan i fremtiden effektivisere prosessene, da det er svært tidkrevende å analysere svært mye data manuelt. I spørreundersøkelsen kommer det frem at det, blant annet, benyttes en risikobasert tilnærming for å prioritere i hvilken rekkefølge tiltak skal gjøres når områder/komponenter er valgt ut for reinvestering. For vedlikehold er denne tilnærmingen ikke like enkel, da den er mer tilstandsbasert og tiltakene ikke er så ressurs- og tidkrevende.

Selv om automatiske analyser kan gjøre hverdagen enklere, er det en del usikkerhet knyttet til slike analyser. For å kunne ta vurderinger er det ofte driftspersonells egne erfaringer som er utslagsgivende, og analysene som ligger bak automatiske modeller kan inneholde flere feilkilder. Det er for eksempel utfordrende å vekte de ulike faktorene i en reinvesteringsmodell som vist i Figur 3.7. Samtidig sikrer automatiske analyser at det ikke kun tas subjektive vurderinger. Driftspersonell kan vurdere samme komponent ulikt og her er det potensiale for mer standardiserte objektive analyser. Slike automatiske analyser og modeller er kun presentert, men det

legger grunnlaget for videre arbeid. I et slikt arbeid er maskinlæring vesentlig.

9.1.3 Oppbygging av dashboard

Det er flere relevante visualiseringsverktøy på dagens marked. Etter diskusjon med Powel og andre nettselskaper ble det besluttet å bruke Power BI som visualiseringsverktøy. De fleste selskap hadde fått opp øyene for dette verktøyet de siste årene, og mener det er et nyttig verktøy i fremtiden. Erfaringen fra arbeidet med denne oppgaven er at verktøyet er oversiktlig og brukervennlig. Hovedfordelen er at verktøyet kan kommunisere med flere ulike datakilder som databaser og Excel. Utfordringen er knyttet mot at det er stor mangel på gode kartformater sammenlignet med blant annet ArcGIS. I et kart er det interessant å dele inn i ulike områder, som er vanskelig med bruk av Power BI. Derfor vil Power BI fungere godt når det er snakk om å visualisere oversikter og rapporter, uten at hovedfokuset blir på kartet. Muligheten for visualisering i Power BI begrenses også av at det kun kan visualiseres 3500 datapunkt.

Dette arbeidet er et selvstendig arbeid og det legges opp til at det i det tenkte dashboardet kan hentes inn data fra ulike system. Allerede eksisterende system har vært med å gi innspill og inspirasjon, men i denne oppgaven er det ikke selve produktet som er målet. Målet er å presentere ulike skisser og forslag til visualisering. Derfor er det ikke tatt stilling til om alle funksjonene eksisterer eller ikke i dag. Et eksempel er de ulike vedlikeholdssystemene som er på markedet. I spørreundersøkelsen sier flere at de benytter Netbas vedlikehold, som er mer benyttet for drift og håndtering av vedlikeholdsavvik enn planlegging over en lengre periode. Det kan absolutt tenkes at noen av funksjonene i dette systemet passer for det tenkte dashboardet.

Hovedutfordringen med et dashboard er å skaffe oversikt over nødvendig informasjon. Det kan være så mye inngangsverdier som overhodet mulig, men dette vil bare være med på å skape rot i systemet. Derfor er prioriteringer helt avgjørende: Hvilke funksjoner for beslutningstaking er viktig, og hvordan skal disse prioriteres? Disse vurderingene er subjektive, og kan være opp til ulike personer. I oppgaven er det for enkelthetsskyld delt inn i tre sider: hovedsider, hjelpeside og tilleggs side, som er viktige deler av et dashboard. Som nevnt i delkapittel 3.1 vil dashboardet i praksis være mer dynamisk.

Hovedfaktorene i et dashboard bør være knyttet til komponentenes tilstand og risiko. Tilstanden sier mye om levetiden til en komponent, og gode analyser for tilstander kan være unnværlig. Dette innebærer implementering av sensorer, gode inspeksjoner og involvering av faktorer som alder og spenningskvalitet (i noen tilfeller). Det stilles dermed store krav til gode analyser, som ikke er fokusområdet i denne oppgaven. For risiko kan en risikomatrix benyttes for ulike konsekvenskriterier for ulike hendelser. Både tilstand og risiko kan bli vist i en prioriteringsliste i hovedsiden av dashboardet. For risiko kan det velges ut alle komponenter som har stor risiko for konsekvenskriteriet personsikkerhet (som vist i Case 3).

I et dashboard er det også andre sentrale faktorer. Dette involverer feil- og avbruddsstatistikk, økonomisk analyse, vedlikeholdsrapporter, kommentarer fra felt og planlagte tiltak. For et nettselskap med stort nettområde kan det være en lang arbeidsprosess å implementere all data i et slikt dashboard. Hvilke data som er relevante for de ulike nettselskapene kan variere, og det kommer også an på hvor mye data de har fra f r. Spesielt knyttes det utfordringer til digitaliserte data for eldre komponenter. Det vil være fornuftig å implementere fra analyser som allerede

finnes i dag, og bygge dashboardet sakte men sikkert opp. Her vil informasjon fra for eksempel Netbas og FASIT være nyttig.

Flere nettselskap hadde kommentarer til skissen. Det å komme med en kommentar til en skisse hvor ikke for mye informasjon ble presentert i forkant, kan være litt krevende. Dette medfører at kontaktpersonene kanskje ikke setter seg så godt inn i skissen da de ikke vet alle detaljene. Flere peker på estimering av levetid, som ikke er en enkel oppgave. Her er det flere faktorer som spiller inn. En annen viktig side ved dashboardet er måten prioriteringen blir gjort på og hvilke tiltak som skal iverksettes.

9.2 Casestudier

For casene er det spesielt aktuelt å diskutere antagelsene og nytteverdiene for visualiseringene. Alle casene er knyttet opp mot Figur 2.3 og skal støtte opp om denne strategien.

9.2.1 Case 1

Datagrunnlaget i denne oppgaven gir mulighet for å visualisere 23669 mastedata med tilhørende miljø- og mastedata. Det ble valgt å se på skadetyper råte og estimert alder for utskifting. Kun 36 % av all mastedata hadde registrert data, som er ganske mye. Om selskapet har registrert installerte år for flere komponenter i andre system, er uvisst. En analyse vil by på store utfordringer, da et så få antall master blir inkludert. Likevel er antall master som har registrert alder nok til å vise prinsippet med visualiseringen. Hele 13 % av alle mastene har stått i 65 år. Dette er et høyt antall master, og med en levetid estimert til cirka 70 år, vil det være mange master som er forventet at skal skiftes ut i nærmeste fremtid. Aldersfordelingen er et godt bilde på utfordringen selskapene står over for. Fra spørreundersøkelsen kommer det frem at det erfaringsmessig er ulik levetid knyttet til stolper. Eldre stolper har ofte lengre levetid enn nyere stolper og kan stå lengre. Siden det er registrert så mange eldre stolper, er det ikke sikkert at utfordringen med bølgen av aldrende stolper er så stor som sett på i denne casen. Men det er fornuftig å ta slike utfordringer på alvor, og forsøke å ligge i forkant ved å fordele tiltak utover årene.

Mange av disse mastene er plassert i enten dyrket mark eller jord, og det er forventet at det er større sannsynlighet for råteskade i disse områdene. Det å forhindre råteskade er en viktig del av selskapenes strategi. Det er i denne casen antatt at mastene skiftes ut basert på råteskader grunnet grunnforhold. Råte kan også utvikle seg i andre områder på masten. I scenario 1 er det kun sett på grunnforholdet dyrket mark, men som delkapittel 4.4 viser, er det også andre områder på en mast som råten utvikler seg i. I tillegg er det andre skadetyper enn kun råteskade som kan oppstå.

Det er også andre faktorer som spiller inn, men å lage komplekse modeller ut fra flere tenkte scenarioer, er ikke gjort. Det er i denne casen mulighet for å dele hele anleggsområdet inn i ulike områder. Det anbefales å dele interessante antagelser inn i grupper som gjort i Scenario 1 og vist i Figur 7.6. Det er mulig å filtrere ut ønskede master basert på all tilgjengelig miljø-

og mastedata. Flere selskaper registrerer allerede i dag utsatte-, mindre utsatte- og normale områder. Selskaper anbefales å verifisere områder opp mot feil- og avbruddsstatistikk for å undersøke hvor nøyaktige slike modeller er.

Det antas i denne casen at ved utskifting av en stolpe, så skiftes hele masten ut. Det kommer an på ulike konstruksjonsløsninger, men de fleste mastene består av flere stolper. Det blir dermed en vurdering om flere stolper skal byttes ut i en mast, avhengig av type mast. Ved å anta utskifting av en mast i stedet for enkelte stolper, vil det medføre en høyere reinvesteringskostnad enn det som er nødvendig. I tillegg registreres ikke ulike vedlikehold på de andre komponentene, som for eksempel at noen komponenter har vært igjennom en rehabilitering som gjør at de ikke trenger å byttes ut.

En oversikt over hvor mange master som må skiftes ut, vil gi en beslutningstaker mer oversikt over mastene i nettet. Det kan òg gi en indikasjon på hvor stor utskiftingskostnadene blir. Selv om det gir en indikasjon, er ikke kostnadene reelle. Prisen for å skifte ut flere master er ofte mindre, da reisetid og andre faktorer spiller inn. Selskap må uansett ut å befare om mastene må skiftes ut, men slike antagelser gjort i oppgaven kan fungere som forslag til budsjetter fremover. Det er viktig med gode tilbakerapporteringsrutiner når selskapene gjør periodiske kontroller. Dersom det viser seg at de har hatt befaringer på flere av mastene de siste årene, og tilstanden viser seg å være god, kan disse mastene utelukkes fra analysen.

Det er delte meninger om en slik case vil ha en god nytteverdi for nettselskapene. Flere selskaper peker på at det vil bli et større og større lappeteppes der de til slutt risikerer å sitte igjen med å bytte ut feil type komponenter. De peker på at det er nødvendig med en helhetlig vurdering av linjestrekk og å sammenligne ulike strekkene opp mot hverandre.

9.2.2 Case 2

I Case 2 er det tatt utgangspunkt i reinvesteringsanalyse utført i prosjektet REPLAN. Casen viser ikke bare resultatene fra analysen, men også mulighetene for å bedre tolke resultatene. Hovedmålet med en slik analyse er å finne ut om total fornyelse eller utskifting av enkeltkomponenter er nødvendig. Dersom utskifting av enkeltkomponenter er det rimeligste alternativet, er det da flere alternativer som kan velges mellom. Sentrale spørsmål er: Hvor viktig er linjen og hvor stor økonomisk risiko kan tillates?

Denne analysen er et godt eksempel på strategien vist i Figur 2.3. Målet med casen er tross alt å vise hvordan visualisering kan gi bedre beslutningsstøtte. Derfor er det presentert en liste over ulike aspekter rundt beslutningstakingen med tilhørende visualiseringsmetode. De fleste visualiseringene er knyttet til grafer og tabeller. Det er sett på ti ulike alternativ, som er mange og fører til tidkrevende analyser. Derfor anbefales det å velge et par alternativ basert på en grov vurdering.

I dette eksempelet er det mer lønnsomt å skifte enkeltkomponenter grunnet stor variasjon i tilstanden til de ulike komponentene. Stolpen står for en stor del av kostnadene og med mange stolper med $TK=2$, vil det kunne bli dyrere å investere etter analyseperioden. Derfor er det vanskelig å visualisere videre enn 20 år. Resultatene i casen er basert på at komponenter med

TK=2 ikke medfører stor økonomisk risiko i de siste årene av analyseperioden. Derfor vil ny befaring om fem eller ti år kunne gi ny vurdering.

9.2.3 Case 3

I de to første casene ble ikke risikoaspektet tatt med i vurderingene. Derfor gir denne casen et eksempel på utfordringer knyttet til å estimere risiko basert på en risikomatrix og viktigheten av konsekvenskriteriet personsikkerhet. For visualisering ved bruk av en risikomatrix er det nødvendig at skalaene for sannsynlighet og konsekvens er realistiske for hver enkel hendelse. Det er flere hendelser som kan inntreffe, og det er nødvendig å finne et risikotiltak som reduserer risikoen for hendelsene.

I denne oppgaven er det visualiseringen som er av størst interesse. Ulike personer rangerer skalaen for sannsynlighet og konsekvens ulikt. Et selskap kan ha forskjellige akseptkriterier enn andre, og derfor må det understrekes at dette kun er et forslag til visualisering i en risikomatrix. I tillegg kan de ulike forklaringene til skalaen misforstås, og tolkes forskjellig fra person til person. Det er viktig at selskapene er konsekvente med skalaen, slik at risikoverdiene blir sammenlignbare. For å minske usikkerheten noe, kan risikoen deles inn i *akseptabel risiko*, *risiko som trengs nærmere vurdering* og *uakseptabel risiko* basert på de tre ulike fargene.

Det å sammenligne konsekvenskriterier er ofte utfordrende, da det er vanskelig å sette en sum på personskade. Det blir derfor krevende ettersom det blir en kombinasjon av både kvalitative og kvantitative vurderinger. Derfor bør det være hovedfokus på visualisering knyttet til personsikkerhet. De andre konsekvenskriteriene bør visualiseres, for å kunne finne andre årsaker til at utskifting eller vedlikehold må gjennomføres. Ulike alarmer eller notifikasjoner er nødvendig dersom slik visualisering blir gjort for et dashboard, slik at alle tiltakene blir utført. Videre kan risiko, som nevnt tidligere, rangeres i en prioriteringsliste. Det skal likevel ikke stoles blindt på en slik risikomatrix og i noen tilfeller kan det også være at andre former for risikoanalyser passer bedre.

I spørreundersøkelsen kom det frem at dersom personsikkerhet er eneste argumentet for utskifting, kan det i noen tilfeller være enklere å forby arbeid i det aktuelle anlegget og skifte når, eller dersom, noe svikter. Dersom masten ikke har stor risiko for leveringskvalitet og økonomisk risiko, kan utskifting velges og utsettes. Det vil også avhenge om personell har planlagte tiltak som må gjøres i masten, slik at de er tvunget til å klatre i den.

9.2.4 Samlet vurdering

En fellesnevner for alle casene er muligheten til å benytte visualisering for å vise ulike konsekvenser av å ta en beslutning. I løpet av et år er det mange beslutninger som må tas, og det er ikke alltid slik at de alternativene som er mest fornuftig ved første øyekast faktisk er det. Ulike beslutninger krever ulik informasjonsgrunnlag. Dersom risikoen for personsikkerhet er stor, er dette ofte nok informasjon til at beslutninger blir iverksatt som vist i Case 3.

For de to andre casene kreves det større beslutningsunderlag. Visualiseringen brukes i denne forbindelsen til å vise hvilke utfordringer som oppstår ved å velge de ulike beslutningene. I sce-

nario 3 i Case 1 vises skilnaden på de ulike antagelsene med levetid. Konsekvensen av antatt feil levetid vil føre til at for få eller for mange master får ekstra fokus. Det samme gjelder for Case 2 hvor alternativene har ulike konsekvenser knyttet til seg. Velges det rimeligste alternativet, kan det være for stor økonomisk risiko knyttet til akkurat dette alternativet.

Dette viser at ulike feilkilder og usikkerheter kan bidra til at feil beslutninger blir tatt. Derfor avhenges det av at beslutningsunderlaget som fremskaffes for visualisering er godt nok. Konsekvensene av de ulike tiltakene kan bli synliggjort på en oversiktlig måte, men er de basert på feil underlag, vil dette gå utover beslutningene som blir tatt.

9.3 Spørreundersøkelse

Spørsmålene ble delt inn i tre deler for å få en ryddig og oversiktlig undersøkelse. Det ble valgt å stille en del generelle spørsmål for datakvalitet, målene til selskapet og på den måten kunne bedre indikere om det er en etterspørsel etter et dashboard. Det var mulighet for å få tilbakemeldinger på ideene i oppgaven som var hovedmålet med spørreundersøkelsen. Derfor bidrar undersøkelsen til å verifisere resultatene i denne rapporten. Erfaring fra personer som har arbeidet med asset management i en årrekke skal ikke undervurderes, og har vært verdifull for denne oppgaven. En usikkerhet i forbindelse med undersøkelsen er at det stilles krav til personen som svarer. Det kommer an på hvilken stilling personen har og tiden personen har til rådighet til å sette seg inn i spørreundersøkelsen.

Det ble i denne spørreundersøkelsen gitt innspill og tilbakemeldinger. Det at syv personer svarte på undersøkelsen var, i denne sammenheng, nok antall personer. Skulle det derimot blitt laget mer statistikk og grafer av resultater, burde flere nettselskap vært involvert i spørreundersøkelsen. Videre er alle syv nettselskap medlem av CINELDI. Det er kanskje ikke en god nok grunn til å si at de har mer fokus på digitalisering enn andre nettselskap, men alle selskap er ansett som store nettselskap. Derfor vil Figur 8.1 tilknyttet datakvalitet, mest trolig ikke være representativt for alle de norske nettselskapene. Dette blir også bekreftet når tre nettselskaper gir seg selv toppkarakter med tanke på fokuset på digitaliseringen i forhold til andre nettselskap.

Ulike spørsmål kan tolkes på ulike måter. Ut fra svarene samlet inn, virker det generelt som at spørsmålene er oppfattet på riktig måte. Svarene var forventet og noen var mer utfyllende enn forventet. Et godt tegn er at feil- og avbruddstatistikk kommer høyt opp på listen i Figur 8.1. Alle selskaper skal rapportere inn i sitt eget FASIT-system og skal derfor ha noe digitaliserte data som vist i delkapittel 3.5.2.

Innspill til dashboardet, og spesielt de tre casene, har hatt stor verdi. Spesielt synspunkt til Case 1 var nyttig. Det å se på kostnaden for en og en mast er ofte ikke tilstrekkelig, da prisen for reinvestering ofte ikke kan sammenlignes med å bytte ut en og en mast. For Case 2 ble det ikke gitt mange tilbakemeldinger. Det antas her at økonomisk analyse er noe alle synes er relevant. I Case 3 kom det frem ulike anbefalinger til en case. Den beste metoden her ville vært å lage casen i forkant, men av tidsmessige grunner, ble det ikke gjort.

Kapittel 10

Konklusjon

Kraftbransjen står overfor en omfattende digitalisering, og muligheten for å tenke nytt og kreativt er større enn noen gang. Samtidig er det ventet store investeringer i regional- og distribusjonsnettene de neste årene og kraftnettet blir stadig eldre. Med dette som bakgrunn, har oppgaven hatt som mål å besvare følgende spørsmål: **Hvordan kan visualisering gi bedre beslutningsstøtte for vedlikehold og reinvestering?**

Å utnytte flere former for visualisering vil være en styrke for en beslutningstaker. Visualisering knyttes til grafer, tabeller, matriser, kart og ulike dashboard. For visualisering i et dashboard stilles det krav til lagring av data, komplekse analyser og visualisering av nødvendig informasjon. Et dashboard bør inneholde de ulike delene vist i delkapittel 3.4 og bør være knyttet til en prioriteringsliste basert på tilstand og risiko.

Casene underbygger ulik bruk av metoder for visualisering som beslutningsstøtte for strategien presentert i delkapittel 2.2.2. For casene konkluderes det med følgende:

- Case 1: Ved å innhente miljø- og komponentdata får selskapene mulighet til å visualisere forventet utskiftingsår av diverse master. Slik oversikt gir bedre grunnlag for hvilke master og linjestrekk som kan være knyttet til befaringer og reinvesteringer.
- Case 2: Den presenterte visualiseringsmetoden er med på å støtte opp om fremgangsmåten vist i Figur 2.3 og gir en detaljert oversikt over konsekvenser av å velge ulike alternativ.
- Case 3: En risikomatrix med tilhørende hendelser viser konsekvenskriteriet personsikkerhet. Det å sammenligne ulike konsekvenskriterier er utfordrende, da det blir en kombinasjon av både kvalitative og kvantitative vurderinger. Derfor bør personsikkerhet vektles høyest for beslutningstaking, mens risikoen for de andre kriteriene bør fungere som supplement til å bestemme rekkefølgen for ulike tiltak.

Spørreundersøkelsen viser at det er stort fokus på digitalisering og at å sammenstille data fra ulike kilder vil kunne forbedre beslutningsprosessen. Erfaring fra personer som har arbeidet med asset management i en årrekke skal ikke undervurderes, og har vært verdifull for denne oppgaven. Spørreundersøkelsen har bidratt til å verifisere resultatene og gitt gode innspill.

Kapittel 11

Videre arbeid

Tabell 6.1 viser informasjonsgrunnlaget som et dashboard kan være basert på. Det mangler å visualisere en helhetlig oversikt over alle vinduene i dashboardet. Dette innebærer blant annet oversikt over alle komponenter med tilhørende miljø- og driftspåkjenninger. I oppgaven har det vært sett på konsekvensen av noen miljøpåkjenninger, men å få opp en oversikt over blant annet svake deler i et nett vil være minst like interessant. Ulike skisser bør knyttes opp mot en prototype av et dashboard i videre arbeid.

Power BI har vist seg å være et brukervennlig og oversiktlig verktøy. Når det kommer til videre arbeid knyttet mot et dashboard, vil analysekapasiteten og utfordring med håndtering av store datamengder begrense et slikt verktøy. Derfor kan ulike GIS-verktøy som ArcGIS være mer fornuftig å benytte. Data må uansett sammenstilles fra flere ulike kilder, men analysen må ikke nødvendigvis gjøres i samme verktøy som visualiseringen. Det er veldig mange faktorer som påvirker forvaltningen av nettet, og som bør ligge til grunn for neste generasjons asset management.

Ulike nettselskaper har i dag flere verktøy som støtter opp om beslutningene som tas, men mangler en felles plattform. Det anbefales at nettselskapene finner ut om det er behov og ressurser tilgjengelig for å lage et slikt dashboard. Et dashboard gir flere muligheter og bedre oversikt, men selskapene må være klare for endringer. De må først og fremst være tydelige på hvilke vindu et dashboard skal bestå av. De bør finne ut hvilke data de har i dag, og hvor mye ny data som kreves for å få et ønsket dashboard. Datakvalitet er et stikkord og dashboardet kan utvikles i den retningen hvor det er god datakvalitet. Teorien presentert i Kapittel 3 og skissene presentert i Kapittel 6 brukes som inspirasjon til et dashboard. Nettselskapene kan også velge å samarbeide om et slikt verktøy og eventuelt ha ulike felles databaser med diverse informasjon som forventet levetid (basert på erfaring) for ulike komponenter.

I oppgaven er det presentert en prioriteringsliste, som knyttes opp mot automatiske analyser. Slike analyser vil kunne forbedre arbeidsprosessen. Det er derimot mange antagelser som må gjøres på veien, men med gode modeller vil en prioriteringsliste absolutt kunne bidra til å si mer om hvilke handlinger som skal iverksettes. Dette går spesielt på reinvestering av prosjekter, hvor gode modeller med vektning av ulike faktorer som myndighetspålegg og personsikkerhet er nødvendig. For vedlikehold er det mer tilstandsbasert og ofte handler det om enten små prosjekter eller mer rutinebasert vedlikehold. Å få oversikt over prioriteringer av tiltak, kan

også føre til at vedlikehold på komponenter unngås, da komponentene likevel skal skiftes ut.

Enkle scenarioer for råteskade ble knyttet opp mot alder i Case 1. Grunnet store usikkerheter i datagrunnlaget har det ikke vært mulig å visualisere alle mastepunktene i datasettet. Visualiseringen viser, blant annet, forventet utskifting i løpet av de neste årene. Det er flere faktorer som kan legges til i en slik visualisering som gir et grunnlag for videre arbeid.

Kapittel 12

Bibliografi

- [1] NVE m.fl. Referansegruppe feil og avbrudd. Definisjoner knyttet til feil og avbrudd i det elektriske kraftsystemet. *Versjon 2*, 2001.
- [2] Nordgård D.H. Risk analysis for decision support in electricity distribution system asset management. *Doctoral theses at NTNU. Rapport nr. 2010:54*, 2010.
- [3] NVE. Ikt-systemers rolle og betydning for strukturen i kraftbransjen; konsulentrapport utarbeidet for nve. (*Rapport nr 32-2016*), 2016.
- [4] NVE. Forskrift om leveringskvalitet i kraftsystemet. Tilgjengelig fra: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2004-11-30-1557/KAPITTEL_1#%C2%A71-4 (Hentet 27.05.2019).
- [5] Elster A.C. Maskinlæring. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/maskin\VT1\æring> (Hentet 09.06.2019).
- [6] Vivento AS og Agenda Kaupang AS. Kartlegging og vurdering av stordata i offentlig sektor. *Rapport til kommunal- og moderniseringsdepartementet*, 2015.
- [7] SINTEF (2016). Cineldi. Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/prosjekter/cineldi/> (Hentet 27.05.2019).
- [8] Slinde T. Visualisering i morgendagens asset management. *Prosjektoppgave ved masterprogrammet Energibruk og energiplanlegging, NTNU*, 2018.
- [9] Rambøll. Asset management. Tilgjengelig fra: <https://no.ramboll.com/tjenester/energi/asset-management> (Hentet 27.03.2019).
- [10] Vefsnmo H., Hermansen T.S., Solvang E., Garau M. Planning methodologies for the future - needs and gaps (draft for comments versjon 1.0). *CINELDI rapport nr 01:2018*, 2018.
- [11] Nordgård D.H., Sand K., Wangensteen I. Risk assessment methods applied to electricity distribution system asset management. *Artikkel skrevet i forbindelse med prosjektet RISKDSAM ved SINTEF Energi og NTNU*, Ukjent år.

- [12] Nordgård D.H. Vedlikehold av nett - forvaltning av infrastruktur for distribusjon av elektrisitet. *Presentasjon, Status på Stratos*, 2012.
- [13] Rausand M., Utne I.B. *Risikoanalyse - teori og metoder*. Tapir Akademisk Forlag, Trondheim, 1. edition, 2009.
- [14] Nordgård D.E. Risikobasert vedlikehold og fornyelse - prinsipper og anvendelser. *Temadag: Innføring i risikobasert vedlikehold og fornyelse av kraftnett*, 2009.
- [15] Working group C6.27. Asset management for distribution networks with high penetration of distributed energy resources. *Cigre WG C6.27*, 2018.
- [16] REN AS. Definisjoner og begreper innenfor vedlikehold. *Nr 7100 Versjon 1.1 02/2016*, 2015.
- [17] Welte T., Børresen B. Syslife- system for tilstandsrelaterte data for kraftsystemkomponenter: resultater fra forskningsprosjektet. *NEF Teknisk Møte*, 2014.
- [18] IEC White Paper. Strategic asset management of power networks. *Geneva, Switzerland: International Technical Commission*, 2015.
- [19] SINTEF. Hva er kile? Tilgjengelig fra: <https://www.sintef.no/projectweb/kile/> (Hentet 22.11.2018).
- [20] Solvang E. Nåverdier og kostnadselementer (investeringer, tap og avbrudd). (*Presentasjon i faget ELK-11 Cost-benefit analysis in distribution network planning*), 2018.
- [21] REN AS. Vedlikeholdsstrategi. *NR 8015 - Versjon 2.0 07.2013*, 2013.
- [22] Catrinu M.D., Nordgård D.E., Nybø A. Retningslinjer for risikobasert vedlikehold og fornyelse av distribusjonsnettet. *Presentasjon SINTEF Energi AS*, 2011.
- [23] SINTEF Energi AS. Systematikk ved planlegging av kraftnett. (*Planleggingsbok for kraftnett*), 2010.
- [24] EnergiNorge. Tilstandskontrollprogram (kraftledning). Tilgjengelig fra: <http://54.72.228.83/xwiki/bin/view/Kraftnett/Kraftledning-TILSTANDSKONTROLLPROGRAM> (Hentet 22.11.2018).
- [25] Olsen P.C. Nettdrift anno 2020: Digital disrupsjon i energisektoren. *Esmartsystems*, 2017.
- [26] Vefsnmo H., Moore R., Solvang E., Schulerud H. Automatic assesment of the distribution system for condition monitoring. *Project memo for CINELDI partners*, 2018.
- [27] Ukjent forfatter. pc dashboard. Tilgjengelig fra: <http://creatingmykaleidoscope.com/2017/02/07/better-way-track-finances-2017/pc-dashboard/> (Hentet 27.05.2019).
- [28] Ukjent forfatter. Data server center system backup service vector image. <https://www.vectorstock.com/royalty-free-vector/data-server-center-system-backup-service-vector-18735733> (Hentet 27.05.2019).
- [29] Khuntia S.R., Rueda J.L., Meijden M., Smart asset management for electric utilities: Big data and future. *Conference: 12th World Congress on Engineering Asset Management, At Brisbane*, 2017.

- [30] Powel. Cybersikkerhet og energisektoren – risiko og konsekvenser. <https://www.powel.com/no/nyheter/cybersikkerhet-og-energiesektoren---risiko-og-konsekvenser/> (Hentet 27.03.2018).
- [31] Wäfler J. Powel, e-post korrespondanse, 26.11.18.
- [32] Energinorge. Nettstruktur og organisering. Tilgjengelig fra: <https://www.energinorge.no/fagomrader/stromnett/kraftsystemet/nettstruktur-og-organisering/> (Hentet 10.03.2019).
- [33] Energifaktanorge. Strømnettet. Tilgjengelig fra: <https://energifaktanorge.no/norsk-energiforsyning/kraftnett/> (Hentet 27.03.2019).
- [34] Statnett. Årsstatistikk 2017 driftsforstyrrelser, feil og planlagte utkoplinger i 1-22 kv-nettet. <https://www.statnett.no/contentassets/5fb5605039314f498ed16f8561695a0c/feilanalyse-arsstatistikk-2017-1-22-kv.pdf> (Hentet: 07.03.2019), 2018.
- [35] Energi Norge. Tilstandskontroll av kraftnett- håndbok - kraftledning. *Teknisk rapport Energi Norge*, 2011.
- [36] Ryvarden L. råte. Tilgjengelig fra: <https://snl.no/råte> (Hentet 26.05.2019).
- [37] Refsnæs S., Rørvik O. Sannsynligheten for råteangrep i trestolper. *Teknisk rapport SINTEF Energiforskning AS*, 2006.
- [38] Refsnæs S., Rolfseng L., Solvang E., Heggset J. Timing of wood pole replacement based on lifetime estimation. *Conference paper*, 2006.
- [39] Inductive automation. What is scada? Tilgjengelig fra: <https://inductiveautomation.com/what-is-scada> (Hentet 10.03.2019).
- [40] Qlik VIEW. Get ready to own the digital era. Tilgjengelig fra: <https://www.qlik.com/us> (Hentet 19.05.2019).
- [41] Tableau. We're changing the way you think about data. Tilgjengelig fra: www.tableau.com (Hentet 19.05.2019).
- [42] Oterholm A.I. Bruk av arcgis. *Institutt for byforming og planlegging, NTNU*, 2008.
- [43] Geodata. Arcgis fra esri. Tilgjengelig fra: <https://www.geodata.no/produkter-og-tjenester/arcgis-fra-esri> (Hentet 19.05.2019).
- [44] Viseth E.S. Kraftselskap kan spare millioner med big data - skal forutse når trær faller over kraftlinjer. Tilgjengelig fra: <https://www.tu.no/artikler/kraftselskap-kan-spare-millioner-med-big-data-skal-forutse-nar-traer-faller-over-kraftlinjer/453677?key=1xJL1pJF> (Hentet 27.05.2019).
- [45] Microsoft. Hva er power bi. Tilgjengelig fra: <https://docs.microsoft.com/nb-no/power-bi/power-bi-overview> (Hentet 05.06.2019).
- [46] Microsoft. Power bi-tjenestefunksjoner etter lisenstype. <https://docs.microsoft.com/nb-no/power-bi/service-features-license-type> (Hentet 05.06.2019).
- [47] NVE. Nett. Tilgjengelig fra: <https://www.nve.no/energiforsyning-og-konsesjon/nett/> (Hentet 15.12.2018).

- [48] pxhere. Bilde av transformator. Tilgjengelig fra: <https://pxhere.com/no/photo/781767> (Hentet 15.12.2018).
- [49] Furnes B.T. Sviktmodell for krafttransformatorer. *Masteroppgave Electric Power Engineering ved NTNU*, 2016.
- [50] Li Y. Reinvesteringsbehov for stolper i høyspennings fordelingsnett. *Masteroppgave Energi og miljø ved NTNU*, 2014.
- [51] Eidem M. Tilstandsvurdering for optimal fornyelse av distribusjonsnett. *Prosjektoppgave Energi og miljø ved NTNU*, 2018.
- [52] Foros J., Solvang E. Analyse av fornyelsesbehov i kraftnett. *Tekn. rapp. 2018:01350. Sintef Energi AS*, 2019.
- [53] Lovdata. Forskrift om sikkerhet ved arbeid i og drift av elektriske anlegg. Tilgjengelig fra: <https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2006-04-28-458> (Hentet 24.05.2019).
- [54] Nordgård D. E., Solvang E. Analyse av risiko knyttet til personsikkerhet i nettvirksomheten. *Teknisk rapport SINTEF Energiforskning AS*, 2008.
- [55] Storsul T. Presentasjon av kapittel 5. metode - spørreskjema og innholdsanalyse. *MEVIT 1310 Mediebruk, makt og samfunn UIO*, 2005.

Tillegg A

Vedlegg - Dashboardløsninger

De to påfølgende sidene viser Asset Health Center fra ABB og dashboard designet av NEC.

Station Bramley, UK

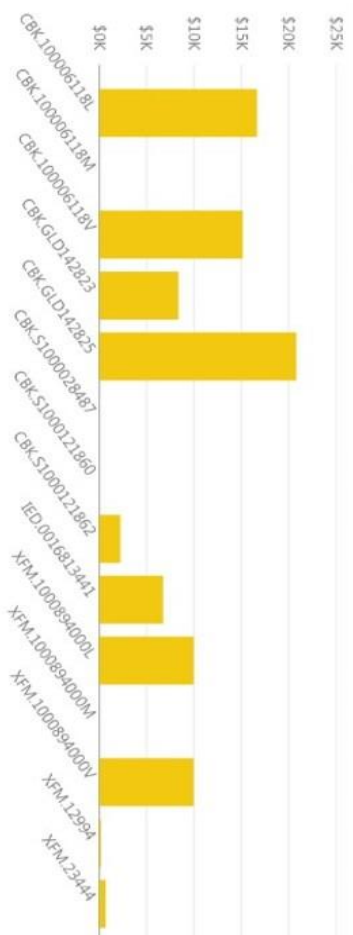
Asset Count

14

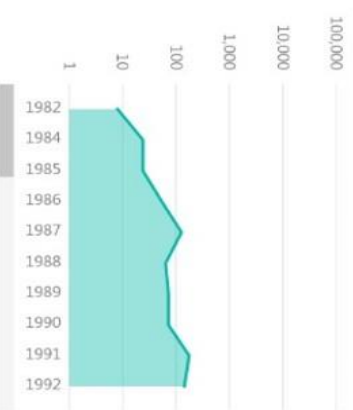
Asset Summary & Weighted Scores

AssetId	Details	AssetType	Description	AssetRisk	Unit Importance	Health Score	Asset Weight	Weighted Score
CBK.GLD142825		Circuit Breaker	Bramley, UK 45kV Circuit Breaker CBK.GLD142825	High	40	89.06	0.50	44.53
XFM.1000894000L		Transformer	Bramley, UK 138 kV Transformer MS XFM.1000894000	Medium	65	45.00	0.90	40.50
XFM.1000894000V		Transformer	Bramley, UK 138 kV Transformer MS XFM.1000894000V	Medium	65	45.00	0.90	40.50
CBK.100006118L		Circuit Breaker	Bramley, UK CNET PASS Circuit Breaker MS CBK.100006118L	High	65	77.20	0.50	38.60
CBK.100006118V		Circuit Breaker	Bramley, UK CNET PASS Circuit Breaker MS CBK.100006118V	High	65	72.60	0.50	36.30
CBK.GLD142823		Circuit Breaker	Bramley, UK 135kV Circuit Breaker CBK.GLD142823	Medium	35	48.51	0.50	24.26
IED.0016813441		IED	Bramley, UK IED-REC670-600 IED.0016813441	Medium	67	51.60	0.20	10.32
CBK.S1000121862		Circuit Breaker	Bramley, UK Circuit Breaker CBK.S1000121862	Low	43	17.78	0.50	8.88
XFM.23444		Transformer	Bramley, UK (IM) Transformer XFM.23444	Low	42	6.00	0.90	5.40
XFM.12994		Transformer	Bramley, UK Transformer XFM.12994	Low	42	1.99	0.90	1.79
CBK.100006118M		Circuit Breaker	Bramley, UK CNET PASS Circuit Breaker ES CBK.100006118M	Low	65	0.00	0.50	0.00
CBK.S1000028487		Circuit Breaker	Bramley, UK 138 kV Circuit Breaker CBK.S1000028487	Low	39	0.00	0.50	0.00
Total						454.74		251.08

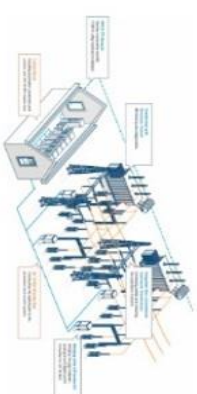
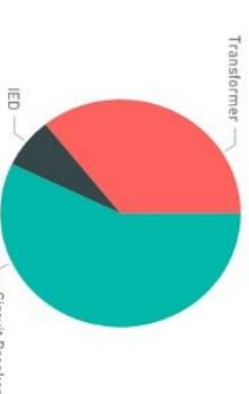
Maintenance Spend Last Year by AssetId



Reading Counts



Asset Type Count



Business Views

- Network
- Distribution
- Transmission
- Assets
 - Battery
 - Capacitor
 - Conductor
 - Pole
 - Protective
 - Transformer
- Severity
 - Critical
 - Bad
 - Fair
 - Good
 - Excellent
 - Unknown
- Summary Views
 - Overview
 - Analysis
 - Lasso Analytics
 - Risk

Map

Risk Analyzer > Summary Views > Analysis

Back to Risk Analyzer

Enforcement: Transmission, Filters, Fiscal Year: 2015

View Name: PORTFOLIO, Station: Select All, Asset Class: Select All, Asset Type: Select All, Asset Location: Select All, Metrics: Performance

Risk Analyzer 2015

Ranking Group	0	11	21	31	41	51	61	71	81	91
Failure Probability	10	-20	30	40	50	60	70	80	90	100
Grand Total	0	0	30	126	0	0	0	0	0	0

Asset Overview > Summary Views > Overview

Asset Class	No. of Assets	AHI	Degradation	Age	Criticality	Effective Age ¹	Failure Probability
Transformer-122	19	11	56.66	36	37.26	27	46.93
Transformer-123	27	8	67.67	38	66.54	81	67.03
Transformer-124	7	7	76.02	54	67.88	41	68.49
Transformer-125	24	11	48.37	4	29.66	84	63.3
Transformer-126	60	4	60.04	40	57.8	51	28.66
Transformer-127	57	7	54.16	54	54.16	288	100

Rows: 1 - 6 out of 6

Assets > Transformer

Health Index, Completeness Index, Age Index, Criticality Index, Confidence Index, Rate Index

Failure Probability Index

Criticality Index

Health Index, Completeness Index, Age Index, Failure Probability Index, Confidence Index, Rate Index

Tillegg B

Vedlegg - Spørreundersøkelse

På de neste åtte sidene er en komprimert utgave av spørreundersøkelsen vist. Spørreundersøkelsen ble laget i Google Docs.

Spørreskjema beslutningstaking asset management

For å få mest mulig informasjon til min masteroppgave hadde jeg satt stor pris om en representant fra nettselskapet hadde avsatt litt tid til å svare på dette spørreskjemaet. Resultatene vil bli brukt som kartlegging for behovet for et dashboard for beslutningstaking for asset management i distribusjonsnett og vil ha stor nytteverdi for min masteroppgave. Det vil ta cirka 10 - 15 minutter å svare på denne spørreundersøkelsen.

I denne oppgaven er hovedmålet å vise hvordan visualisering kan gi bedre beslutningsstøtte for reinvestering og vedlikehold. Derfor er det i oppgaven laget skisser av et dashboard som inkluderer ulike muligheter for bedre beslutningstaking. Distribusjonsnett består av svært mange komponenter og representerer store økonomiske verdier for nettselskapene. Levetiden til komponenter i områder med store eksterne påkjenninger blir mye kortere enn i områder med moderate påkjenninger. Framtidig fornyelsesbehov er stort og varierer mye fra område til område og innen samme område. Komponenter som representerer høy risiko for netteier prioriteres foran komponenter med mindre risiko. Neste generasjon asset management vil i stor grad omhandle effektiv innsamling av informasjon om teknisk tilstand fra stasjonære og mobile (droner) sensorer, samt analyse og visualisering av fornyelsesbehov basert på tilstand, vedlikeholdshistorikk, feil- og avbruddsstatistikk og risiko.

Dette spørreskjemaet er laget for å undersøke hvordan nettselskapene tar beslutninger med tanke på asset management (anleggsforvaltning) i deres anlegg. Dette involverer planlegging av vedlikehold, reinvestering og nyinvestering. Digitaliseringen gjør det i fremtiden mulig å samle ulik informasjon om de ulike komponentene i et dashboard. Er et slikt dashboard noe nettselskapene kan tenke seg? Dersom det er noen uklarheter er det bare å ringe mitt mobilnummer 48060578 eller sende epost til torbjqli@stud.ntnu.no.

Merk: Spørsmålene under er begrenset til det høyspente distribusjonsnett (1 kV – 22 kV).

I rapporten vil alle nettselskapene bli anonymisert. Håper at alle spørsmål kan bli besvart, men også OK om noen av spørsmålene ikke blir besvart. Jeg håper på å kunne gå igjennom noen av svarene via skype/telefon i ettertid.

Student: Torbjørn Slinde
Veileder: Eivind Solvang

*Må fylles ut

Del 1 av spørreskjema: Generelle spørsmål

1. Spørsmål 1: Hvilket nettselskap representerer du? *

2. Spørsmål 2: Når beslutninger for vedlikehold og reinvestering blir tatt, er det ofte noen faktorer og hovedmål som er viktigere enn andre. Er det mulig å rangere disse faktorene fra viktigst til minst viktigst? Sikkerhet, tilstand, omdømme, HMS, økonomi, komponenters alder og leveringskvalitet. *

3. **Spørsmål 3: Hvilke verktøy bruker dere for å ta beslutninger om vedlikehold, reinvestering og nyinvesteringer i dag? Her tenkes det på all verktøy som kan bidra med informasjon om en komponent. (For eksempel NIS-systemer, FASIT og Excel) ***

4. **Spørsmål 4: Er det planlagt noen nye metoder/løsninger for å støtte opp om de beslutningene som gjøres? Tenker da på ulike verktøy, dashboard osv. ***

5. **Spørsmål 5: Dersom det er planlagt løsninger for å støtte opp om beslutninger, hva er isåfall dette?**

6. **Spørsmål 6: I oppgaven så sees det på et dashboard for beslutningstaking for asset management (anleggsforvaltning). Dette dashboardet trenger informasjon og analyser. Det er viktig at data er digitalisert og at dataen har en viss datakvalitet. Kan du/dere rangere i hvor stor grad dere har gode nok data som kan brukes som underlag (estimert), hvor 1 er mangel på digitalisert data, 2 er delvis og 3 er god data.**

Markér bare én oval.

	1	2	3
Risikoindikatorer per komponent	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

7. *Markér bare én oval.*

	1	2	3
Tilstandsvurderinger per komponent	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

8. *Markér bare én oval.*

	1	2	3
Feil- og avbruddsstatistikk	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

9. Markér bare én oval.

	1	2	3
Vedlikeholdshistorikk. Altså registrert vedlikeholdsoperasjoner digitalt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

10. Markér bare én oval.

	1	2	3
Rapportering fra felt	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

11. Markér bare én oval.

	1	2	3
Registrert alder på komponenter	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

12. Markér bare én oval.

	1	2	3
Planlagte tiltak	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

13. Markér bare én oval.

	1	2	3
Økonomisk analyse for beslutningsstøtte med ulike alternativ	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>

14. Spørsmål 7: Hvordan vil du rangere nettselskapets fokus på digitale løsninger fra 1-3 på generell basis sammenlignet med andre selskaper i kraftbransjen? Gjerne utdyp konkrete løsninger som er under planlegging. (Det er valgfritt om du vil svare på dette spørsmålet)

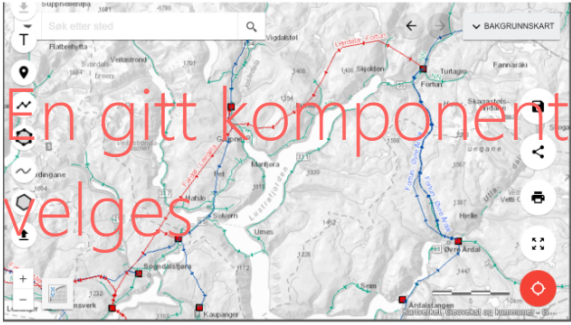
Del 2 av spørreskjema: Forslag til skisse for et dashboard for beslutningstaking

Et godt dashboard for beslutningstaking trenger å hente inn data fra ulike kilder og sammenstille de på ulike måter. Førstesiden skal gi en magesfølelse av tiltak som skal iverksettes. Videre i dashboardene vil en kunne finne ut hvorfor handlinger må iverksettes. Forslag til skisse for et dashboard er vist nedenfor.

Hovedside av et tenkt dashboard

Dashboard
i ?

Velge komponenter



En gitt komponent velges

Prioriteringsliste

Prioritering Risiko Tilstand Feil og avbrudd

Linjestrekk XX

Linjestrekk XY

Trafo1

Trafo2

Oversikt over antall komponenter

Antall	Komponentnavn
X	Brytere
X	Kabel
X	Linjestrekk
X	NettStasjoner
X	Transformatorer

Planlagte aktiviteter

X

X

X

X

Totale avbrudd

X

X

X

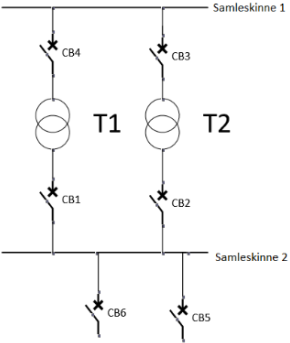
X

Valgt komponent vises i kartet over ved å trykke på Velge komponenter. Komponentene er: Transformatorer, brytere, kabler, linjenett og nettstasjoner.

Side 2 av et tenkt dashboard

Dashboard
i ?

Transformatorer



Prioriteringsliste

Prioritering Risiko Tilstand Feil og avbrudd

Trafo1

Trafo2

Oversikt over antall komponenter

Antall	Komponentnavn
X	Brytere
X	Kabel
X	Linjestrekk
X	NettStasjoner
X	Transformatorer

Planlagte aktiviteter

X

X

X

X

Totale avbrudd

X

X

X


X

Valgt komponent vises i kartet over ved å trykke på Velge komponenter. Her er transformatorer valgt.

Side 3 av et tenkt dashboard

Dashboard
i ?

Transformatorer



Tranformator T1
velges

Rapport fra felt

Vedlikehold
30.01 Bytte av trafo

Planlagte tiltak
Ingen

Transformator T1

Alder: 40
Installasjons dato:
Posisjon:
Type trafo:

Feil og avbrudd


- Antall timer: XX
- Tappt beløp: YY

Økonomisk analyse knyttet til alternativ

1

Tilstand

Risiko



2

Nærmere analyse av risiko, tilstand, risiko osv.

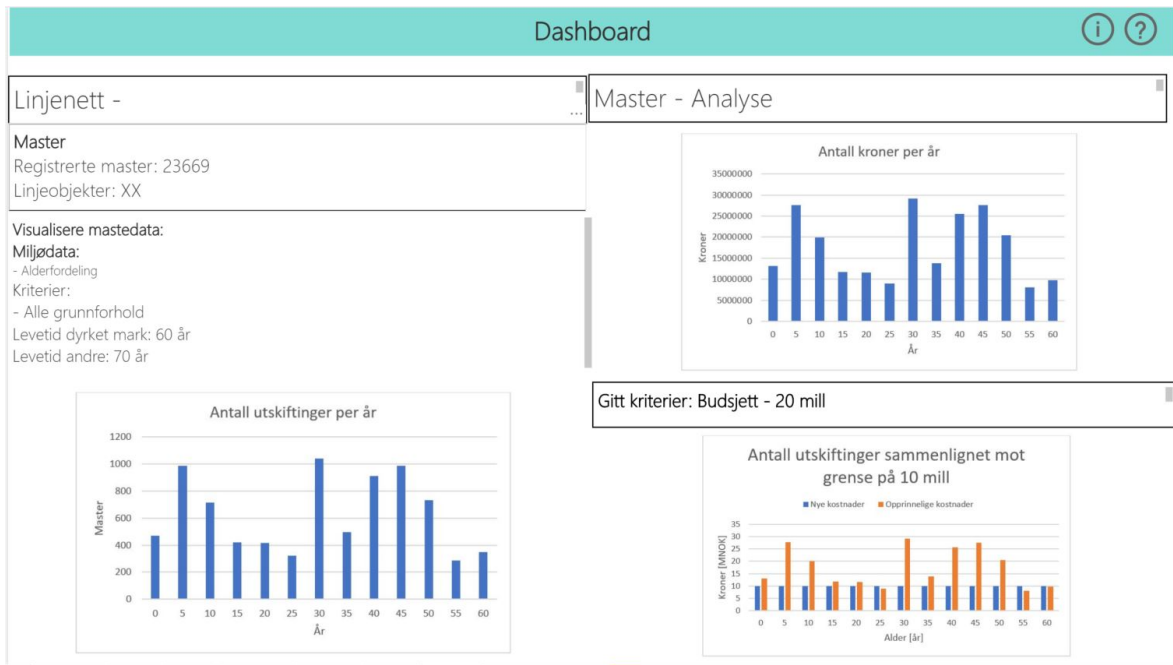
Consequence	Low	Medium	High
Probability			
High			
Medium			
Low			

15. Spørsmål 8: Hva likte du med et slikt oppsett? Hva savner du? Hva burde vært gjort annerledes?

Del 3 av spørreskjema: Casestudie

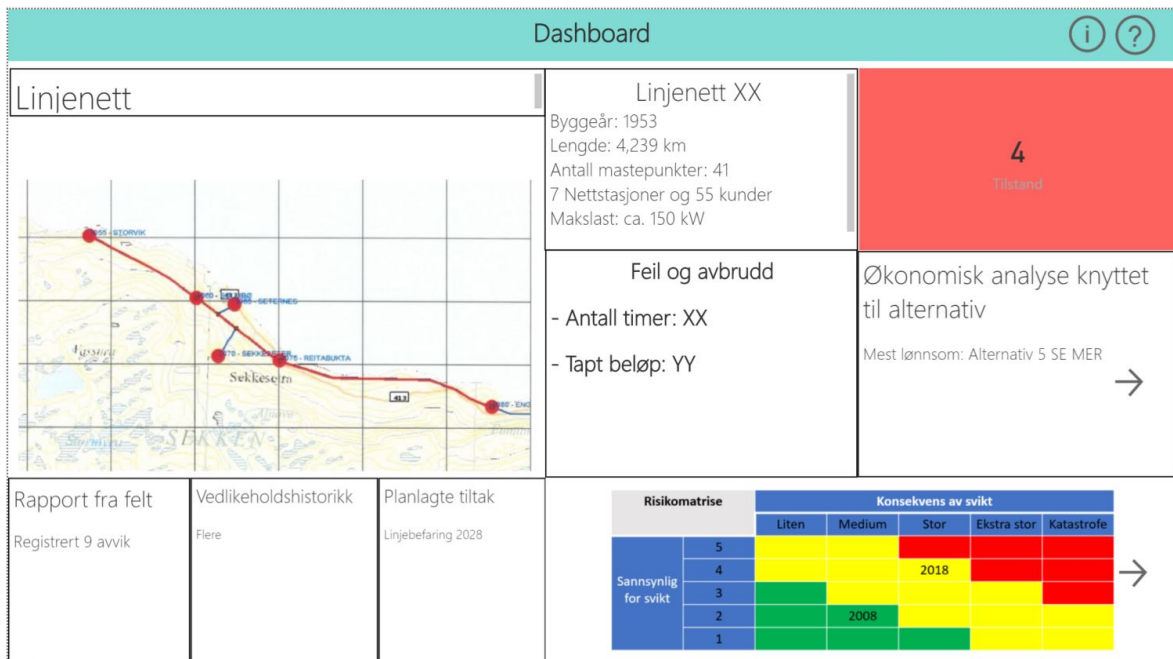
I oppgaven har caser blitt brukt for å vise eksempler. Her vil det komme spørsmål om tre ulike caser hvor hovedmålet er å undersøke nytteverdien.

16. Spørsmål 9 - Case 1: En første side kan for eksempel bidra til ulike strategier for utskifting av komponenter. Det er i Case 1 sett på et område med 23000 master. Grunnet mangel på geografisk posisjon knyttet til mastene, er det antatt at en bytter ut en og en mast. Det er antatt at master vil ha ulik levetid basert på forhold som grunnforhold, temperatur, vind osv. Resultat fra et scenario viser anbefalt antall utskiftninger per år som vist i Figuren med tilhørende utskiftningskostnad. Dette gir en oversikt over estimert antall utskiftninger i gjennom 60 år. Hvordan ser du en nytteverdi i denne casen og er dette en aktuell case?



17. Spørsmål 10 - Case 2: Videre i dashboardet er det valgt å se på et linjenett hvor det er gjort økonomiske analyser. Dataene er hentet fra et prosjekt med navn REPLAN hvor det er samlet inn tilstandskarakterer som er brukt i en modell og gir en vurdering av ulike reinvesteringalternativer. Hvordan ser du en nytteverdi i denne casen og er dette en aktuell case?

Overblikk over linjestrekket som er sett på



Utført økonomisk analyse. Alternativ 5 blir sett på som det beste valget. (Skifter ut komponenter med tilstand 5 i år 1, tilstand 4 i år 6 og tilstand 3 i år 11.)

Prosjekt	Engvik-Storvik								Første år i analyseperioden (20 år)	2020		
									Kalkulasjonsrente (% p.a.)	4,5		
Resultat fra fornyelsesbefaringen (antall forekomster)									Antall	Σ mast		
	St	Fu	Ba	Tr	Is	Op	Li	Gj	E-mast i jord	22		
TK=5	0	0	0	0	0	0	0	0	E-mast på fjell	5		
TK=4	0	0	0	16	18	1	0	0	H-mast i jord	12		
TK=3	1	0	1	16	0	0	0	0	H-mast på fjell	2		
TK=2	40	0	0	0	0	0	0	0	Dobbel A-mast i jord	0		
TK=1	0	41	8	9	23	40	41	0	Dobbel A-mast på fjell	0		
Uten TK	0	0	0	0	0	0	0	0	Antall km luftledning	4,2		
Sum	41	41	9	41	41	41	41	0	Antall km jordkabel	0,0		
Kostnader (kr)	Planlagte tiltak								Svikt/feil			
	FV	U1	U6	U11	U16	KILEv	Rep.	KILE	Tap	Sum	%	kr
Alt. 1	TK=5 (U1), TK=4 (U1), TK=3 (U1)	6 543	414 236	0	0	0	5 345	2 089	87 078	515 291	137	139 021
Alt. 2	TK=5 (U1), TK=4 (U1), TK=3 (U6)	7 802	242 568	92 968	0	0	5 345	2 089	87 078	437 851	116	61 581
Alt. 3	TK=5 (U1), TK=4 (U1), TK=3 (U11)	9 304	242 568	0	54 966	0	9 920	5 076	87 078	408 912	109	32 642
Alt. 4	TK=5 (U1), TK=4 (U6), TK=3 (U6)	7 802	0	274 438	0	0	31 573	25 082	87 078	425 974	113	49 704
Alt. 5	TK=5 (U1), TK=4 (U6), TK=3 (U11)	9 304	0	160 705	54 966	0	36 148	28 068	87 078	376 270	100	0
Alt. 6	TK=5 (U1), TK=4 (U11), TK=3 (U16)	9 304	0	0	95 014	0	278 046	225 939	87 078	695 381	185	319 111
Alt. 7	TK=5 (U1), TK=4 (U1)	9 304	242 568	0	0	0	118 382	75 877	87 078	533 209	142	156 939
Alt. 8	TK=5 (U1), TK=4 (U6)	9 304	0	160 705	0	0	144 610	98 870	87 078	500 568	133	124 298
Alt. 9	TK=5 (U1), Totalfornyelse (U6)	0	0	1 321 742	0	0	26 229	22 993	83 734	1 454 697	387	1 078 427
Alt. 10	Totalfornyelse (U1)	0	1 995 036	0	0	0	0	0	82 149	2 077 186	552	1 700 916

Antall komponenter som må skiftes ut i de ulike alternativene

Alt ÅR	1	6	11	16	SUM
1	53	0	0	0	53
2	35	18	0	0	53
3	35	0	18	0	53
4	0	53	0	0	53
5	0	35	18	0	53
6	0	0	35	18	53
7	35	0	0	0	35
8	0	35	0	0	35
9	0	255	0	0	255
10	255	0	0	0	255

18. Spørsmål 11: Case 3 vil omhandle risikovurderinger med tanke på ulike faktorer som: økonomi, pålitelighet, miljø og personsikkerhet. Jeg har lyst til å vise risikofaktorene fra liten, medium og stor risiko for personsikkerhet. Har du et eksempel fra ditt selskap hvor risikoen for en eventuell personsikkerhet var så stor at tiltak ble iverksatt?

19. Tusen takk for at du tok deg tid til å svare på denne undersøkelsen. Om du ønsker å legge inn noen kommentarer, så gjerne legg de til under (Gjerne knyttet til nytteverdi).

20. Om du har mulighet til en oppfølgingsamtale skriv gjerne ned navn og nummer her.

Drevet av



