

Vedlikeholdsstyringsmodell for nettkomponenter

Eirik Thorshaug

Master i energi og miljø

Innlevert: Juni 2012

Hovedveileder: Eivind Solvang, ELKRAFT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elkraftteknikk

Problembeskrivelse

I løpet av de siste årene har fokuset på tilstand og observasjoner blitt større. Innsamling av tilstandsverdier har startet, men er fortsatt i en tidlig fase. Så før tilstandsverdiene blir tatt i bruk, handler det om å ta de beste valgene ut i fra det man har av informasjon og erfaring. I NetBas hos NTE er det lagret mange observasjoner opp i gjennom årene som er samlet inn med helikopterbefaring eller bakkebefaring. Utfordringen blir dermed å ta i bruk observasjoner og gjøre de om til informasjon som kan brukes til si noe om tilstanden i nettet.

På denne måten kan planlegging av fremtidige prosjekter bli enklere og man kan prioritere prosjekter med et analytisk verktøy.

Utfordringene er store når det kommer til reinvesteringer, og reinvesteringebudsjettet forventes å stige voldsomt fremover og nå en topp rundt 2040 før de igjen reduseres. For å unngå de store reinvesteringen på reinvesteringebudsjettet rundt 2040 er det mulig å reinvestere noen prosjekter før toppen og noen etter toppen slik man flater ut kurven. For å få til dette kreves det at man har oversikt over hva man har av komponenter i nettet og i hvilken tilstand det er i.

Å ha en metode som kan prioritere prosjekter og gi en pekepinn på når de bør reinvesteres, vil kunne være til stor hjelp.

For å starte på en slik metode må det tas utgangspunkt i informasjon som allerede er samlet inn. Dette er allerede på plass, og utfordringen ligger å gjøre informasjonen om til data som kan brukes for å beregne fremtidige kostnader.

Hovedformålet med oppgaven går ut på å utvikle en vedlikeholdsstyringsmodell med bruk av tilstandsinformasjon fra NetBas hos NTE Nett. Modellen skal omfatte kriterier vedrørende økonomi/lønnsomhet, sikkerhet og miljø. Realiseringen av modellen skal være i form av prototyper utviklet i Excel med import av informasjon om observasjoner fra NetBas. Bruken av modellen og nytteverdier skal demonstreres i forbindelse med analyse av vedlikeholdsbehov i konkrete nett.

Det vil i denne rapporten bli gått gjennom observasjoner i mastepunkt og hvilke data det er mulig å bruke fra de. Videre blir det beregnet sviktsannsynlighet basert på erfaringsdata som sammen med kostnadskonsekvens vil danne et økonomisk bilde på et prosjekt.

Etter gjennomgang av fremgangsmetode vil det blir sett på reelle prosjekter fra NTE for å se hvordan metoden vil fungere.

Microsoft Word vil bli brukt som teksteditor, Microsoft Excel benyttes for bearbeiding av data og NetBas vil bli brukt for å hente ut data fra NTE sitt system.

Forord

Denne oppgaven er skrevet i løpet av våren 2012 på oppdrag fra Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk avdeling Nett. Rapporten er avslutningen av studiet på Energi og Miljø med fordypning innen Elkraftteknikk.

Veileder har vært førsteamanuensis II ved institutt for elkraftteknikk og seniorforsker ved Sintef Energiforskning AS, Eivind Solvang. Jeg vil bruke muligheten for å takke han for all hjelp med denne rapporten. Han har mange års erfaring fra vedlikeholdsarbeid og har vært en veldig god ressursperson og motivator under arbeidet.

Jeg vil takke veilederen min Hans Wigen Finstad hos Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk som har bidratt til å følge opp rapporten sammen med meg, gitt meg informasjon og vist meg hvordan vedlikehold er i arbeidslivet.

Jeg vil også takke Frode Molden hos Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk for å ha delt av sin kunnskap og erfaring angående observasjoner og vedlikehold. Uten slik kunnskap hadde oppgaven vært vanskelig å gjennomføre.

Trondheim 20. Juni 2012

Eirik Thorshaug

Sammendrag

Det er innledningsvis i denne masteroppgaven gått inn på prosjekter som er pakket sammen med observasjoner og annen type informasjon som skal hjelpe nettutvikler med å prioritere og reinvestere prosjekter.

Et hendelsestre for hver observasjon er så laget for å vise hvilke typer uønskede hendelser som kan inntreffe. Om en observasjon får en uønsket hendelse, er det ikke sikkert at det fører til et utfall. Det er derfor presentert en sannsynlighet for utfall i kapittelet om hendelsestre. Denne sannsynligheten for utfall brukes for å regne ut kostnadskonsekvensen sammen med varslet og ikke-varslet avbruddskostnad.

Videre er det gått mer inn på observasjonene og hvilke typer som kan rapporteres fra et mastepunkt siden fokuset i denne rapporten er på mastepunkt. Observasjonene som er tatt med i denne delen er kun de som har degradering og som kan generere en levetidskurve. Fra levetidskurven er det mulig å få ut en kurve og en tabell over sviktsannsynligheten. Denne sviktsannsynligheten er basert på den forventede levetiden og 10%-kvantilen for hver observasjon. Forventet levetid og 10%-kvantilen brukes i en topunktsanalyse for å generere sviktsannsynligheten.

Deretter er det brukt en formel for aggregering av sviktsannsynligheten. Der det er kun observasjoner av samme type som aggregeres sammen. Dette gjøres på grunn av at forskjellige observasjoner kan ha forskjellige reparasjons- og avbruddskostnader. I tillegg kommer sannsynlighet for utfall inn.

I kapittel 5 blir regnearket som er laget for aggregering av observasjoner gått igjennom. I dette regnearket legges sannsynligheten for svikt inn sammen med avbrudds- og reparasjonskostnader. Det legges også inn antall observasjoner, sannsynlighet for utfall og kalkulasjonsrente.

Når alle tallene for observasjonene er lagt inn, legges observasjonene sammen i det siste regnearket og man får ut en tabell og en kurve over de forventede kostnadene som er nåverdiberegnet ut i fra kalkulasjonsrenten.

Ut i fra denne kurven og tabellen er det mulig å se når de største kostnadene kan inntreffe, og derfra er det mulig å si noe om når reinvesteringene kan gjøres. Man får en oversikt over om det er enkelte observasjoner som genererer store kostnader enkelte år og som bør reinvesteres før andre observasjoner.

I regnearket er det også mulig å legge inn investeringskostnader, samt i hvilket år man ønsker å reinvestere. Alle tallene som presenteres er nåverdiberegnet og presenteres for hvert år i en analyseperiode på 30 år.

Videre blir det gått inn på hvordan aggregeringen fungerer og hvordan det går an å aggregere forskjellige observasjoner. Om det aggregeres for forskjellige observasjoner sammen, kan det ikke legges inn kostnader siden disse er forskjellige for hver observasjon.

Det blir også sett på hvordan topunktsanalysen fungerer og det er vist eksempel av når en type observasjon blir aggregert for 1 til 5 observasjoner. Det som vises da er at kurven for sviktsannsynligheten vokser og man får større sannsynlighet for svikt tidligere i tid. Dette er logisk siden man for flere observasjoner har større sannsynlighet for svikt tidligere i tid. Så for én observasjon kan kurven være slakk, men om man aggregerer inn flere observasjoner vil den bli spissere, altså større sannsynlighet for svikt, og flyttes frem i tid.

Etter at det er sett på hvordan aggregeringen fungerer og hvordan den brukes med kostnader, er det sett på tre reelle prosjekter fra NTE. I disse prosjektene er det observasjoner som kan generere sviktsannsynlighetskurver. Hvert prosjekt er regnet på med kostnader. Når det er kjørt en analyse av prosjektet basert på aggregering av observasjoner, blir det satt opp to eksempler ut i fra hvordan de forventede kostnadene fordeler seg ut over analyseperioden.

I alternativene er det gjort reinvesteringer der det reinvesteres for hele prosjektet i samme år, og der det reinvesteres noe i tidligere år og resten av ved et passende tidspunkt senere i analyseperioden.

Ofte vil en svikt trigge hele reinvesteringen, men det regnes også på å reinvestere over flere år.

I siste kapittel er det foretatt en følsomhetsanalyse som ser på faktorer som påvirker aggregeringen. Der er det gjort små forandringer på antall observasjoner, sannsynlighet for utfall og avbruddskostnaden. Det viser seg der at sannsynlighet for utfall og avbruddskostnaden har mye å si. Mens antall observasjoner har mest å si om det er en kritisk observasjon med høy sannsynlighet for svikt. Det vises også at investeringen er viktig om denne er høy sammenlignet med avbruddskostnadene.

Abstract

The introduction of this thesis are looking at projects that are packaged together with observations and other information that will help develop networks to prioritize projects and reinvest.

An event tree for each observation is then made to show the types of adverse events that may occur. If an observation is an undesirable event, it is not certain that it leads to an outcome. It is therefore presented a likely outcome in the chapter on event tree. The probability of outcomes is used to calculate the cost impact with the notified and non-notified interruption cost.

Furthermore, it has been looked at the observations and the types that can be reported from a mast point since the focus of this report is on the mast section. The observations that are included in this section are only those with degradation and those that can generate a lifetime curve. From the lifetime curve is possible to obtain a curve and a table of failure probability. The failure probability is based on the expected lifetime and 10% percentile for each observation. The life expectancy and 10% percentile used in a two-point analysis to generate the failure probability.

Then there is a formula used for aggregation of the failure probability. Where there are only observations of the same type that are aggregated together. This is because different observations may have different repair and disruption costs. In addition, the probability of the outcome will be taken in.

In Chapter 5 the worksheet that is designed for aggregation of observations are looked at. In this spread sheet the probability of failure in combination with the disruption and repair costs are put in. So is the number of observations, likely outcomes and discount rate.

When all the numbers of observations are added, the observations will be summarized in the last worksheet and you will get a table and a graph of the expected cost in the present value calculated from the discount rate.

Based on this curve and the table it is possible to see when the greatest costs occurring, and from there it is possible to say when reinvestments can be made. It is possible to get an overview of whether there are some observations that generate high costs in some years and should be reinvested before other observations.

In the worksheet, it is also possible to include investment costs, and in which year you wish to reinvest. All figures presented are net present value calculated and presented each year in an analysis period of 30 years.

Furthermore, it has looked at how the aggregation works and how it is possible to aggregate the different observations. If it is aggregated for different observations together, it can not be added since these costs are different for each observation.

It is also looked at how two-point analysis works, and it is shown an example of when a type of observation will be aggregated for 1 to 5 observations. What appears then, is that the curve for the failure probability is growing and there is a greater likelihood of failure earlier in time. This is logical since one of several observations are more likely to failure earlier in time. So for one observation the curve can be smooth, but if you aggregate the number of observations will be sharper, that is a greater likelihood of failure, and the curve is moved ahead in time.

After the aggregation and how it is used with costs, a set of three real projects from NTE is looked at. In these projects there are some observations that can generate failure probability curves. Each project is considered with of costs. When running an analysis of the project based on the aggregation of observations, there will be two examples based on how the expected cost of benefits beyond the analysis period.

The alternatives there are made reinvestments which are reinvested for the entire project in the same year, and where nothing is reinvested in prior years and remaining at an appropriate time later in the analysis period.

Often, a failure triggering the reinvestment, but it is also considered to reinvest over several years.

In the last chapter, there has been a sensitivity analysis that looks at factors that affect the aggregation. There are small changes made on the number of observations, likely outcomes and disruption costs. It turns out that the likely outcome and interruption cost a lot to say. While the number of observations have the most to say about it is a critical observation with a high likelihood of failure. It also appears that the investment is important about this is high compared with the interruption costs.

Definisjoner [1]

Tilstandskontroll:

Aktivitet som utføres for å samle inn data/verdier som sier noe om tilstanden på komponenten/utstyret. Data presenteres og sammenlignes mot f.eks. en akseptverdi for å si noe om verdien er i overenstemmelse med gitte krav.

Risiko:

Kombinasjonen av sannsynligheten til en uønsket hendelse og tilhørende konsekvens.

Vedlikehold:

Kombinasjonen av alle tekniske, administrative og ledelseshandlinger gjennom enhetens levetid som har til hensikt å opprettholde en enhet i, eller gjenopprette den til, en tilstand der den kan utføre en krevd funksjon.

Forebyggende vedlikehold:

Vedlikehold som utføres etter forutbestemte tidsintervall eller i henhold til fastsatte kriterier, og som har til hensikt å redusere sannsynligheten for svikt eller nedsettelse av funksjonsevnen til en enhet.

Korrigerende vedlikehold:

Vedlikehold som utføres etter feiloppdagelse, og som har til hensikt å bringe en enhet i en tilstand der den kan utføre en krevd funksjon.

Aggregering:

Sammenslåing av enkeltstående statistikk eller informasjon til større statistiske målinger.

Avvik:

En forskjell mellom beregnet, observert eller målt verdi eller tilstand, og den opprinnelige teoretiske riktige tilstanden.

Reinvestering:

Utskifting av eksisterende enhet med en ny. Den nye enheten forutsettes dimensjonert i henhold til de forutsetninger som gjelder ved utskiftingstidspunktet.

Befaring:

Omfattende undersøkelse av en enhet som krever visse forberedelser, og som må utføres av sakkyndig og befaringsvant person.

Konsekvens:

Konsekvensen av en feil eller avbrudd. Måles i kroner av avbruddskostnaden i KILE, omdømme eller ressursbruk.

Sviktsannsynlighet/feilsannsynlighet:

Sannsynlighet for at en enhet svikter i en gitt tidsperiode.

Svikt:

Opphør av en enhets evne til å utføre en krevd funksjon. Etter svikt har enheten en feil. Svikt er en hendelse, i motsetning til feil, som er en tilstand.

Aldringssvikt:

En svikt der sannsynligheten for at den opptrer øker med tiden. Denne tiden er uavhengig av driftstiden til enheten.

Utfall:

En svikt langs linjen har skapt et avvik hos en komponent som gjør at den ikke kan utføre en ønsket funksjon og linjen fører ikke strøm. Et utfall fører til at bedriften må betale avbruddskostnader.

Reparasjon:

Den del av korrigerende vedlikehold der manuelle handlinger utføres på en enhet.

Feil:

En tilstand for en enhet karakterisert ved en manglende evne til å utføre en krevd funksjon, bortsett fra manglende evne på grunn av forebyggende vedlikehold eller andre planlagte handlinger, eller på grunn av manglende eksterne ressurser.

Kritisk feil:

En feil som er vurdert som sannsynlig å resultere i personskade, vesentlig materiell skade eller andre uakseptable konsekvenser.

NetBas:

NetBas er et program for nettutvikling og vedlikehold laget av bedriften Powel. Det inkluderer databaser med statistikk og nettutviklingsverktøy.

Feilanalyse:

Logisk og systematisk undersøkelse av en enhet for å identifisere og analysere sannsynligheten, årsakene og konsekvensene av potensielle feil.

Innholdsfortegnelse

Tabelliste	1
Figurliste	2
1. Innledning	4
2. Prosjekter	6
3. Hendelsestre	9
3.1 Mast – Tre - Hakkespetthull	9
3.2 Mast – Tre - Råteangrep	11
3.3 Mast – Tre – Skjev	13
3.4 Mast – Skade mast (hugg/slag > 4cm)	15
3.5 Mast – Tre - Topphette mangler	17
3.6 Mast – Fotbolt – Løsnet/defekt	19
3.7 Mast – Tretravers - Råte.....	21
3.8 Travers – Råte - Kritisk	23
3.9 Andre observasjoner	24
4. Levetidskurve og sviktsannsynlighet	25
5. Regneark til aggregering og nåverdiberegning	29
5.1 Observasjoner	29
5.2 Nåverdiberegningsarket:	33
5.3 Summering	35
5.4 Nåverdi av investering	37
6. Aggregering av sviktsannsynlighet	39
6.1 Aggregering	39
6.2 Aggregering ved bruk av levetidskurve med T1 til T4.....	41
6.2.1 Samme type observasjoner og lik restlevetid.....	41
6.2.2 Samme observasjon, forskjellig restlevetid.....	42
6.3 Aggregering med bruk av topunksanalyse	43
6.3.1 Samme type observasjoner.....	43
6.3.2 Forskjellige typer observasjoner	45
6.3.3 Samme type observasjoner med avbruddskostnader	50
6.4 Aggregering av flere forskjellig observasjoner	52
7. Analyse av reelle prosjekter fra NTE	54
7.1 Prosjekt 1, 12361 NORD L2215 AUNE, REINVESTERING	55
7.1.1 Alternativ 1	61
7.1.2 Alternativ 2	63
7.2 Prosjekt 2, 12386 L2701 Otterøy, Reinvestering.....	65
7.2.1 Alternativ 1	71
7.2.2 Alternativ 2	73
7.3 Prosjekt 3, 12364 – L5052 Bangsjølinja– Mange observasjoner – Følling- 22KV1.....	75
7.3.1 Alternativ 1	81
7.3.2 Alternativ 2	83
7.4 Følsomhetsanalyse av Prosjekt 1	86
8. Diskusjon	89

9. Konklusjon	93
10. Videre arbeid	95
11. Referanser	96

Tabelliste

<i>Tabell 1, Aggregert to forskjellige typer observasjoner</i>	47
<i>Tabell 2, Aggregert fra 1 til 5 observasjoner av samme type</i>	51
<i>Tabell 3, 5 forskjellige observasjoner med avbruddskostnader</i>	52
<i>Tabell 4, Aggregerte observasjoner med avbruddskostnad i prosjekt 1</i>	59
<i>Tabell 5, Prosjekt 1, alternativ 1</i>	61
<i>Tabell 6, Prosjekt 1, alternativ 2</i>	63
<i>Tabell 7, Nåverdi av investering i Prosjekt 1, alternativ 2</i>	64
<i>Tabell 8, Aggregerte observasjoner med avbruddskostnader</i>	69
<i>Tabell 9, Prosjekt 2, alternativ 1</i>	71
<i>Tabell 10, Prosjekt 2, alternativ 2</i>	73
<i>Tabell 11, Nåverdi av aggregerte observasjoner Prosjekt 3</i>	79
<i>Tabell 12, Prosjekt 3, alternativ 1</i>	81
<i>Tabell 13, Prosjekt 3, alternativ 2</i>	83
<i>Tabell 14, Prosjekt 1, følsomhetsanalyse</i>	86
<i>Tabell 15, 1 observasjon av type 2 i stede for 2 observasjoner</i>	87
<i>Tabell 16, Halvert ikke-varslede avbruddskostnader</i>	88

Figurliste

Figur 1, Mast - tre - hakkespetthull.....	9
Figur 2, Mast - tre - råteangrep.....	11
Figur 3, Mast - tre - skjev.....	13
Figur 4, Mast - Skade mast (hugg/slag > 4cm)	15
Figur 5, Mast - tre - topphette mangler.....	17
Figur 6, Mast - fotbolt - Løsnet/defekt.....	19
Figur 7, Mast - tretravers - råte.....	21
Figur 8, Travers - råte - kritisk	23
Figur 9, Eksempel på levetidskurve	25
Figur 10, Levetidskurve fra T1, T2, T3 og T4	26
Figur 11, Forventet levetid på 15 år, resterende levetid 5 år	27
Figur 12, Forventet levetid på 15 år, resterende levetid 10 år	27
Figur 13, Levetid på 30 år	28
Figur 14, Oversikt over regnearket til en type observasjon.....	29
Figur 15, Regnearket for nåverdiberegning som regner ut nåverdien fra observasjonene.....	33
Figur 16, Summering av avbrudds- og investeringskostnader	35
Figur 17, Beregning av nåverdien av investeringene	37
Figur 18, Aggregering av opp til 5 observasjoner med resterende levetid på 10 år.....	41
Figur 19, Aggregert topunksanalyse med forventningsverdi 20 år og 10%-kvantil på 10 år	43
Figur 20, Aggregert topunksanalyse av Travers - tre - råte	44
Figur 21, Topunksanalyse av to forskjellige observasjoner	45
Figur 22, Aggregert 1 observasjon fra fotbolt løsnet/defekt og 4 observasjoner råte i mast. Sviktsannsynlighet på y-aksen og antall år på x-aksen	46
Figur 23, Eksempel på aggregering av to forskjellige typer fiktive observasjoner .	48
Figur 24, Aggregert fra 1 til 5 observasjoner av samme type	50
Figur 25, 5 forskjellige observasjoner med avbruddskostnad	52
Figur 26, Oversiktsbildet av prosjekt 12361.....	55
Figur 27, Enlinjeskjema prosjekt 1.....	56
Figur 28, Observasjon 3, Mast - tretravers - råte.....	57
Figur 29, Observasjon 7, Mast - tre - råteangrep.....	57
Figur 30, Aggregerte observasjoner med avbruddskostnad i prosjekt 1.....	59
Figur 31, Prosjekt 1, alternativ 1	61
Figur 32, Prosjekt 1, alternativ 2	63
Figur 33, Oversiktsbildet av Prosjekt 2	65
Figur 34, Enlinjeskjema Prosjekt 2.....	66
Figur 35, Aggregerte observasjoner med avbruddskostnader.....	69
Figur 36, Prosjekt 2, alternativ 1	71
Figur 37, Prosjekt 2, alternativ 2	73
Figur 38, Nåverdi av investering Prosjekt 2, alternativ 2	74
Figur 39, Oversiktsbilde av Prosjekt 3	75
Figur 40, Enlinjeskjema Prosjekt 3, markert i rosa	76
Figur 41, Nåverdi av aggregerte observasjoner Prosjekt 3.....	78
Figur 42, Prosjekt 3, alternativ 1	81
Figur 43, Prosjekt 3, alternativ 2	83
Figur 44, Nåverdi av investeringer Prosjekt 3.....	84

Figur 45, Prosjekt 1, følsomhetsanalyse 86

1. Innledning

Vedlikehold og hvordan nettet styres har fått lite oppmerksomhet opp igjennom årene. Det har ofte bare blitt reinvestert der men føler for å reinvestere og det har ikke vært en skikkelig plan for hvordan det skal gjøres.

Noen nett har blitt kjørt til utfall før de reinvesteres, og dette kan føre til at omdømme til nettleverandøren blir dårlig.

Det å kunne bruke informasjon man allerede sitter på for å prioritere når en reinvestering skal bli tatt, vil være til stor hjelp for en nettleverandør. Den informasjonen som er mest relevant å bruke er innrapporterte observasjoner. Observasjonene har ikke en tilstandsverdi, så de må beregnes ut i fra forventet levetid. Utfordringen er at det ikke er erfaring med hva verdiene for forventet levetid skal være. Så i denne rapporten er forventningsverdien basert på tall man regner med stemmer overens med virkeligheten. Men etter at de har blitt tatt i bruk kan det vise seg at de trenger å justeres.

Det er viktig å merke seg at en metode for vedlikeholdsstyring ikke er en fasit for hvordan virkeligheten er. En slik metode er kun et hjelpemiddel for å se helheten til et prosjekt og hjelpe til med å få en oversikt over prioriteringer basert på erfaringsdata.

Den menneskelige faktoren kommer aldri til forsvinne. Siden det å kunne se helheten i et prosjekt i tillegg til erfaringsbasert kunnskap, alltid vil være det beste.

Hvis man alltid skal prioritere med hensyn til prosjekter med de største kostnadene vil de små prosjektene i grisgrendte strøk bli glemt. Det er selvsagt mulig å sette av midler i reinvesteringbudsjette som skal dekke både store og små prosjekter, men i all hovedsak vil det være opp til vedlikeholdsavdelingen å avgjøre hvilke prosjekter som skal pakkes og hvordan de skal se ut. Prioriteringen deretter vil bli gjort slik at man tar med de mest kritiske prosjektene. Dette vil gjøres av erfaring med hvilke prosjekter som er viktige og ikke. Metoden for vedlikeholdsstyring kan i denne sammenhengen være med å gi en pekepinn på rekkefølgen av prioriteringene.

Formålet med denne masteroppgaven er å komme frem til en metode som tar informasjon som allerede finnes i NetBas og gjør denne om til data som kan brukes til å prioritere prosjekter. I tillegg skal det undersøkes i hvilken grad en svikt kan føre til utfall. Selv om det er en svikt er det ikke sikkert den fører til utfall. Kostnadene påvirkes i forhold til om en svikt fører til en uønsket hendelse som igjen fører til utfall.

Det skal etableres forventningsverdier til observasjoner og hvordan disse skal brukes i videre arbeid. Disse verdiene for samme type observasjoner skal igjen kunne aggregeres sammen slik at man får en sannsynlighet for svikt.

Observasjonene hentes ut fra NetBas for så å modelleres sammen med kostnader og reinvesteringer i Microsoft Excel.

Ut i fra dette skal det vises fremgangsmåte og hvordan metoden er bygd opp. Etter metoden er testet ut er det viktig å se om den er virkelighetsnær. En ting er å ha en metode for å beregne kostnader ut i fra observasjoner, men det er viktig å se på om metoden stemmer overens med slik det ser ut i virkeligheten.

Rapporten er bygd opp kategorisk der den starter med hva som finnes i de prosjektene som er pakket fra vedlikeholdsavdelingen. Videre blir det gått inn på observasjonene og hendelsestreet med uønskede hendelser og hva som kan skje med sannsynlighet for utfall.

Deretter blir forventningsverdier fra observasjonene brukt til å skape levetidskurver og kurver over sviktsannsynlighet. Disse kurvene for sviktsannsynlighet blir etter det aggregert sammen for hver type observasjon og lagt sammen med kostnadene som er i et prosjekt.

Til slutt blir metoden for aggregering av observasjoner brukt på reelle prosjekter for å se utslag og hvordan metoden kan brukes. Det blir også kjørt en følsomhetsanalyse for å se på hvilke data i metoden som gjør utslag på resultatet.

Det har igjennom hele oppgaven, samt prosjektoppgaven før jul, blitt foretatt en del besøk på NTE sitt kontor på Steinkjer. Det meste av kunnskapen som vises i denne rapporten kommer fra muntlige samtaler med ansatte på vedlikeholds- og nettavdelingen der. Det har også vært jobbet med observasjoner og søk etter statistikk i databasene hos NTE under sommerjobb sommeren 2011, noe som har gjort denne oppgaven mer oversiktlig.

2. Prosjekter

I NTE sin database ligger det veldig mange observasjoner. Disse observasjonene er samlet inn over lang tid og er sortert etter type, hvor de sitter og hva observasjonen gjelder. Slike observasjoner kan se slik ut.

Kontrollpunkt	Komponenttype	Status	Tilstandsverdi	Byggeår	Radial
Mast - tre - skade på mast (hugg/slag > 4 cm)	MS	Vurdert	2. Ikke OK	1900	TUNNSJØ-22TR1

Under kontrollpunkt er det listet opp punktvis. Først er det valgt Mast, deretter at observasjonen gjelder Treet på masten og til slutt at det er et hugg/slag som er større enn 4cm.

Komponenttype beskriver at det er MS, altså en mastestasjon. Der kan det også være beskrevet som en NS som er en nettstasjon.

Ved status er denne observasjonen satt til Vurdert. Det vil at det er sett på av tilsatte på vedlikehold og vurdert av de. Tilstandsverdien sier at det er Ikke OK, altså et avvik. Byggeåret er satt til 1900 som mange andre observasjoner i databasen til NTE siden byggeåret er usikkert eller uvisst. Med undersøkelser kan være mulig å finne ut byggeåret på komponenten, men det kan være tidkrevende. Hvis man har byggeår er det enkelt å finne alderen, men i denne oppgaven skal det fokuseres mer på resterende levetid siden dette gir et bedre utgangspunkt for levetidskurve og sviktsannsynlighet.

Radialen beskriver hvilken avgang observasjonen ligger under. Ofte vil et prosjekt der flere observasjoner er samlet være under samme radial. En radial er begrenset til et geografisk området og vil være naturlige grenser for et prosjekt der flere observasjoner skal tas med.

Databasen med observasjoner ligger i NetBas Arkiv hos NTE. Herfra kan det hentes ut observasjoner ut i fra radial, geografisk område eller type. Det er også mulig å se observasjoner i kart eller hente ut de observasjonene som er lagt inn i et prosjekt. I denne rapporten vil det bli brukt observasjoner som er hentet ut i fra reelle prosjekter.

Ved å hente ut observasjoner på kart kan det være enklere å få oversikt over et området, og om det har mange observasjoner som det bør sees nærmere på. Observasjonene er markert med et rødt flagg. Lite flagg er en vanlig observasjon, mens et stort flagg vil være kritiske observasjoner.

Fra kartet er det mulig å gå inn på en observasjon og se hva den gjelder, og også se på et høyoppløselig bilde om observasjonen er fra helikopterbefaring. Et bilde som dette kan være til stor hjelp for å få oversikt over mastepunktet og om det er

avvik langs en radial. Samtidig kan dette bli en stor fordel om noen år når helikopterbefaring skal gjøres for andre gang og man kan se på utviklingen komponentene har hatt i en 10-årsperiode.

Helikopterbefaring blir gjort hvert tiende år. Det vil si at hvert tiende år skal det komme nye bilder der man kan sammenligne utviklingen. Det vil være til stor hjelp og kunne se på dette og vite hvordan forskjellige observasjoner utvikler seg over tid.

Et prosjekt som er pakket med observasjoner som det skal gjøres noe med, inneholder som oftest en "Bakgrunn for prosjekt" der det er begrunnet hvorfor dette prosjektet er laget, linjelengde, byggeår og om nødvendig annen informasjon. I tillegg er det også et "Forslag til tiltak" der vedlikeholdspersonalet har et forslag til hva som kan gjøres med observasjonene. Det kan være reinvestering, forebyggende vedlikehold eller tilstandskontroll . Denne posten kan også inneholde hva slags diameter kablen skal være eller hvilke komponenter som skal byttes ut. Forslaget er et eksempel på hva som kan gjøres og det er ikke dermed sagt at det er slik det blir etter at det er satt opp flere alternativer med nåverdiberegninger.

I tillegg inneholder prosjektene alle observasjonene som det er planlagt å gjøre noe med. Dette skal være til hjelp for nettutvikler og netteier i arbeidet med å beregne hva som skal gjøres, samt beregne kostnadene ved de forskjellige alternativene.

Observasjonene har ingen form for tilstandsverdi eller lignende selv om det jobbes med en metode som skal gradere tilstand fra 1 til 6. I denne rapporten er det i hovedsak sett på hva man kan få ut av de data som er tilgjengelige per dags dato, altså observasjonene i seg selv som vist i starten på kapittelet. Det vil bli presentert en metode der man har flere parametere og trenger tilstandsverdi eller resterende levetid for å få ut sviktsannsynligheten. Siden NTE ikke har samlet nok tilstandsverdier vil det bli tatt utgangspunkt i en topunktsanalyse der man ikke trenger tilstandsdata.

Det er 96 forskjellige typer kontrollpunkt man kan rapportere avvik på. I denne rapporten er det valgt å fokusere på mastepunkt siden dette er noe som kan sees med det blotte øyet og det som på best måte kan dokumenteres. I første omgang er det plukket ut observasjoner som forekommer flest ganger. Disse observasjonene ble tegnet inn i et hendelsestre og det ble sett på uønskede hendelsene som kunne forekomme ut i fra observasjonene. Noen av observasjonene ble utelatt grunnet manglende kunnskap om hendelse eller av årsaker som montasjefeil.

Med utgangspunkt i hendelsestreet med observasjonene og hvilke hendelser som kunne føre til utfall ble det satt en gjennomsnittlig resterende levetid for hver observasjon basert på fra observasjonen ble gjort. Denne resterende levetiden ble delt opp i fire deler, T1, T2, T3 og T4 som representerer hvor mange år en viss tilstand varer. Der T1 er så god som ny eller i dette tilfelle når observasjonen var gjort, og T4 er siste tilstand før en svikt og har en varighet som er betydelig lavere enn T1 siden tilstanden som oftest forverres eksponentielt.

De fire aldersparametrene brukes til å få en levetidskurve, som igjen kan overføres til en sviktsannsynlighetskurve ved å vite restlevetid eller alder.

Det ble også samlet inn data for å kunne kjøre en topunktsanalyse siden metoden som står over ikke kan gjennomføres på grunn av manglende tilstandsdata per dags dato. Metoden vil uansett bli gjennomgått for hvordan den brukes.

For topunktsanalysen brukes levetiden som er summen av T1, T2, T3 og T4 som forventningsverdi, og det ble satt en 10%-kvan til for hver observasjon. En topunktsanalyse er ikke like nøyaktig som å bruke parametrene T1 til T4, men er allikevel en metode som vil hjelpe til med bestemme når og hvilke investeringer som skal skje.

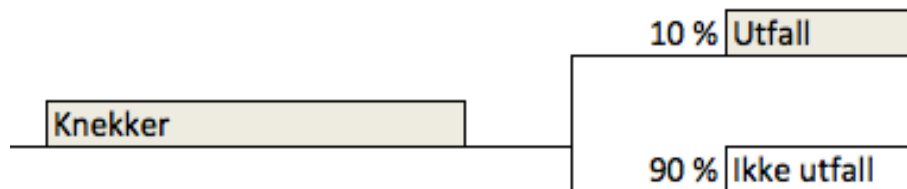
I tillegg til dette, er enden på hendelsestreet, der de forskjellige hendelsene som kan skje og om de fører til utfall svært viktige. Det er utarbeidet en sannsynlighet for om en hendelse vil skje, om denne hendelsen skjer, samt hvor stor sannsynligheten for utfall er.

3. Hendelsestre

Dette kapitlet handler om feilanalyse og uønskede hendelser som kan inntreffe og om de fører til utfall. Dataene fra dette kapitlet er basert på erfaring fra vedlikeholdsavdelingen på NTE. Fokuset ligger på sannsynligheten for at utfall vil skje om en svikt inntreffer. Sannsynligheten for at eksempel en mast knekker vil bli tatt opp i forhold til topunktsanalyse og analyse av metoden med data fra T1 til T4.

Den uønskede hendelsens sviktsannsynlighet baseres på forventet levetid og 10%-kvantil.

3.1 Mast – Tre - Hakkespetthull



Figur 1, Mast - tre - hakkespetthull

Per dags dato skilles det ikke mellom store og små hull, men dette er et ønske som skal gjøre det lettere for de som jobber i vedlikehold og på nettavdelingen. Det tas derfor utgangspunkt i et middels hakkespetthull på dette punktet.

Her er det snakk om hakkespetthull på mast. Dette er et problem som går igjen oftere hos eldre master da disse er slitte og kreosotimpregneringen er dårlig, noe som svekker treverket og gjør at det er enklere å hakke hull i. I tillegg merkes en observasjon som hakkespetthull om det er en spettsmie også. Det vil si at en hakkespett finner en sprekk, som oftest i eldre stolper, og hakker de større slik at de kan sette fast kongler i den for å spise. En slik utvidelse av en sprekk vil også føre til at råte vil fremskyndes om sprekken går innenfor kreosoten.

Ved hakkespetthull er det kun en hendelse som kan skje, og det er at det blir råte som forårsaker at masten knekker. Råte vil ikke inntreffe for en ny stolpe om det ikke kommer dype hakkespetthull siden de er innsatt med kreosotimpregnering som beskytter mot råteangrep. Etter hvert vil denne kreosoten forsvinne på grunn vær og vind, men dette tar mange år. Det er vurdert at en gjennomsnittlig observasjon av hakkespetthull vil bruke 15 år før den knekker.

Med denne levetiden er de forskjellige alderne på tilstandene satt til:

$$T1 = 8$$

$$T2 = 4$$

$$T3 = 2$$

$$T4 = 1$$

Med disse tallene pluss 10%-kvantilene for de fire er det mulig å få ut en levetidskurve. 10%-kvantilene er satt ut ifra hvor sikker man i sine antakelser på om masten knekker.

I dette tilfelle med hakkespetthull er det mer usikkert og 10%-kvantilen reflekterer det her ved at den er relativt lav.

10%-kvantil:

$$T1 = 3$$

$$T2 = 1,5$$

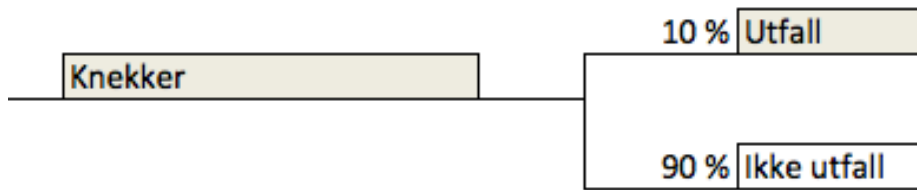
$$T3 = 0,75$$

$$T4 = 0,5$$

I tillegg til levetidskurven er det også interessant å se på om hendelsen fører til utfall. I dette tilfelle kan det vises at kun 10% av mastene som knekker vil føre til utfall, men 90% fortsatt vil føre strøm. Denne faktoren blir derfor med i tillegg til levetidskurven og sviktsannsynligheten.

For topunktsanalysen brukes forventet levetid på 15 år og en 10%-kvantil på 7 år.

3.2 Mast – Tre - Råteangrep



Figur 2, Mast - tre - råteangrep

Hendelsestreet for råte er det som oftest går igjen i et mastepunkt siden både mastestolpe og travers består av tre der råte kan inntreffe. Samtidig vil den vanligste uønskede hendelsen for utfall være at en travers eller stolpe knekker.

Per dags dato er det ikke delt opp i lite, middels og mye råte, men det er et stort ønske fra vedlikehold å dele det opp slik siden råte kan være veldig variabelt og det å skille mellom tre typer råte kan være opp til 10 års forskjell på levetid.

Observasjonen her er råte i mast, og den uønskede hendelsen vil være at råtten blir så utbredt at stolpen knekker. Om stolpen knekker vil det gi en sannsynlighet for utfall på 10%, og 90% at stolpen fremdeles står i spenn mellom to mastepunkt eller på grunn av den andre stolpen i mastepunktet om det er en H-mast.

Denne observasjonen registreres om man ikke regner med mer enn 75% degradering i løpet av 10 år. Siden befaring skal foregå hvert 10. år skal den som setter denne observasjonen være sikker på at masten vil stå om det skjer 75% degradering i løpet av de årene.

For observasjonen med råte er det satt disse alderne for de forskjellige tilstandene:

T1 = 10

T2 = 6

T3 = 3

T4 = 1

I og med at observasjonen er ganske vanlig, er de på vedlikehold ganske sikre på at dette stemmer og 10%-kvantilene derfor er litt høyere enn for observasjonen med hakkespetthull.

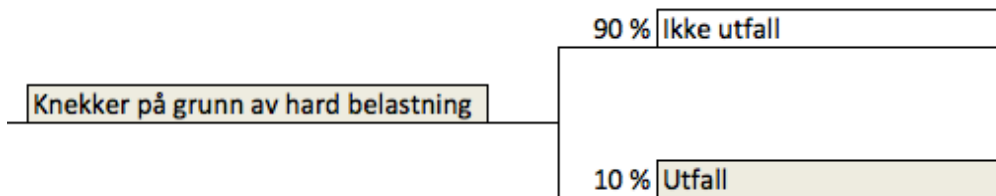
T1 = 5

T2 = 3
T3 = 2
T4 = 0,5

Som med hakkespetthull der den uønskede hendelsen er at den knekker, er det i dette tilfelle det samme, 10% sannsynlighet for et utfall om masten knekker og 90% sannsynlighet at den fortsatt står.

For topunktsanalysen brukes en forventet levetid på 20 år med en 10%-kvan­til på 14 år.

3.3 Mast – Tre – Skjev



Figur 3, Mast - tre - skjev

Observasjonen for Mast – Tre – Skjev skiller seg litt ut med at det aldri har ført til utfall i seg selv siden stolpene omkring vil holde den oppe i spennet mellom mastene og bardunene som støtter den. Selv om flere master er skjeve er de som oftest så godt festet at de verken knekker eller tipper over. Den eneste årsaken som kan fremskynde et utfall i dette tilfelle vil være om det er råte i tillegg til at masten er skjev. Fra observasjonen med råteangrep over er levetiden 20 år. Hvis masten er skjev som i dette tilfelle, og sammen med råte, vil levetiden synke ned til 10 år siden råte ofte oppstår ved roten og det er her kreftene på masten vil være om den er skjev.

I dette tilfelle er det nødvendig å gjøre en sjekk om mastepunktet har råte samtidig som den er skjev da dette vil utgjøre 10 år på levetiden.

For alderen til de forskjellige tilstandsverdiene vil denne observasjonen halveres i forhold til råte der levetiden er 20 år. Med 10 års levetid her vil alderen for tilstandene bli:

$$T1 = 5$$

$$T2 = 3$$

$$T3 = 1,5$$

$$T4 = 0,5$$

Som med observasjonen råteangrep er det ganske sikkert at 10%-kvantilene stemmer. Og sjansen for utfall om et mastepunkt er skjevt og har råte, og hendelsen er at den knekker vil fortsatt være 10%.

10%-kvantil:

$$T1 = 2,5$$

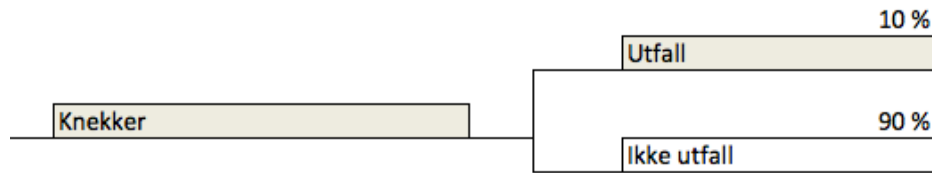
$$T2 = 1,5$$

$$T3 = 1$$

$$T4 = 0,25$$

For topunksanalyse brukes en forventet levetid på 10 år og en 10%-kvantil på 5 år.

3.4 Mast – Skade mast (hugg/slag > 4cm)



Figur 4, Mast - Skade mast (hugg/slag > 4cm)

Denne observasjonen vil ligge på lik linje som hakkespetthull siden hakkespetthullene ofte er over 4cm. Et hugg eller slag kan skyldes at biler, traktorer eller andre maskiner har vært i fysisk kontakt ned masten.

Dette kan også ha skjedd under montering av mastepunktet. Som med hakkespetthull, fremskynder dette råde om hugget eller slaget har kommet innenfor kreosotimpregneringen. På eldre master vil dette være mer alvorlig siden kreosoten ikke sitter like dypt som før.

Levetiden fra er antatt slik at masten kan knekke på 15 år.

De forskjellige alderne på tilstandene vil i dette tilfelle være:

T1 = 8

T2 = 4

T3 = 2

T4 = 1

10%-kvanterne er satt til å være ganske sikker i dette tilfelle.

I dette tilfelle kan det, som ved hakkespetthull, vises at 10% av mastene som knekker vil føre til utfall, og 90% vil ikke føre til utfall. Denne faktoren blir derfor med i tillegg til levetidskurven og sviktsannsynligheten.

Det er mer usikkert når hendelsen når 10% degradering og 10%-kvanterne reflekterer det her ved at den relativt lav.

10%-kvantil:

$$T1 = 3$$

$$T2 = 1,5$$

$$T3 = 0,75$$

$$T4 = 0,5$$

For topunktanalysen brukes en forventet levetid på 15 år og en 10%-kvantil på 7 år slik som hakkespetthull.

3.5 Mast – Tre - Toppchette mangler



Figur 5, Mast - tre - toppchette mangler

Mast – Tre – Toppchette mangler er blant de vanligste observasjonene som rapporteres. Toppchettten er den delen som beskytter toppen av ei mast for at fukt skal ligge på toppen og trekke inn i treverket. Denne observasjonen brukes om toppchettten mangler, er skjev eller har en montasjefeil. Toppchettten er festet med en bolt midt i og ned i masten. Etter mye vær og vind kan denne flytte på seg slik at boltene står på samme plass og chettten flytter seg og det oppstår et hull der fuktighet kan komme inn. En monteringsfeil kan være at boltene er skrudd for hardt igjen slik at den danner en trakt for regnvann, eller at toppchettten av plast er slitt etter mange år, sprekker og faller av.

Siden fukt legger seg på horisontale flater, som på toppen av ei mast, vil det være viktig å beskytte denne slik at råte ikke oppstår. Ikke minst bør eldre master som har mindre igjen av kreosotimpregneringen ha toppchette. Om de ikke har det, kan det gå fort før råte setter seg i toppen og får masten til å knekke.

Etter informasjon fra vedlikeholdspersonell kan ei ny mast stå i mellom 20 og 30 år uten toppchette før toppen knekker. Dette vil selvsagt gi et lavere tall for eldre master. Så for den gjennomsnittlige observasjonen for "toppchette mangler" er tid til svikt satt til 15 år.

De forskjellige alderne til tilstandene er som følger:

T1 = 10

T2 = 3

T3 = 1,5

T4 = 0,5

For råte i toppen går degraderingen ganske fort som T1 til T4 viser. Dette er på grunn av det tar en god stund før fuktighet trenger innenfor kreosoten. Men etter dette skjer og råte sprer seg vil det ekspandere kraftig og råten sprer seg fort i

toppen av masten. Etter hvert vil råten spre seg ned mot der traversen eller der linjestrekket er festet. I det punktet virker det strekk- eller trekkrefter, og når det svekkes som følge av råte, vil masten knekke i dette punktet.

Som hendelsestreet viser, vil råten føre til at travers løsner og føre til utfall i 90% av gangene da en løsnet travers vil havne inntil masten og jordingsfeil vil oppstå. Dette behøver ikke skje med en gang, men når masten først knekker er det som oftest av kraftig vær og vind. Når traversen løsner, vil vær og vind blåse den frem og tilbake, og det vil ganske kjapt komme i kontakt med noe som er jordet og utfall vil skje.

Her er vedlikeholdspersonell ganske sikker på hvordan dette foregår og 10%-kvantilen vil være deretter.

10%-kvantil:

T1 = 5

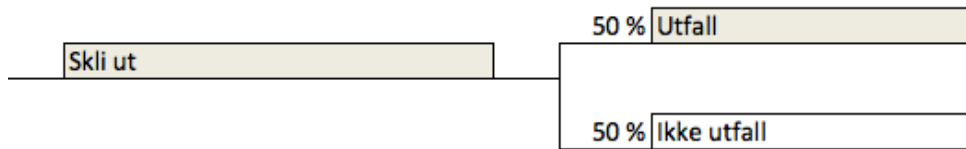
T2 = 2

T3 = 0,5

T4 = 0,25

For topunktanalysen brukes en forventet levetid på 15 år og en 10%-kvantil på 10 år.

3.6 Mast – Fotbolt – Løsnet/defekt



Figur 6, Mast - fotbolt - Løsnet/defekt

En fotbolt er en bolt som holder masten på plass ved å kile seg mellom den og grunnen den står i. Det er som oftest flere slike fotbolter som skal sikre at masten står stødig og rett opp. Om en slik bolt løsner eller er defekt, kan dette få betydning for stabiliteten i festet. Hvis dette skjer, kan stolpen få en uønsket hendelse ved at den skli ut, noe som igjen kan føre til utfall.

Det er som oftest vinterstid og ved ekstremvær at dette vil gjøre seg gjeldende. Kraftig vind kan få masten til bli skjev før den sklir ut og blir hengende. Som hendelsestreet viser, vil 50% av observasjonene få en hendelse som gjør at masten sklir ut, mens den andre 50% står stødig i for eksempel fjell, slik at den vil stå støtt uansett. Hvis masten sklir ut, kan den bli hengende mellom to mastepunkt, og dette vil skje i 50% av tilfellene. Mens i de andre 50% av tilfellene vil føre til utfall om masten treffer trær eller bakken og kortslutning vil kunne skje.

En slik observasjon kan være ganske alvorlig og sjansen for utfall om uønsket hendelse skjer er stor. En gjennomsnittlig levetid på observasjonen Mast – Fotbolt er 5 år.

De forskjellige alderne til tilstandene er som følger:

$$T1 = 2$$

$$T2 = 1,5$$

$$T3 = 1$$

$$T4 = 0,5$$

Den uønskede hendelsen her er det mer usikkerhet rundt, og 10%-kvantilen reflekterer det her ved at den relativt lav.

10%-kvantil:

$$T1 = 0,5$$

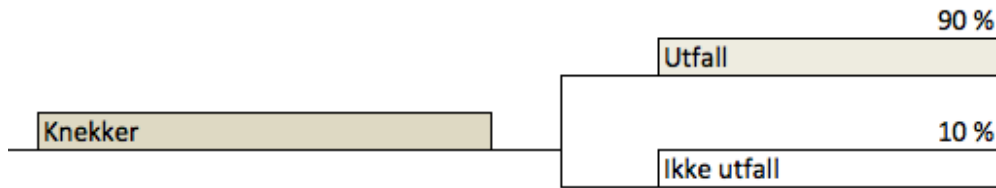
$$T2 = 0,3$$

$$T3 = 0,3$$

$$T4 = 0,15$$

For topunksanalysen vil det blir brukt en forventet levetid på 5 år og en 10%-kvantil på 2 år.

3.7 Mast – Tretravers - Råte



Figur 7, Mast - tretravers - råte

Mast - tretravers – Råte er også en veldig vanlig observasjon. Dette innebærer som observasjonen med topphette, at fuktighet blir liggende oppe på komponenten og vil til slutt trenge inn i den. Samtidig er det vanlig at eldre traverser sprekker opp, noe som gjør at fuktighet samler seg og på kort sikt fører til råte. I dette tilfelle er det ikke et stort problem på nyere traverser, men på eldre traverser er dette et stort problem.

Hvis mastepunktet står i kupert terreng, kan den stå i oppstrekk eller nedstrekk. Oppstrekk vil si at mastepunktet står lavere enn ett eller begge mastepunktene som står på hver side. Om traversen knekker i dette tilfelle, vil den henge over mastepunktet og gynge fra side til side, og mest sannsynlig treffe en av de andre fasene eller vegetasjon.

I nedstrekk vil mastepunktet ligge høyere enn ett eller begge mastepunktene på siden. Om traversen her ryker, vil den strømførende linjen ligge lavere enn når den lå på traversen. Sannsynligheten er da stor for at den vil komme ned i vegetasjon eller inntil en av mastene.

I begge tilfeller er det spenning på traversen som følge av høydeforskjeller. Dette vil fremskynde at traversen knekker om det oppstår råte.

Samtidig er det en liten sjanse for at det ikke blir utfall om det for eksempel er helt flatt eller at alt ligger til rette for at traversen knekker men at det ikke fører til utfall.

Som ved topphette mangler vil tilstanden raskt forverre seg om råte først oppstår siden fuktighet vil legge seg oppå traversen eller i sprekker. Alderen ved forskjellige tilstander vil påvirkes av dette.

Levetiden for en gjennomsnittlig observasjon av denne typen vil være på 15 år. Og fordelingen av alder i forhold til tilstand vil være slik som topphette mangler:

$$T1 = 10$$

$$T2 = 3$$

$$T3 = 1,5$$

$$T4 = 0,5$$

Dette er mer usikkert enn topphette mangler og 10%-kvantilen reflekterer det her ved å være litt lavere. 10%-kvantil:

$$T1 = 3$$

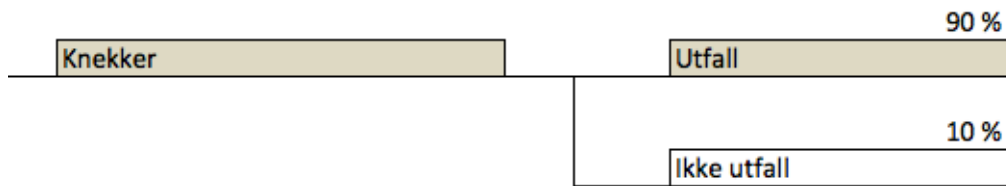
$$T2 = 1$$

$$T3 = 0,3$$

$$T4 = 0,15$$

For topunktsanalysen brukes det en forventet levetid på 15 år og en 10%-kvantil på 6 år.

3.8 Travers – Råte - Kritisk



Figur 8, Travers - råte - kritisk

Denne observasjonen er mer sjelden, men veldig kritisk. I dette tilfelle har råte spredd seg og traversen kan egentlig knekke når som helst om det kommer ekstremvær.

Det har i enkelte tilfeller vært brukt sag for å sage i veldig dårlige traverser, og de har vist seg å være helt fin innvendig. Så dette er et vanskelig punkt, og vedlikeholdspersonell regner med at en slik observasjon kan stå i 3-5 år etter hvor den står geografisk og hvor utsatt den er for vær og vind.

$$T1 = 2$$

$$T2 = 1,25$$

$$T3 = 0,5$$

$$T4 = 0,25$$

10%-kvantilen for kritisk råte i travers er:

$$T1 = 1$$

$$T2 = 0,75$$

$$T3 = 0,3$$

$$T4 = 0,15$$

For topunksanalysen brukes en forventet levetid på 5 år og en 10%-kvantil på 3 år.

3.9 Andre observasjoner

Det er også sett på andre observasjoner som isolatorer og barduner.

For isolatorer går observasjonen med bendsel/toppklemme der den har løsnet eller har glidd ut ofte igjen. Har den løsnet eller glidd ut, kommer det av montasjefeil som er vanskelig å beregne gjenstående levetid for.

En isolator kan også sprekke som følge av lynnedslag eller andre påkjenninger. Om dette ikke fører til utfall når hendelsen skjer, vil den fortsatt fungere som normalt uten at det merkes. Det vil ikke være noe degradering på en sprukket isolator, men den vil bli skiftet om det er observert sprekke. Siden det ikke er degradering inn i dette bildet vil det ikke kunne generere en levetidskurve, men den vil bli skiftet så fort noe skal vedlikeholdes eller reinvesteres på radialen.

Selvsagt vil de isolatorene som har sprukket og ført til utfall bli byttet ut med gang. Dette kan være det som trigger vedlikehold eller reinvesteringer på radialen.

Når det gjelder barduner er de med på å holde masten oppe. Om en bardun er borte eller ikke festet vil masten bli svekket ved ekstremvær, men dette vil det være vanskelig å lage en levetidkurve av siden det ikke er noen degradering her. Det er mulig å legge inn en faktor som gjør at prosjekter med observasjoner som gjelder barduner vil komme høyere opp uten levetidkurve. Der faktoren er den samme hvert år i motsetning til de observasjonene med sviktsannsynlighet som får forskjellig sannsynlighet for utfall hvert år.

Flere observasjoner som ikke har degraderinger, men har en svakhet ved seg, kan ha en faktor i forhold til hvor viktige de er i mastepunktet. De vil derfor ha en kostnadsfaktor som er konstant og som vil påvirke kostnadene i prosjektet ved at ved å sette inn en ny komponent vil kostnadsfaktoren komme bort.

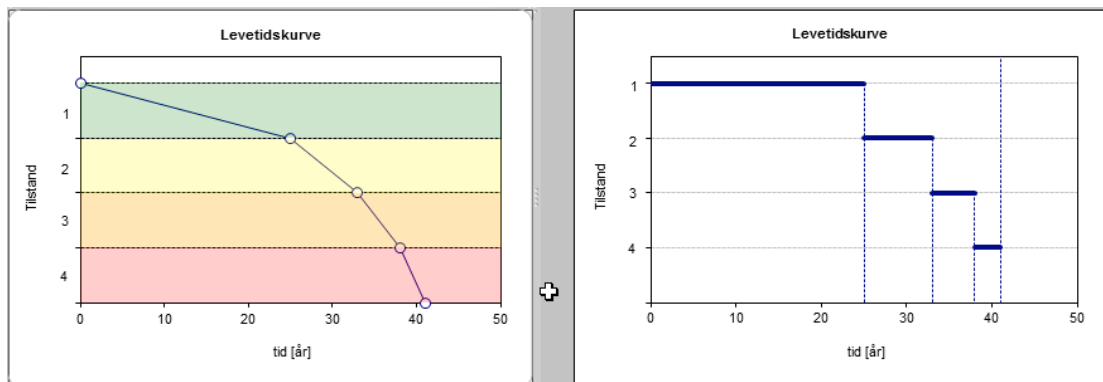
Faktorene det snakkes om her er det ikke gjort undersøkelser på i denne rapporten da det kreves veldig mye undersøkelse på hvor mye de forskjellige små komponentene har å si. Ved videre arbeid fra rapporten vil det være naturlig å se nærmere på dette. Antallet observasjoner uten degradering er veldig stort og det kan være observasjoner som kun går igjen et par ganger i året.

4. Levetidskurve og sviktsannsynlighet

En levetidskurve er en kurve generert av at man vet hvor lenge en observasjon er i en tilstand fra 1 til 4. Tilstandene er delt opp i fire, T1, T2, T3 og T4. T1 er antall år komponenten har i tilstand 1. Tilstand 1 er den tilstanden som oftest har lengst varighet siden degradering går sakte i startfasen, og eskalerer etter hvert når tilstanden forverrer seg.

Denne metoden blir ikke brukt i analysen av prosjekter siden NTE ikke har tilstandsdata per dags dato. Metoden kan være mer nøyaktig enn topunktsanalyse, men det handler mer om å ha en kurve man mener stemmer med virkeligheten. Begge metodene vil bli gått igjennom for å vise hva de går ut på, men det er kun topunktsanalysen som vil bli brukt i denne rapporten.

Et eksempel på en kurve der inndata er alder på tilstand T1 til T4 med tilhørende 10%-kvantiler kan se slik ut:



Figur 9, Eksempel på levetidskurve

Kurvene er lagd av samme inndata. Den til venstre har strekt en linje mellom punktene for å vise hvordan komponenten degraderes. Disse kurvene er generert ut i fra Sintef sine levetidsmodeller i Excel [2].

I tilstand 1 er komponenten slik den ble observert og har ikke stor sannsynlighet for svikt enda. Etter hvert vil den degraderes med økende hastighet og når den tilstand 4 er den kritisk skadd. Etter tilstand 4 vil komponenten få en uønsket hendelse som kan føre til utfall.

I tillegg til å ha antall år for hver tilstand må man også ha 10%-kvantilene til hver tilstand. Dette sier noe om når komponenten når 10% av sin tilstand.

Det er en 10%-kvantil per tilstand som også måles i alder for når komponenten når 10% degradering.

I dette kapittelet blir det gått inn på hvordan disse verdiene fungerer for de forskjellige observasjonene.

Eksempel med observasjonen Mast – Tre – Hakkespetthull

For hakkespetthull i en mast er antall år per tilstand:

$$T1 = 8$$

$$T2 = 4$$

$$T3 = 2$$

$$T4 = 1$$

Med disse tallene pluss 10%-kvantilene for de fire tilstandene er det mulig å få ut en levetidskurve.

10%-kvantil:

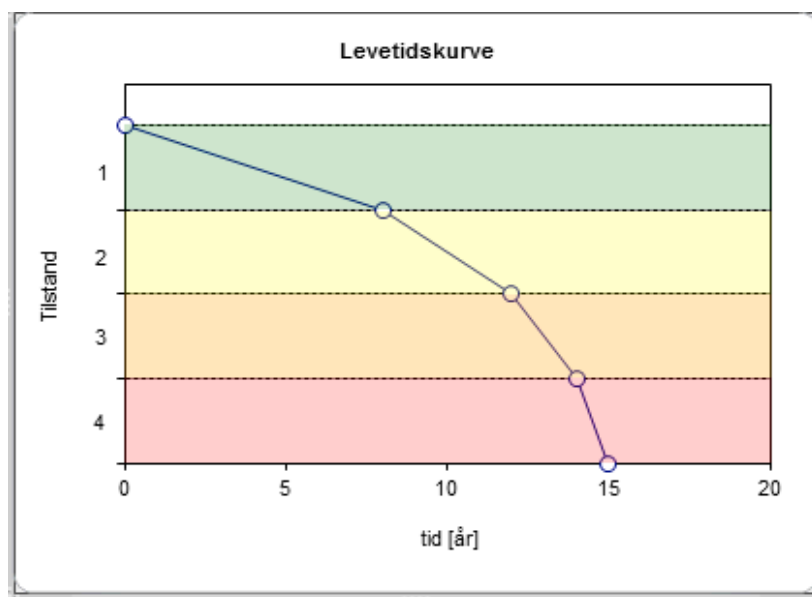
$$T1 = 3$$

$$T2 = 1,5$$

$$T3 = 0,75$$

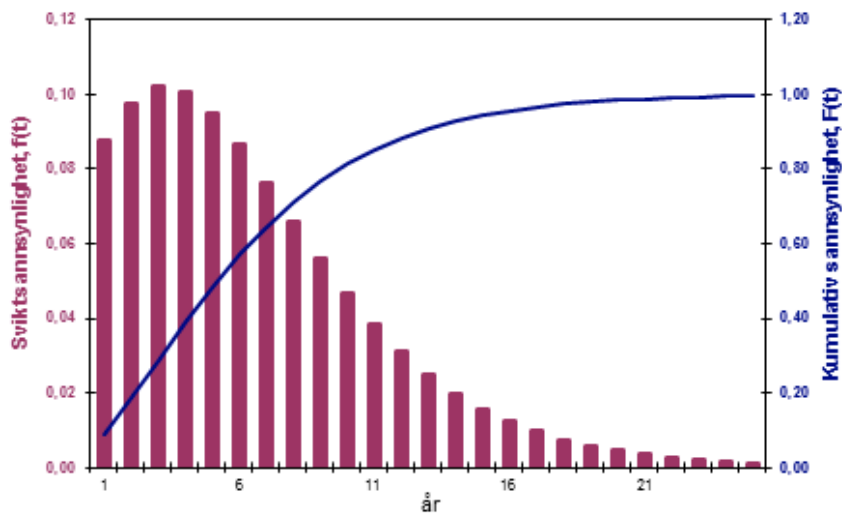
$$T4 = 0,5$$

Som gir denne levetidskurven:



Figur 10, Levetidskurve fra T1, T2, T3 og T4

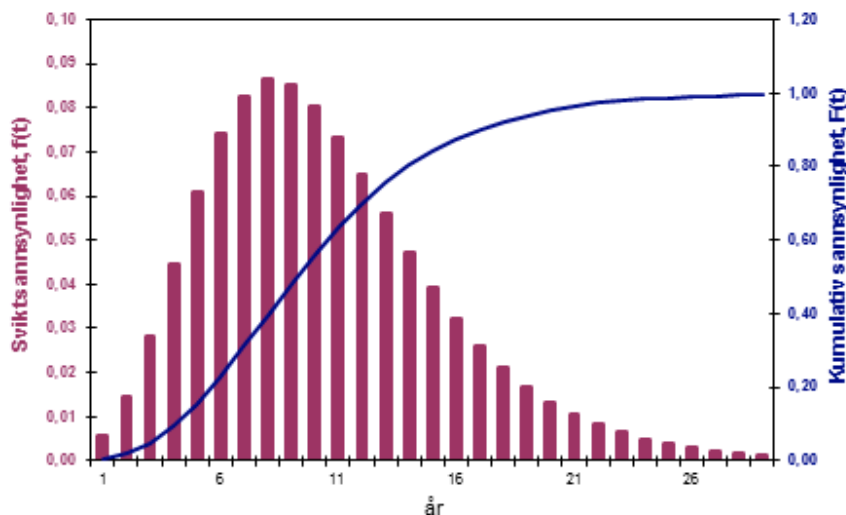
Denne komponenten har forventet levetid på 15 år siden summen av T1 til T4 er 15. Om den har en resterende levetid på 5 år settes alder til 10 år og man får en sviktmodell som ser slik ut:



Figur 11, Forventet levetid på 15 år, resterende levetid 5 år

Grafen viser sannsynlighet for svikt fra år null til og med år 25 i denne grafen. Sannsynligheten for svikt er størst de første 5 årene siden den ved dette tidspunktet har nådd sin forventede levetid. I år 3 er sannsynligheten for svikt i overkant av 10%, noe som er relativt høyt.

Hadde resterende levetid vært 10 år og ikke 5 år som i eksemplet over, hadde kurven sett slik ut:

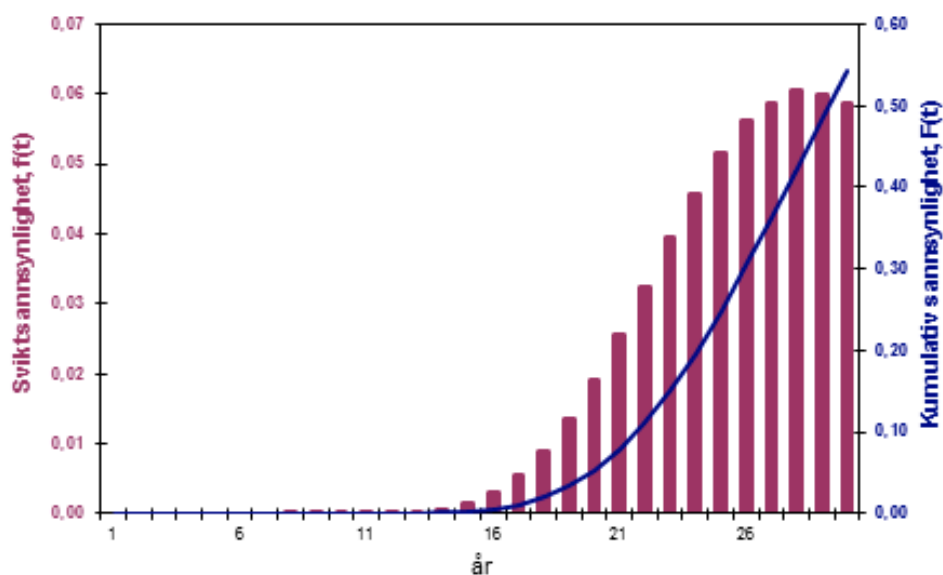


Figur 12, Forventet levetid på 15 år, resterende levetid 10 år

Her er toppen på grafen lenger frem i tid med topp rundt år 8 og sannsynligheten for svikt er mindre de første årene. Denne sviktsannsynligheten brukes sammen avbruddskostnaden og sannsynligheten for utfall for å kunne beregne

kostnadene frem i tid. Det vil si at sviktsannsynligheten er med på å fordele kostnadene ut over en analyseperiode og den tar seg av sannsynligheten av at en uønsket hendelse skjer.

Kostnadene blir størst der kurven for sviktsannsynligheten er høy. Om denne er høy nok kan det lønne seg å skifte ut komponenten tidligere før de forventede kostnadene blir for høye. For en ny komponent med levetid på opp til 30 år kan en sviktmodell se slik ut:



Figur 13, Levetid på 30 år

Siden komponenten er ny er det svært lite sannsynlig at den vil føre til svikt de første årene. Dette gjør også at de forventede kostnadene blir veldig små for de første 15 årene til komponenten. Så forskjellen på å beholde en eldre og dårlig komponent i forhold til å skifte til ny kan ha store utslag med tanke på de fremtidige kostnadene. Disse kostnadene blir tatt opp senere i rapporten.

5. Regneark til aggregering og nåverdiberegning

I denne rapporten er det utarbeidet et regneark i Microsoft Excel for å gjøre beregninger fra observasjoner, aggregering og nåverdiberegning enklere. Det vil i dette kapittelet bli gått igjennom hvordan dette regnearket brukes slik at forståelse for beregningene senere i rapporten gir mening.

Første side som fylles ut ser ut som figuren under og i den settes det inn data for en enkelt type observasjon.

5.1 Observasjoner

	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O
1														
2														
3														
4														
5														
6														
7														
8														
9														
10														
11														
12														
13														
14														
15														
16														
17														
18														
19														
20														
21														
22														
23														
24														
25														
26														
27														
28														
29														
30														
31														
32														
33														
34														
35														
36														
37														
38														
39														
40														
41														
42														
43														
44														
45														
46														
47														
48														
49														
50														
51														

Figur 14, Oversikt over regnearket til en type observasjon

Inndata i regnearket er markert i lysegrønt:

Type observasjon (oransje):

Det er kun for å få oversikt over hvilken observasjon man jobber med

Antall observasjoner:

Her settes det inn hvor mange observasjoner det er av typen man skal beregne.

Varslet:

Fyller inn for hva et varslet avbrudd er forventet å koste.

Ikke-varslet:

Fyller inn for hva et ikke-varslet avbrudd er forventet å koste.

Reparasjon:

En komponent som svikter trenger reparasjon om en svikt inntreffer. Dette er reparasjonen som må gjøres om en svikt inntreffer. Om en svikt inntreffer på et ugunstig tidspunkt vil noen rykke ut og ordne svikten med en gang og det kan i ettertid bli aktuelt å reinvestere resten også. Så dette punktet er for reparasjonen for en komponent og ikke alle komponentene som er med fordi om en komponent svikter er de kun en reparasjon.

Investering:

Investeringsposten i dette regnearket brukes ikke direkte i denne rapporten, men den kan brukes om man vil investere en viss sum hvert år.

Sannsynlighet for utfall, ikke-varslet:

Dette er sannsynligheten for at en svikt får et utfall og derfor ikke-varslet avbruddskostnad.

Sannsynlighet for ikke utfall, varslet:

Sannsynligheten for et en svikt inntreffer uten at det skjer et utfall. Som for eksempel at en mast kan knekke men holdes oppe av spennet i linjen. Det regnes med at dette oppdages og rettes opp med reparasjonskostnadene som er med.

Kalkulasjonsrente:

Kalkulasjonsrenten er satt til 4,5% i hele prosjektet. Den sier noe om renten man krever å få av en investering som man bestemt seg for. Renten brukes for å regne ut nåverdien av kostnadene i prosjektene.

Startår:

Settes til det året man beregner i fra og er lagt inn slik at alle årstall endres om denne endres og det er lettere å se i grafer og tabeller hvor kostnadene kommer.

Sviktsannsynlighet og kumulativ sannsynlighet:

Her fylles inn sviktsannsynlighet og kumulativ sannsynlighet fra Sintef sitt sviktsannsynlighetsark Excel. Det er tatt utgangspunkt i en topunktsanalyse der inndata er forventet levetid og 10%-kvantil. Ut i fra disse to inndata kommer

tabellen med svikt- og kumulativ sannsynlighet inn og settes inn i regnearket som vist tidligere.

Knappen "Kjør aggregering":

Kjører aggregeringen av observasjonene. Den tar hensyn til antall observasjoner og kumulativ sannsynlighet i regnearket. Formelen den bruker er:

$$\text{Aggregert kumulativ sannsynlighet} = 1 - ((1 - \text{kumulativ sannsynlighet}) ^ \text{antall observasjoner})$$

Formelen regner ut for ett år om gangen og tar hensyn til at en hendelse IKKE skjer. Resultatet fra utregningen kommer ut i tabellen under "Aggregert" markert i grått/brunt.

Ut i fra formelen kommer den kumulative sannsynligheten for hvert år. For å komme til sviktsannsynligheten er det satt at sviktsannsynligheten i år 1 er den samme som den kumulative sannsynligheten, men det fra og med år 2 tar den kumulative sannsynligheten for år 2 minus kumulativ sannsynlighet i år 1. På den måte regner man seg tilbake til sviktsannsynligheten som brukes videre i oppgaven.

Resultater nåverdiberegning:

Under tabellen K og L er det en liten tabell med "Resultater nåverdiberegning". Resulterende nåverdiberegning kommer inn her og summeres med investeringskostnaden om det er med. I denne rapporten er det ikke med investeringskostnader i dette skjemaet så summen her er kun bra nåverdiberegnet avbruddskostnader for hvert år.

Tabellen "Kostnader"

Varslet avbrudd

Her multipliseres summen for varslet avbrudd med sannsynligheten for å ikke få utfall. I regnearket som er vist her:

$$\text{Varslet avbrudd} = 50\,000\text{kr} * 10\% = 5\,000\text{kr}$$

Ikke-varslet avbrudd

Her multipliseres summen for ikke-varslet avbrudd med sannsynligheten for å få utfall. I regnearket som er vist her:

$$\text{Varslet avbrudd} = 100\,000\text{kr} * 90\% = 90\,000\text{kr}$$

Reparasjonskostnader

Her er blir reparasjonskostnadene fylt inn fra inndataene.

Sum

Her summeres "Varslet avbrudd", "Ikke-varslet avbrudd" og "Reparasjonskostnader" sammen og er de forventede kostnadene basert på avbruddskostnader og sannsynlighet for utfall. Summen i arket som er vist her er 105 000kr og er den forventede kostnaden om feilen hadde skjedd i år. Denne summen skal fordeles etter den aggregerte sviktsannsynligheten som er regnet ut.

Om det man har når en kumulativ sannsynlighet som er 1 innen analyseslutt vil summen av den fordelte summen være 105 000kr i dette tilfelle.

Fordelt sum

Den fordelte summen er "Sum" multiplisert med aggregert "Sviktsannsynlighet". Om summen av kolonnen "Fordelt sum" er det samme som "Sum" regner man med at man får en svikt innen analysetiden. Siden analysetiden i regnearket er 30 år kan det noen ganger være at den kumulative sannsynligheten ikke når 1 og da kan man få en svikt utenfor analyseperioden.

En kritisk observasjon vil som oftest nå en kumulativ sannsynlighet på 1 mye tidligere enn 30 år, mens om man beregner for en ny komponent kan den nå en kumulativ sannsynlighet på 1 etter 50 år.

Denne kolonnen er for å fordele summen ut over analyseperioden basert på den aggregerte sviktsannsynligheten.

5.2 Nåverdiberegningsarket:

Forutsetninger		Nåverdi av de samlede inntekter og utgifter		Forventet økonomisk levetid			Nåverdi avbr. kostnad [kr]		Avbr. Kostnad [kr/år]	
Dagens årstall	2012	Årstall	[kr]	Nåverdibetraktning	Inv. nåverdi [kr]	Inv. innenfor analysesiden [kr]	Inv. kostnad [kr]	Nåverdi avbr. kostnad [kr]	Avbr. Kostnad [kr/år]	
Analyseperiode	30 år	2012	39 112	1,000	0	0	0	16	16	
Kalkulasjonsrente	4,50 %	2013		0,957	0	0	0	108	112	
Tapenes brukstid	2400 timer	2014		0,916	0	0	0	103	112	
		2015		0,876	0	0	0	482	550	
		2016		0,839	0	0	0	718	857	
		2017		0,802	0	0	0	962	1 198	
		2018		0,768	0	0	0	1 197	1 558	
		2019		0,735	0	0	0	1 414	1 924	
		2020		0,703	0	0	0	1 604	2 282	
		2021		0,673	0	0	0	1 763	2 621	
		2022		0,644	0	0	0	1 888	2 932	
		2023		0,616	0	0	0	1 978	3 210	
		2024		0,590	0	0	0	2 034	3 450	
		2025		0,564	0	0	0	2 058	3 647	
		2026		0,540	0	0	0	2 053	3 801	
		2027		0,517	0	0	0	2 021	3 912	
		2028		0,494	0	0	0	1 968	3 980	
		2029		0,473	0	0	0	1 897	4 009	
		2030		0,453	0	0	0	1 811	4 000	
		2031		0,433	0	0	0	1 714	3 956	
		2032		0,415	0	0	0	1 610	3 883	
		2033		0,397	0	0	0	1 501	3 783	
		2034		0,380	0	0	0	1 390	3 661	
		2035		0,363	0	0	0	1 279	3 521	
		2036		0,348	0	0	0	1 171	3 366	
		2037		0,333	0	0	0	1 065	3 201	
		2038		0,318	0	0	0	964	3 028	
		2039		0,305	0	0	0	868	2 850	
		2040		0,292	0	0	0	779	2 670	
		2041		0,279	0	0	0	695	2 491	
		2042		0,267						
		2043		0,256						
		2044		0,244						
		2045		0,234						
		2046		0,224						
		2047		0,214						
		2048		0,205						
		2049		0,196						
		2050		0,188						
		2051		0,180						

Figur 15, Regnearket for nåverdiberegning som regner ut nåverdien fra observasjonene

I dette regnearket blir nåverdien av avbruddskostnadene utregnet for hvert år.

Oransje boks:

Dagens årstall hentes fra regnearket vist tidligere og brukes for å regne ut nåverdien for hvert år frem i tid.

Analyseperioden er satt til 30 år og kan endres dersom regnearket utvides. I utgangspunktet er det kun 30 år analyseperiode som brukes.

Kalkulasjonsrenten hentes fra forrige regneark og brukes til å regne ut nåverdien via nåverdibetraktningen i kolonnen I.

Tapenes brukstid brukes ikke i dette regnearket, men kan tas i bruk om man vil legge inn tapskostnadene til et linjestrekke ved en senere anledning.

Nåverdi av de samlede inntekter og utgifter:

Årstall fylles automatisk inn fra første regneark og fylles ut nedover kolonne G. Under kolonne H summeres summen av investering nåverdi, kolonne K, og nåverdi av avbruddskostnad, kolonne O.

Nåverdibetraktingen regner ut nåverdien via rentesatsen. Formelen som brukes er:

$$\text{Nåverdibetrakting} = (1 + \text{renten}[\%]) ^ (\text{årstall for når man vil ha nåverdien} - \text{dagens årstall})$$

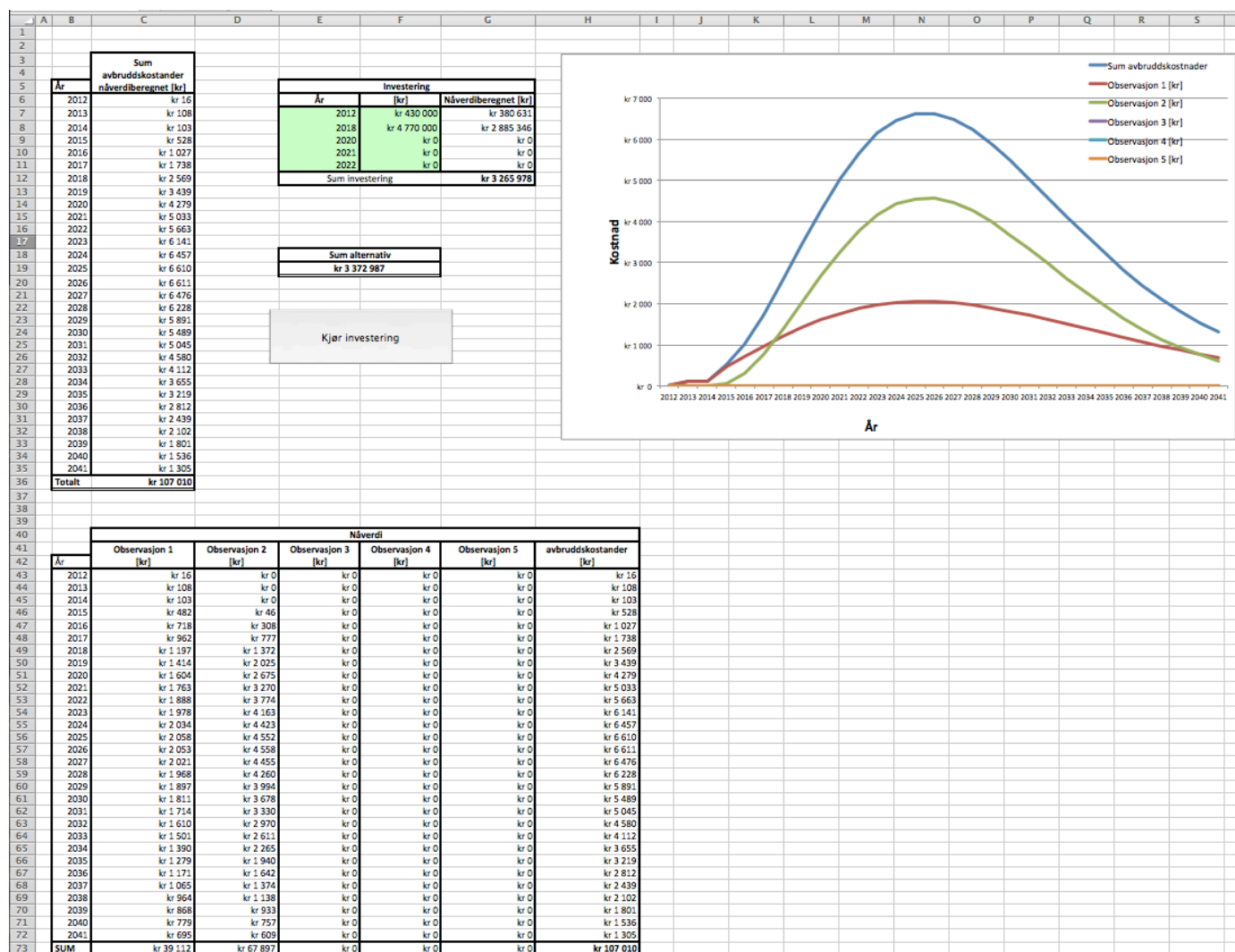
$$\text{Nåverdibetrakting (2018)} = (1 + 4,5\%) ^ (2012 - 2018) = 0,768$$

Tabellen over forventet økonomisk levetid brukes ikke i dette dokumentet. Formlene er lagt inn så det kan tas i bruk om man for eksempel skal ha en fast investering hvert år.

I kolonne P legges den fordelte summen av avbruddskostnadene fra kolonne O i det forrige regnearket.

Under nåverdi avbruddskostnad, kolonne O, multipliseres avbruddskostnadene fra kolonne P, med nåverdibetraktingen fra kolonne I.

5.3 Summering



Figur 16, Summering av avbrudds- og investeringskostnader

I dette regnearket legges observasjonenes nåverdier sammen og summeres med investeringskostnaden.

Tabellen "Sum avbruddskostnader nåverdiberegnet" øverst til høyre summerer alle observasjonenes nåverdier for hvert år. Mens den nederste tabellen over nåverdier viser oversikten over observasjon 1 til 5 sine kostnader i nåverdi og summerer de i kolonne H.

Det er verdiene fra denne tabellen som danner grafen der kurvene for observasjonene sammen med den totale avbruddskostnaden som er nåverdiberegnet ligger inn. En slik graf gir en god oversikt over hvordan de forventede kostnadene fordeler seg i løpet av en 30 år analyseperiode.

Tabellen over investeringen under kolonne E, F og G fylles inn der de er grønt med årstall for når investeringen man har bestemt seg for skal skje og hvor mye man vil investere. Man klikker så på knappen "Kjør investering" og et skript finner ut hvilket år investeringen skjer og sender det til en tabell på samme regnearket. Forklaring til det kommer nedenfor.

5.4 Nåverdi av investering

	AA	AB	AC	AD	AE	AF	AG	AH	AI	AJ	AK	AL	AM
1													
2													
3												Forventet økonomisk levetid	
4												(år)	
5												40	
6													
7													
8													
9													
10													
11													
12													
13													
14													
15													
16													
17													
18													
19													
20													
21													
22													
23													
24													
25													
26													
27													
28													
29													
30													
31													
32													
33													
34													
35													
36													
37													
38													
39													
40													
41													
42													
43													
44													
45													
46													
47													
48													

Figur 17, Beregning av nåverdien av investeringene

Dette er samme nåverdiberegningsarket som i ble vist tidligere i kapittelet, bare at her brukes nåverditabellen. Tabellene her ligger i samme regnearket som summeringen i forrige delkapittel.

Tabellen i midten over nåverdi av de samlede inntekter og utgifter er forklart tidligere i delkapittelet om nåverdiberegningsarket.

Ved å trykke på knappen "Kjør investering" vist i forrige delkapittel kjøres et skript som setter investeringen man har satt inn i rett årstall. I denne figuren er det satt 430 000kr i 2012 og det henter ut verdien under "Inv. nåverdi" som er på 380 631kr og legger det inn i tabellen for investering i forrige delkapittel.

For å regne ut nåverdien av investeringer er det brukt en omfattende formel som er tatt ut i fra NTE sitt nåverdiberegningsark [3].

Formelen for "Inv. innenfor analysetiden" i kolonne AL tar hensyn til hvilket år man er i på regnearket, dagens årstall, analyseperiode, forventet økonomisk levetid og hva investeringskostnaden for det bestemte året er. Komponentene som brukes i denne rapporten er antatt å ha en økonomisk levetid på 40 år. Dette

vil variere fra hvor det står i netter og påkjenninger de har, men 40 år er et gjennomsnitt på forventet levetid.

Når tabellen "Inv. innenfor analysetiden" er regnet ut brukes denne summen for å regne ut "Inv. nåverdi" i kolonne AK ved å multiplisere "Inv. innenfor analysetiden" med "Nåverdibetraktningen" for det bestemte året i kolonne I. Det er tall fra "Inv. nåverdi" som sendes tilbake til regnearket for summering fra forrige delkapittel.

Totalt i hele Excel-filen er det i denne rapporten tatt med for at det maksimalt er 5 forskjellige typer observasjoner. Dette kan utvides til så mange man vil om det trengs.

6. Aggregering av sviktsannsynlighet

6.1 Aggregering

Å sette sammen flere observasjoner av samme eller forskjellige typer er en utfordring. Hver for seg genererer en observasjon en levetidskurve som med resterende levetid gir en sviktsannsynlighet i form av en kurve.

Men et prosjekt består ofte av flere observasjoner av samme type, i tillegg til forskjellige typer observasjoner. For at det skal være til hjelp ved vurdering av prosjekt må disse observasjonene legges sammen.

Om en observasjon har en sannsynlighet for svikt på 10% i år 1, mens en annen har sannsynlighet for svikt på 5%, vil ikke den samlede sannsynligheten være 15%. Det vil si at om man har flere observasjoner kunne man komme over 100%, noe som ikke lar seg gjøre.

Utfordringen ligger i å legge sammen observasjoner, både like og forskjellige for å gi et korrekt bilde på helhetsvurderingen.

Metoden bruker formelen for at en kumulativ sannsynlighet ikke skjer og kan kun brukes med samme type observasjoner der "Aggregert $F(x)$ " er den aggregerte kumulative sannsynligheten man er ute etter, og $F(x)$ er den kumulative sannsynligheten til en type observasjon:

$$\text{Aggregert } F(x) = 1 - ((1 - F(x)) ^{\text{antall observasjoner}})$$

Denne formelen tar i bruk den kumulative sannsynligheten fra hver observasjon og får ut en aggregert kumulativ sannsynlighet. Den brukes så for å regne seg tilbake til sviktsannsynligheten igjen.

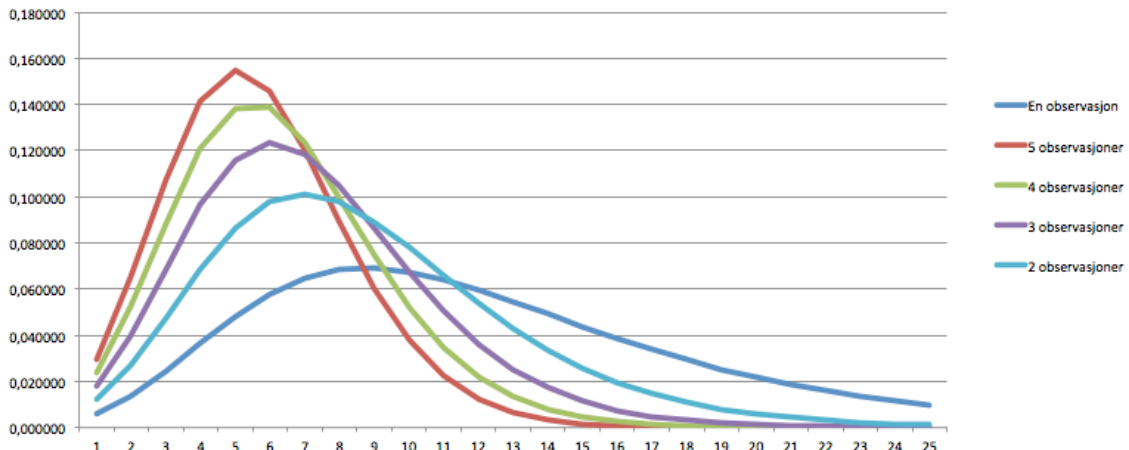
Metoden går ikke an å bruke på forskjellige observasjoner med forskjellig resterende levetid eller forskjellige avbruddskostnader. Derfor er det i denne rapporten gått ut i fra at observasjonene er gjort samme året som det beregnes fra.

Det er mulig å aggregere flere forskjellige observasjoner, men det innebærer kompliserte statistiske formler. I denne rapporten er det kun snakk om å aggregere sammen like observasjoner med tilhørende reparasjonskostnader og avbruddskostnad. Siden forskjellige observasjoner har forskjellige reparasjonskostnader må disse behandles forskjellig.

I denne rapporten er det tatt utgangspunkt i formelen over for å aggregere flere observasjoner av samme type.

6.2 Aggregering ved bruk av levetidsskurve med T1 til T4

6.2.1 Samme type observasjoner og lik restlevetid.



Figur 18, Aggregering av opp til 5 observasjoner med resterende levetid på 10 år

Tallene som er brukt for å få denne sviktmodellen kommer fra Mast – Tre – Råteangrep, og resterende levetid er satt til 10 år.

I figuren over er det vist et eksempel på hva som skjer når det aggregeres med flere observasjoner av samme type og samme restlevetid. Som figuren viser er det for en observasjon (mørk blå), en slak linje som når rundt 7% sviktsannsynlighet om 9 år. Etter hvert som flere observasjoner kommer til vil grafen bevege seg oppover og tidligere i tid, og vil da få høyere sannsynlighet for svikt tidligere.

Dette er logisk om man har flere komponenter med samme sviktsannsynlighet. Da vil sannsynligheten for at en av komponentene svikter øke og mest sannsynlig svikte før en enkelt isolert observasjon.

En slik metode vil gjøre at prosjekt med flere observasjoner vil prioriteres tidligere. Samtidig tar den hensyn til hvor alvorlige observasjonene er.

Som nevnt i forrige kapittel vil denne metoden fungere om man har tilstandsverdier å fylle inn siden grafen over bruker levetidsskurve med inndata fra T1 til T4. Det jobbes det med å få til tilstandsdata, men det har enda ikke blitt gjort av NTE noe som gjør at dette er bare et eksempel på hva som kan gjøres når man har tilstandsverdiene. Samme metode fungerer også på topunksanalyse og den vil bli brukt der.

6.2.2 Samme observasjon, forskjellig restlevetid

Ofte vil samme type komponent være satt i drift samtidig i en radial, så alderen er den samme. Men komponentene kan ha små individuelle forskjeller fra leverandør eller være utsatt for forskjellige ytre påkjenninger. Dersom dette inntreffer, vil den resterende levetiden for komponentene være forskjellig.

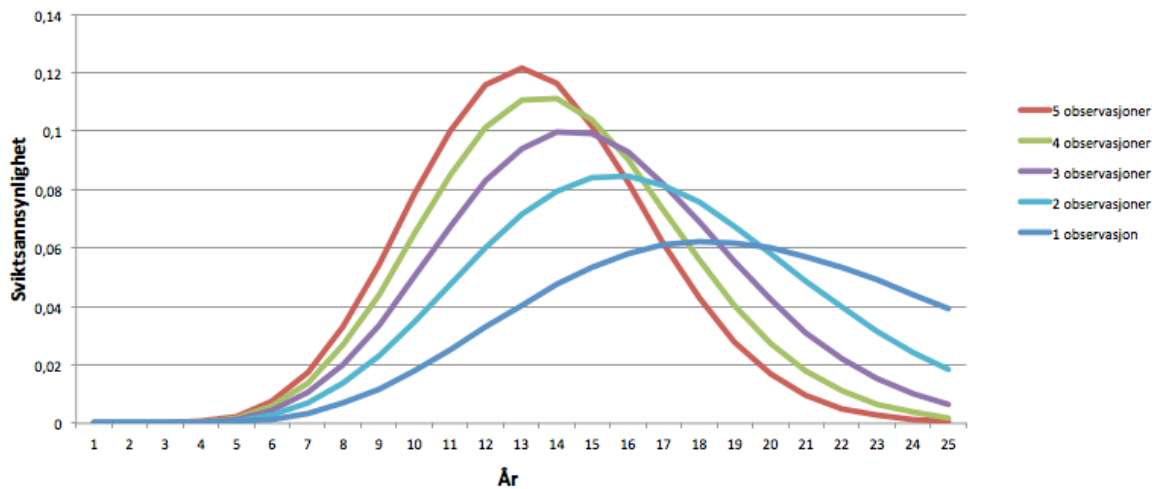
Å aggregere for forskjellige observasjoner med levetidskurve og sviktmodell vil være vanskelig på grunn av at Sintef sin sviktmodellering skjer ved å sette sammen fire forskjellige gammafordelinger. Metodikken for å modellere aggregeringen av forskjellige observasjoner vil derfor bli gjort når man har tilstandsverdier og ut i fra det jobbe opp mot en metode for å løse dette, noe som det ikke blir gått nærmere inn på i denne rapporten.

6.3 Aggregering med bruk av topunktsanalyse

6.3.1 Samme type observasjoner

Som i eksempelet i forrige delkapittel ved bruk av levetidskurve er det her brukt observasjonen "Mast – Tre – Råteangrep" med forventningsverdi 20 år og 10%-kvantil på 12 år.

Ved å modellere for en til fem observasjoner som er aggregert sammen vil kurven under bli generert.



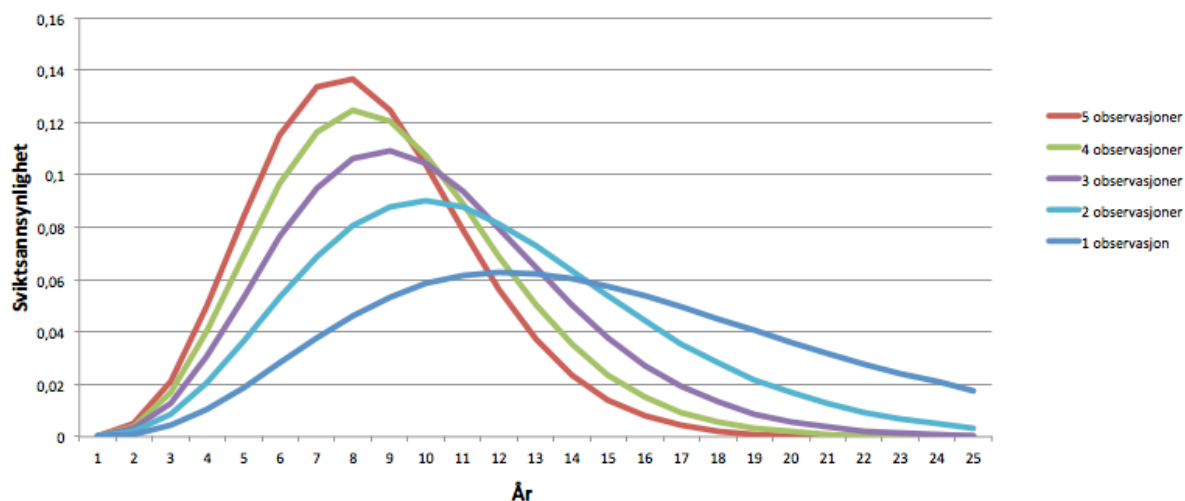
Figur 19, Aggregert topunktsanalyse med forventningsverdi 20 år og 10%-kvantil på 10 år

I motsetning til aggregeringen for levetidskurve der man trenger tilstand eller resterende levetid, vil man i dette tilfelle med topunktsanalyse stå i år null da observasjonen ble innrapportert. Dette blir gjort i med antagelsen at observasjonene er innrapportert samme året som beregningene gjøres.

I dette tilfelle vil kurven, som i forrige delkapittel, bli spissere og bevege seg opp og tidligere i tid for flere observasjoner siden sannsynligheten for en svikt vil øke med flere observasjoner. Samtidig vil den blir spissere siden alle observasjonene er like og de vil ha større sannsynlighet for svikt i innenfor samme periode. Den mørkeblå kurven for en observasjon er bare en fordeling av kostnadene for en observasjon.

Denne metoden fungerer bra for flere observasjoner og vil gi et godt bilde på hvordan flere observasjoner sammen vil øke sannsynligheten for svikt, samt at sannsynlighet for svikt blir større tidligere i perioden. Ut i fra hvordan kurvene ser ut og endrer seg for flere observasjoner, kan man si at dette er virkelighetsnært. Det vil være naturlig at sannsynligheten for svikt blir større om det er flere komponenter som kan få en uønsket hendelse.

For observasjonen med råteangrep er ekspertene ganske sikre på når 10%-kvantilen skal være. Om man ikke er sikre, vil kvantilen settes lavere i forhold til forventningsverdien og dermed skape en større usikkerhet og en bredere fordeling. Observasjonen "Travers - Tre - Råte" har forventningsverdi på 15 år og en 10%-kvantil på 7 år. Nedenfor er det vist hvordan denne blir i forskjell til observasjonen råteangrep som er vist over.



Figur 20, Aggregert topunktsanalyse av Travers - tre - råte

Denne grafen viser at sviktsannsynligheten for råte i travers har større sannsynlighet til å inntreffe tidligere enn råte i mast. I grafen er det samme type observasjon som aggregert. Flere forskjellige observasjoner kan også aggregeres sammen for å skape et bilde på sviktsannsynligheten. Problemet er at forskjellige typer svikt vil ha forskjellige investerings-, reparasjons- avbruddskostnader.

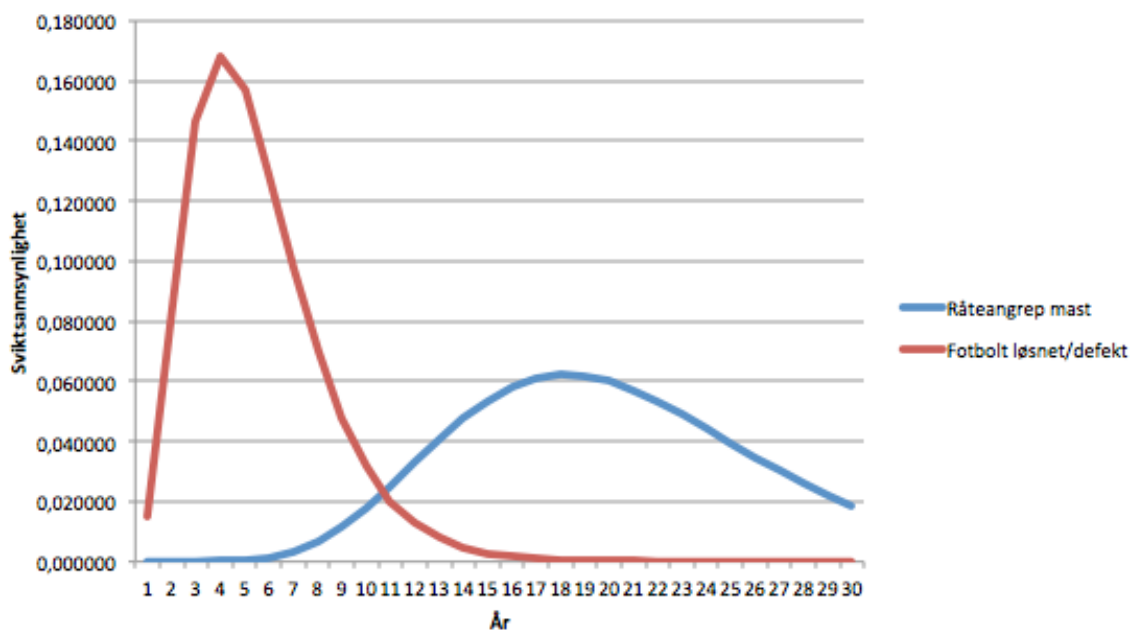
Om en mast knekker, krever det mer arbeidstid og utstyr enn om råte i en topphette forårsaker at traversen løsner. Det er mulig å kjøre en avansert algoritme for å ta med forskjellige observasjoner med forskjellige avbrudds- og investeringskostnader i en og samme graf, men dette blir det ikke fokusert på i denne rapporten. I denne rapporten skal det modelleres med egne kurver for hver observasjon, og det skal lages kurver basert på at avbrudds- og reparasjonskostnad skal fordeles ved hjelp av sviktsannsynligheten. Til slutt skal fordelingen nåverdiberegnes.

Først skal det vises hvordan to forskjellige observasjoner modelleres i en kurve som vist over.

6.3.2 Forskjellige typer observasjoner

I dette delkapittelet skal det vises hvordan to forskjellige observasjoner aggregeres sammen og hvor mye den mest kritiske observasjonen har å si for sviktsannsynligheten. Som nevnt tidligere i kapittelet kan forskjellige observasjoner aggregeres sammen, men dette kan ikke brukes for å få forventede kostnader siden kostnadene er forskjellige fra observasjon til observasjon.

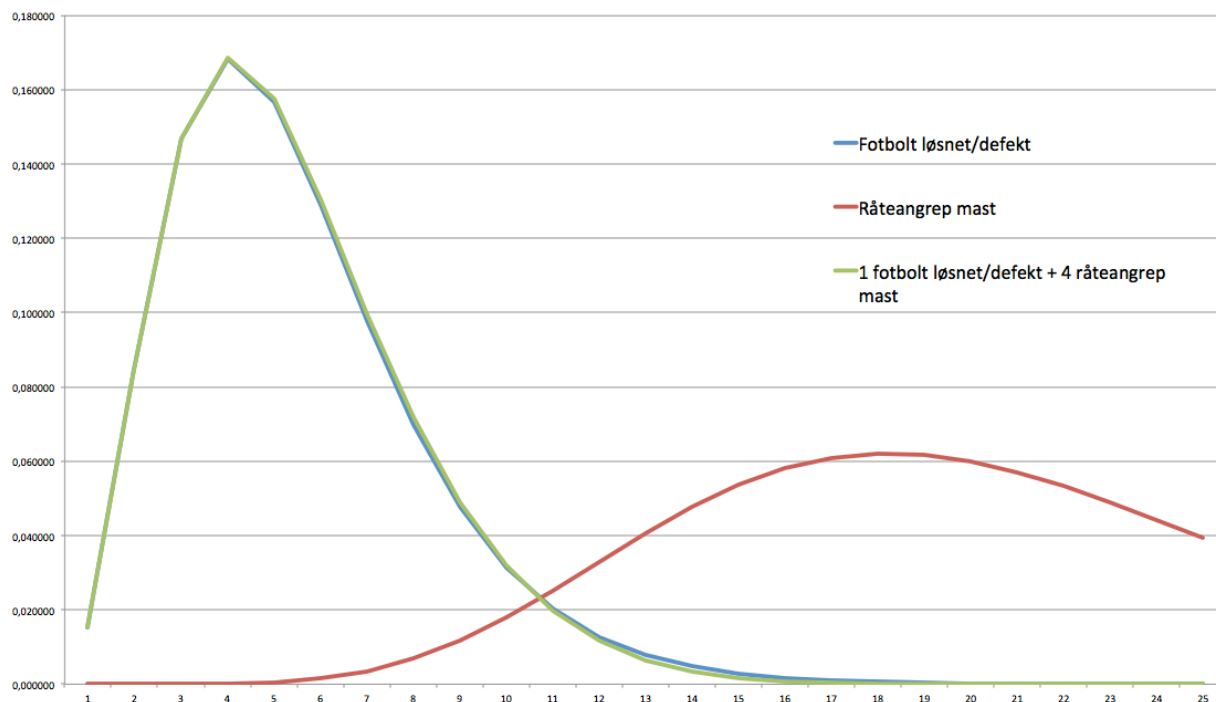
For å vise dette brukes topunktsanalyse av råteangrep i mast og løsnetsnet/defekt fotbolt.



Figur 21, Topunktsanalyse av to forskjellige observasjoner

Denne grafen viser sviktsannsynligheten for råteangrep i mast med forventningsverdi 20 år og 10%-kvan til på 12 år, og løsnetsnet/defekt fotbolt med forventningsverdi 5 år og 10%-kvan til på 2 år.

Sviktsannsynligheten for fotbolt er mye større enn råteangrep i mast i et tidligere stadiet og er den svikten som må prioriteres først. Videre skal det ses på hvordan denne kritiske observasjonen påvirkes av flere observasjoner av råteangrep i mast.



Figur 22, Aggregert 1 observasjon fra fotbolt løsnet/defekt og 4 observasjoner råte i mast. Sviktsannsynlighet på y-aksen og antall år på x-aksen

Den røde linjen er sviktsannsynligheten for en observasjon av råteangrep i mast, og den blå linjen er sviktsannsynligheten for fotbolt løsnet/defekt. Nesten på samme linje som den blå ligger den grønne linjen der fire observasjoner av råteangrep på mast og en observasjon av fotbolt løsnet/defekt er.

Den grønne linjen er forflyttet litt til venstre før toppunktet på observasjonen fotbolt løsnet/defekt (blå) og man kan så vidt se at den grønne linjen er spissere og slakker ut tidligere enn den blå.

Grafen her viser at måten å aggregere observasjoner er logisk med tanke på at den totale sviktsannsynligheten vil være høyere og tidligere enn den mest kritiske observasjonen. Samtidig vil observasjoner som ikke er så kritiske, som råte i mast, ha lite å si i de tilfeller hvor kritiske observasjoner, som løsnet/defekt fotbolt, er inn i bildet.

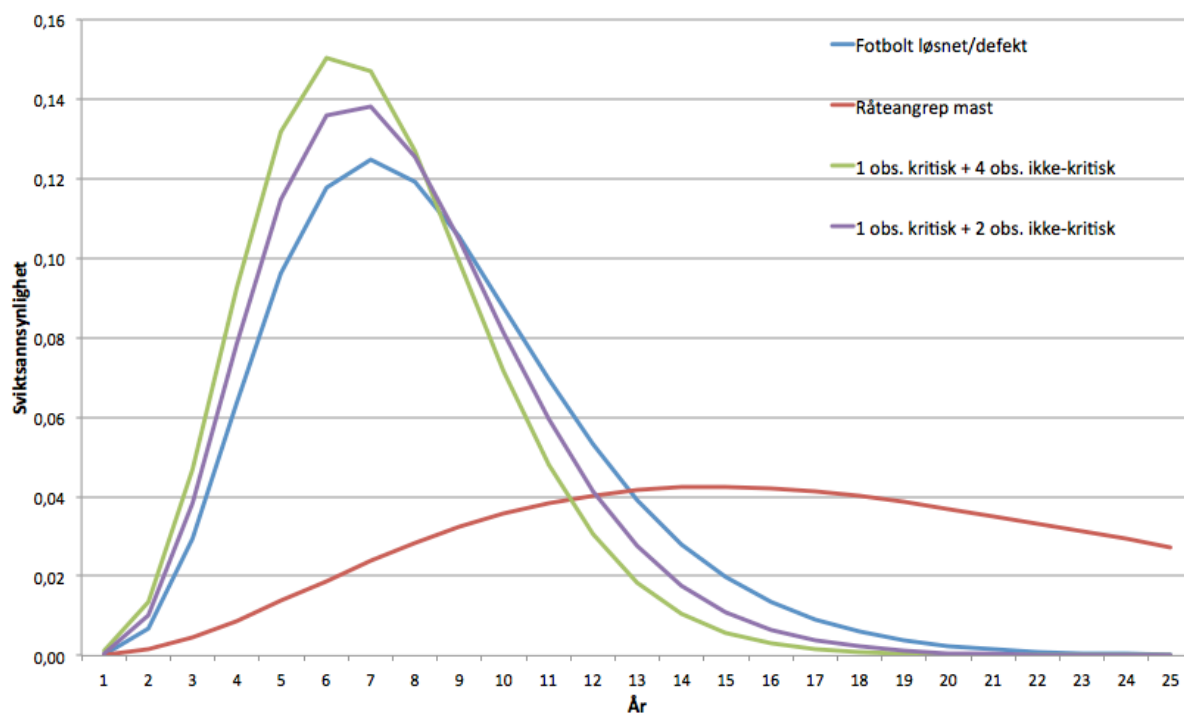
I tabellen nedenfor er tallene grafen over er basert på. I den kan det ses at den totale sviktsannsynligheten ligger litt høyere enn for fotbolt løsnet/defekt alene.

År	Fotbolt løsnet/defekt		Råteangrep mast		1 fotbolt + 4 råteangrep mast	
	Sviktsann.	Kumulativ	Sviktsann.	Kumulativ	Sviktsann.	Kumulativ
1	0,015382	0,015382	0,000000	0,000000	0,015382	0,015382
2	0,084618	0,100000	0,000001	0,000001	0,0846216	0,1000036
3	0,146830	0,246831	0,000014	0,000015	0,146872589	0,246876189
4	0,168270	0,415101	0,000113	0,000128	0,168524222	0,415400411
5	0,156724	0,571825	0,000494	0,000622	0,157488895	0,572889306
6	0,128943	0,700769	0,001491	0,002113	0,13040079	0,703290096
7	0,097689	0,798458	0,003498	0,005611	0,099653384	0,80294348
8	0,069786	0,868244	0,006844	0,012455	0,071742986	0,874686466
9	0,047707	0,915952	0,011670	0,024125	0,049087355	0,923773821
10	0,031517	0,947469	0,017874	0,042000	0,031979804	0,955753624
11	0,020261	0,967730	0,025116	0,067116	0,019805906	0,975559531
12	0,012737	0,980467	0,032884	0,100000	0,011624868	0,987184399
13	0,007860	0,988327	0,040589	0,140589	0,00644785	0,993632248
14	0,004774	0,993101	0,047658	0,188247	0,003372166	0,997004414
15	0,002861	0,995963	0,053610	0,241857	0,00166187	0,998666284
16	0,001695	0,997658	0,058105	0,299962	0,000771279	0,999437564
17	0,000994	0,998651	0,060960	0,360922	0,000337413	0,999774977
18	0,000578	0,999229	0,062143	0,423065	0,000139603	0,99991458
19	0,000333	0,999562	0,061752	0,484817	5,45658E-05	0,999969145
20	0,000191	0,999753	0,059977	0,544794	2,02492E-05	0,999989395
21	0,000108	0,999861	0,057066	0,601860	7,11277E-06	0,999996507
22	0,000061	0,999922	0,053294	0,655154	2,38962E-06	0,999998897
23	0,000034	0,999957	0,048936	0,704089	7,73355E-07	0,99999967
24	0,000019	0,999976	0,044244	0,748334	2,33421E-07	0,999999904
25	0,000011	0,999987	0,039440	0,787774	6,99024E-08	0,999999974
26	0,000006	0,999993	0,034701	0,822475	1,94193E-08	0,999999993
27	0,000003	0,999996	0,030167	0,852642	5,06636E-09	0,999999998
28	0,000002	0,999998	0,025934	0,878576	1,4513E-09	1
29	0,000001	0,999999	0,022065	0,900641	3,37298E-10	1
30	0,000001	0,999999	0,018594	0,919235	5,49113E-11	1

Tabell 1, Aggregert to forskjellige typer observasjoner

For å vise hvordan metoden fungerer bedre, kan det brukes fiktiv forventningsverdi og 10%-kantil. De fire observasjonene som ikke er kritisk settes til forventningsverdi på 20 år og 10%-kantil på 8 år. Og den kritiske observasjonen får forventningsverdi på 8 år og 10%-kantil på 4 år.

Disse tallene gir en graf for hver enkelt observasjon i tillegg til aggregert to ikke kritiske og en kritisk, og alle fem observasjonene.



Figur 23, Eksempel på aggregering av to forskjellige typer fiktive observasjoner

Denne grafen viser bedre hvordan aggregeringen skjer, og at flere ikke-kritiske observasjoner ikke vil øke sannsynligheten drastisk. Den røde linjen er sviktsannsynlighet for en ikke-kritisk observasjon, mens den blå er for den kritiske. Lilla linje viser til en kritisk observasjon sammen med 2 ikke-kritiske observasjoner, mens den grønne linjen er aggregert for 4 ikke-kritiske og en kritisk observasjon.

Som grafen viser vil sviktsannsynligheten bli noe høyere for hver ikke-kritiske observasjon og den vil forflytte seg mer mot venstre som vil si at det er større sjanse for svikt tidligere. Dette er logisk om man har flere observasjoner da man har større sannsynlighet for at en av de vil gi en svikt tidligere.

Her er det aggregert for to forskjellige observasjoner for å vise hvordan kritiske observasjoner vil ha mest å si. Videre vil det bli delt opp og observasjoner av forskjellige typer vil behandles hver for seg siden de ikke kan aggregeres sammen når sannsynligheten for utfall er forskjellige.

Kostnadene for ikke-varslet og varslet avbrudd kan likevel være de samme siden utrykningstid og tiden nettet er nede er den samme. Reparasjonskostnadene vil ofte være forskjellige avhengig av hvilken svikt som inntreffer.

Metodikken bak aggregeringen skal videre i oppgaven brukes for å analysere reelle prosjekter hos NTE. Det vil da blir multiplisert opp med avbrudds- og reparasjonskostnaden for at akkurat den svikten skjer slik at man får en kostnadskurve for hver observasjon som er fordelt ut over en analyseperiode.

I tillegg kommer investeringskostnaden som avhenger av når investeringen kommer.

6.3.3 Samme type observasjoner med avbruddskostnader

Siden det ikke fokuseres på å aggregere forskjellige observasjoner med avbruddskostnader i samme graf, vil det bli sett på samme type observasjoner som så aggregeres og multipliseres med kostnaden av varslet og ikke-varslet avbrudd. Det blir sett på en kritisk observasjon med forventningsverdi 8 år og 10%-kvantil på 4 år. Det aggregeres for 5 observasjoner av denne typen.

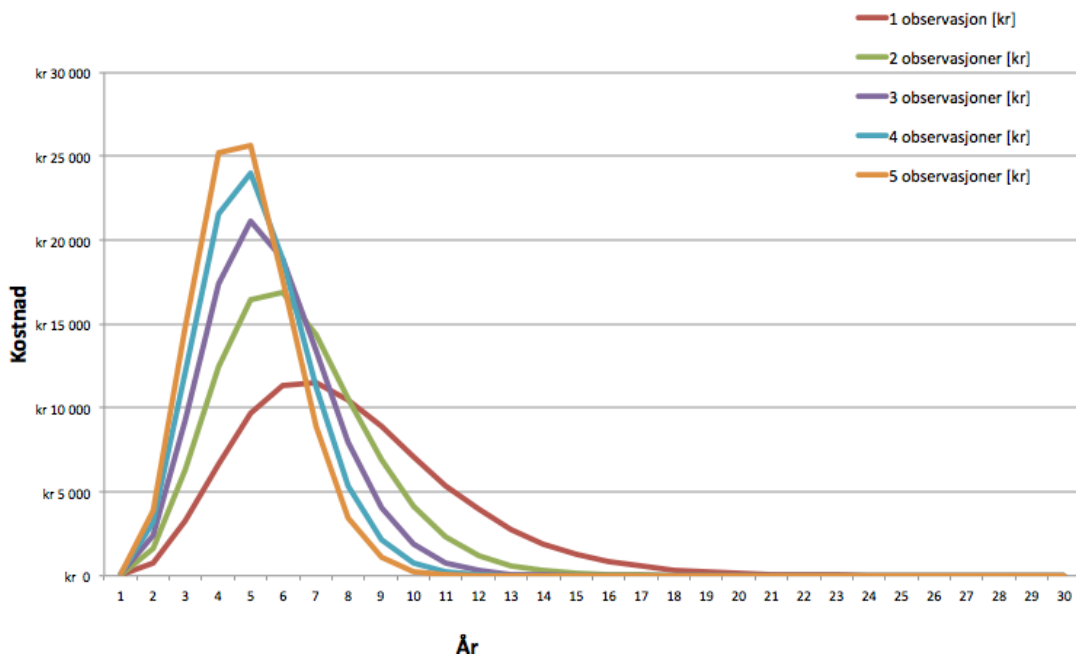
En kurve med avbruddskostnadene vil se akkurat lik ut som kurven for sviktsannsynlighet, bare at man har kostnader i stedet for sannsynlighet. Det er også viktig å huske at tallene må nåverdiberegnes i ettertid, samt ta med investeringskostnader og utfallssannsynlighet.

En kurve med kostnader for ikke-varslet avbrudd på 200 000kr og kostnad for varslet avbrudd på 100 000kr vil se slik ut. Reparasjonskostnadene er 10 000kr, sannsynligheten for utfall er 10% og ikke utfall blir da 90%.

Formelen som brukes for kostnadskonsekvens er:

$$K = (\text{Ikke-varslet avbrudd} * \text{sann. for utfall}) + (\text{varslet avbrudd} * \text{sann. for ikke utfall}) + \text{reparasjonskostnader}$$

Denne kostnaden er den samme for hvert år, så for å fordele kostnaden utover analyseperioden multipliseres denne kostnaden med sannsynligheten for svikt for hvert enkelt år.



Figur 24, Aggregert fra 1 til 5 observasjoner av samme type

Tabellen som følger grafen:

År	Nåverdi					Sum avbruddskostander [kr]
	1 observasjoner [kr]	2 observasjoner [kr]	3 observasjoner [kr]	4 observasjoner [kr]	5 observasjoner [kr]	
2012	kr 38	kr 75	kr 113	kr 150	kr 188	kr 563
2013	kr 795	kr 1 585	kr 2 368	kr 3 145	kr 3 917	kr 11 810
2014	kr 3 227	kr 6 312	kr 9 261	kr 12 079	kr 14 772	kr 45 651
2015	kr 6 667	kr 12 422	kr 17 368	kr 21 592	kr 25 175	kr 83 224
2016	kr 9 677	kr 16 489	kr 21 093	kr 24 010	kr 25 649	kr 96 917
2017	kr 11 332	kr 16 885	kr 18 907	kr 18 859	kr 17 671	kr 83 654
2018	kr 11 489	kr 14 334	kr 13 457	kr 11 267	kr 8 873	kr 59 421
2019	kr 10 506	kr 10 546	kr 7 977	kr 5 388	kr 3 427	kr 37 845
2020	kr 8 891	kr 6 929	kr 4 074	kr 2 142	kr 1 062	kr 23 098
2021	kr 7 084	kr 4 152	kr 1 839	kr 729	kr 273	kr 14 078
2022	kr 5 378	kr 2 306	kr 748	kr 218	kr 60	kr 8 710
2023	kr 3 925	kr 1 202	kr 279	kr 58	kr 11	kr 5 475
2024	kr 2 772	kr 593	kr 96	kr 14	kr 2	kr 3 477
2025	kr 1 904	kr 279	kr 31	kr 3	kr 0	kr 2 217
2026	kr 1 277	kr 126	kr 9	kr 1	kr 0	kr 1 413
2027	kr 839	kr 55	kr 3	kr 0	kr 0	kr 896
2028	kr 541	kr 23	kr 1	kr 0	kr 0	kr 565
2029	kr 343	kr 10	kr 0	kr 0	kr 0	kr 353
2030	kr 215	kr 4	kr 0	kr 0	kr 0	kr 219
2031	kr 133	kr 1	kr 0	kr 0	kr 0	kr 134
2032	kr 81	kr 1	kr 0	kr 0	kr 0	kr 82
2033	kr 49	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 49
2034	kr 29	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 30
2035	kr 17	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 18
2036	kr 10	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 10
2037	kr 6	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 6
2038	kr 4	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 4
2039	kr 2	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 2
2040	kr 1	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1
2041	kr 1	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1
SUM	kr 87 234	kr 94 329	kr 97 624	kr 99 656	kr 101 081	kr 479 924

Tabell 2, Aggregert fra 1 til 5 observasjoner av samme type

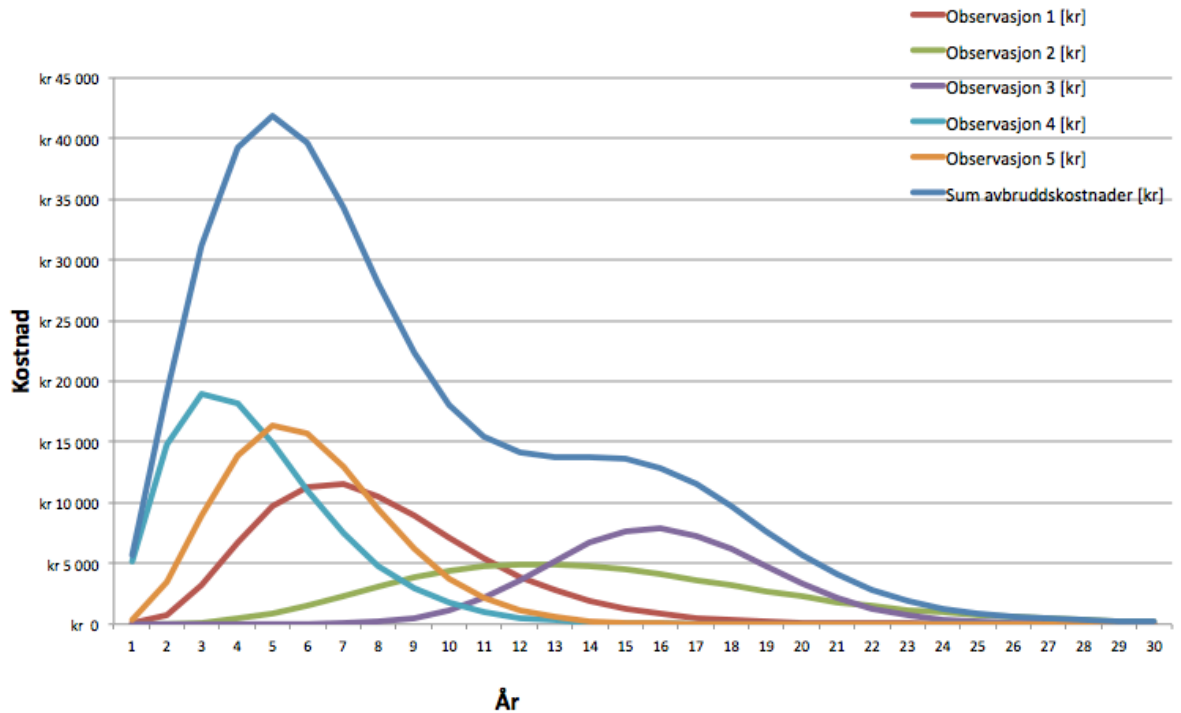
Kurvene i denne grafen er fra sviktsannsynlighet til en kritisk observasjon der det er observert opp til 5 observasjoner som er aggregert sammen og det er lagt inn avbruddskostnader for varslet og ikke-varslet avbrudd, reparasjonskostnader og sannsynlighet for utfall. Det hele er fordelt med aggregert sviktsannsynlighet til observasjonen.

En slik kurve vil bli laget for hver enkelt type observasjon med flere observasjoner av samme type om det finnes i prosjektet. Grafen over er et eksempel og har fem kurver, mens i et prosjekt vil det kun være en kurve for en type observasjon siden man da vet hvor mange observasjoner man har.

Hver enkelt kurve for de forskjellige observasjonene legges sammen til en sammenlagt kurve som så nåverdiberegnes.

6.4 Aggregering av flere forskjellige observasjoner

Et eksempel med 5 forskjellige typer observasjoner legges sammen og nåverdiberegnet slik at man får en graf som ser ut som den på neste side.



Figur 25, 5 forskjellige observasjoner med avbruddskostnad

År	Nåverdi					Sum avbruddskostnader [kr]
	Observasjone 1 [kr]	Observasjone 2 [kr]	Observasjone 3 [kr]	Observasjone 4 [kr]	Observasjone 5 [kr]	
2012	kr 38	kr 1	kr 0	kr 5 192	kr 406	kr 5 636
2013	kr 795	kr 24	kr 0	kr 14 760	kr 3 492	kr 19 071
2014	kr 3 227	kr 139	kr 0	kr 18 912	kr 8 913	kr 31 190
2015	kr 6 667	kr 421	kr 0	kr 18 205	kr 13 911	kr 39 204
2016	kr 9 677	kr 900	kr 1	kr 14 925	kr 16 334	kr 41 837
2017	kr 11 332	kr 1 552	kr 9	kr 10 992	kr 15 725	kr 39 610
2018	kr 11 489	kr 2 311	kr 46	kr 7 485	kr 12 999	kr 34 330
2019	kr 10 506	kr 3 090	kr 170	kr 4 798	kr 9 499	kr 28 064
2020	kr 8 891	kr 3 804	kr 486	kr 2 930	kr 6 264	kr 22 375
2021	kr 7 084	kr 4 381	kr 1 118	kr 1 720	kr 3 784	kr 18 088
2022	kr 5 378	kr 4 775	kr 2 160	kr 976	kr 2 120	kr 15 410
2023	kr 3 925	kr 4 968	kr 3 587	kr 539	kr 1 112	kr 14 131
2024	kr 2 772	kr 4 966	kr 5 208	kr 290	kr 551	kr 13 787
2025	kr 1 904	kr 4 794	kr 6 690	kr 153	kr 259	kr 13 799
2026	kr 1 277	kr 4 486	kr 7 662	kr 79	kr 116	kr 13 620
2027	kr 839	kr 4 085	kr 7 875	kr 40	kr 50	kr 12 889
2028	kr 541	kr 3 629	kr 7 304	kr 20	kr 21	kr 11 515
2029	kr 343	kr 3 153	kr 6 145	kr 10	kr 8	kr 9 660
2030	kr 215	kr 2 685	kr 4 714	kr 5	kr 3	kr 7 622
2031	kr 133	kr 2 244	kr 3 312	kr 2	kr 1	kr 5 693
2032	kr 81	kr 1 845	kr 2 142	kr 1	kr 0	kr 4 070
2033	kr 49	kr 1 493	kr 1 282	kr 1	kr 0	kr 2 824
2034	kr 29	kr 1 191	kr 712	kr 0	kr 0	kr 1 933
2035	kr 17	kr 938	kr 369	kr 0	kr 0	kr 1 324
2036	kr 10	kr 729	kr 179	kr 0	kr 0	kr 919
2037	kr 6	kr 560	kr 82	kr 0	kr 0	kr 648
2038	kr 4	kr 426	kr 35	kr 0	kr 0	kr 465
2039	kr 2	kr 321	kr 14	kr 0	kr 0	kr 337
2040	kr 1	kr 239	kr 6	kr 0	kr 0	kr 246
2041	kr 1	kr 177	kr 2	kr 0	kr 0	kr 180
SUM	kr 87 234	kr 64 328	kr 61 310	kr 102 035	kr 95 571	kr 410 478

Tabell 3, 5 forskjellige observasjoner med avbruddskostnader

De fem forskjellige observasjonene kan ses som individuelle kurver som viser forventede kostnader enkeltvis. Totale kostnader er markert i mørkeblått og er summen av alle de forskjellige observasjonene.

En slik graf i tillegg til en tabell med alle kostnadene for observasjonene er det man får ut etter å ha lagt inn alle inndata. Grafen her brukes til å finne ut når investeringen eller investeringene skal gjøres. Ut i fra grafen er det mulig å at de totale kostnadene er størst i år 5. Grunnen til det er observasjonene av type 4 og 5 markert i lyseblått og oransje.

En måte å reinvestere her kan være å reinvestere for observasjon 4 og 5 i år 1 siden de har høye forventede kostnader. Observasjon 1 kan også reinvesteres med det samme, men observasjon 2 og 3 er mest kritisk fra år 12 og de kan reinvesteres på et senere tidspunkt om det er ønskelig.

Alle disse tallene er nåverdiberegnet i regnearket som vist i kapittelet om regnearket, slik at observasjoner som har høye kostnader de første årene får høyere nåverdi enn de observasjonene som har høyest kostnad om for eksempel 20 år. Det gjør at kritiske observasjoner blir enda mer kritiske etter nåverdiberegningen.

Alternativer til reinvestering settes altså opp etter kurvene som er vist her. Som oftest er det slik at om noe først reinvesteres så reinvesteres alle de andre observasjonene i prosjektet. Så det dette eksempelet er det mest sannsynlig observasjon 4 som trigger et reinvesteringsbehov for prosjektet.

Hvis det ikke hadde vært noen observasjoner av type 4 og 5 hadde det vært observasjon 3 som hadde trigget et reinvesteringsbehov fra år 1 til 5 en gang avhengig av andre prosjekter.

7. Analyse av reelle prosjekter fra NTE

I denne delen av rapporten skal det modelleres med reelle prosjekter der det er observert komponenter med degradering. Disse skal beregnes med sviktsannsynlighet, aggregeres, beregnes med reparasjonskostnader, sannsynlighet for utfall, nåverdiberegnes og settes opp alternativer til hva som kan gjøres.

Ut i fra et økonomisk perspektiv skal det velges ut alternativer som vil passe for prosjektet med når eventuelle investeringer skal gjøres.

Prosjektene kommer med observasjoner som vist tidligere i rapporten. I tillegg er det oppgitt hva som er ønsket gjort. For eksempel en oppgradering av hele linjen eller en utskiftning av eldre komponenter.

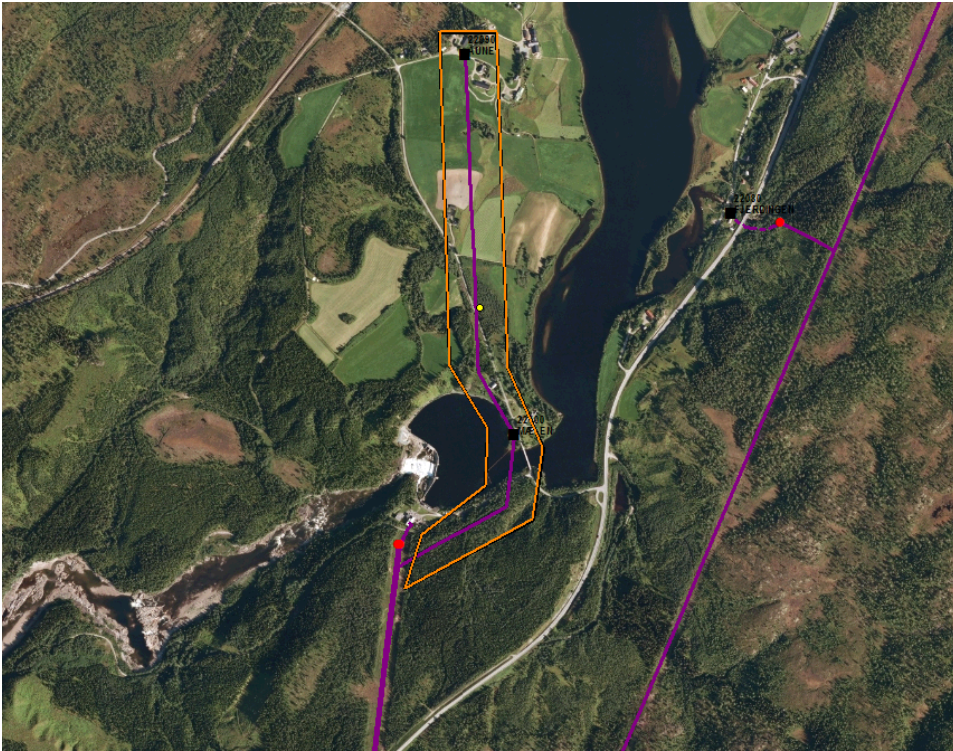
Det er gitt kostnader for varslet og ikke-varslet avbruddskostnad og en investeringskostnad. Reparasjonskostnader vil bli tilnærmet avhengig av type komponent og svikttyppe.

Kalkulasjonsrenten er for alle alternativene 4,5%.

Ut i fra disse parametrene skal det settes opp to alternativer for hvert prosjekt som det er planlagt gjort noe med.

For analysen er det laget et arbeidsark i Excel som skal brukes og som er vist og forklart i et tidligere kapittel. I det er det mulig å legge inn alle inndata og få ut totale nåverdiberegnete kostnader for investering og avbruddskostnader.

7.1 Prosjekt 1, 12361 NORD L2215 AUNE, REINVESTERING



Figur 26, Oversiktsbildet av prosjekt 12361

1.0 Bakgrunn for prosjektet

På bakgrunn av de tilstandsdata vi sitter på etter befaringer og inspeksjoner mener vi det er behov for å ta en vurdering av denne nettstasjonen med tanke på reinvestering.

Avgrening ca 1,7km 16 master med ståltråd bygd i 1957 hvor det begynner å bli en del observasjoner. Råtekontroll utført 2009.

5 råtne traverser.

Råtten stolpe.

Dårlig trafopkt. med plattform.

++

Linjeforbindelsen ligger under sekundærstasjon Aunfoss, på avgang Aunfoss-22NA1. Det forventes relativt lang utrykningstid til dette området. Det anslås at utrykningstiden minimum vil være 1 time og maksimalt 4 timer.

Det er ingen fjernstyrte brytere på avgangen og det er ingen muligheter for ringkjøring.

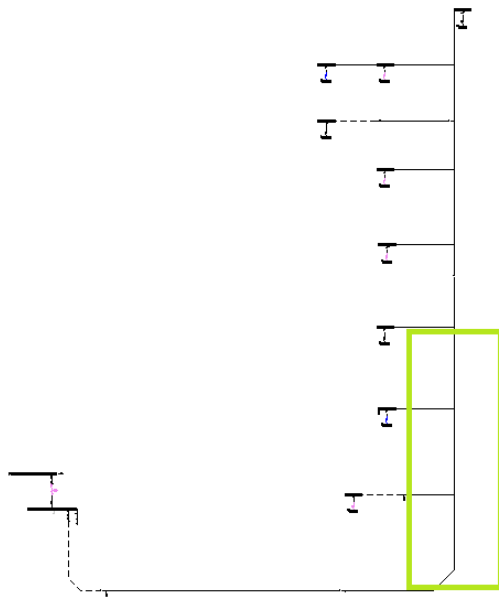
2.0 Forslag til tiltak

Det foreslås at linjeforbindelsen med mastepunkter erstattes.

På grunn av krav til mekanisk styrke anses det som uaktuelt med utbygging av lavere tverrsnitt på linjeforbindelsene.

Total lengde på forbindelsen anslås til 1,7 km.

3.0 Enlinjeskjema



Figur 27, Enlinjeskjema prosjekt 1

4.0 FORVENTET KILE VED HAVARI HS

Varslet avbrudd = 13 145kr

Ikke-varslet avbrudd = 249 137kr

Investeringskostnad = 850 000kr

5.0 FORVENTET KILE VED HAVARI LS

Ikke aktuelt i dette tilfellet.

6.0 Observasjoner

1. HMS Plattformanlegg	Ikke ok
2. Mast – tretravers – råte – kritisk	Ikke ok
3. Mast – tretravers – råte	Ikke ok
4. Mast – tretravers – råte - kritisk	Ikke ok
5. Mast – tretravers – råte	Ikke ok
6. Mast – tretravers – råte	Ikke ok
7. Mast – tre – råteangrep	Ikke ok



Figur 28, Observasjon 3, Mast - tretravers - råte



Figur 29, Observasjon 7, Mast - tre - råteangrep

I dette prosjektet er det 7 observasjoner. Den ene er HMS plattformanlegg og har ikke noen degradering eller svikt og vil bli behandlet som kritisk siden det er HMS og det bør gjøre tidlig. Å reparere plattformanlegget vil koste 200 000kr. og er med i de 850 000kr for total reinvestering. Denne summen er reinvestering av hele linjen, ikke bare observasjonene som er vist her.

Observasjoner:

3 stk. Mast - tretravers - råte

Forventet levetid =	15 år
10%-kvantil =	6 år
Estimert reparasjonskostnad =	10 000kr/stk
Sannsynlighet for utfall =	90%

2 stk. Mast - tretravers - råte - kritisk

Forventet levetid =	5 år
10%-kvantil =	3 år
Estimert reparasjonskostnad =	10 000kr/stk
Sannsynlighet for utfall =	90%

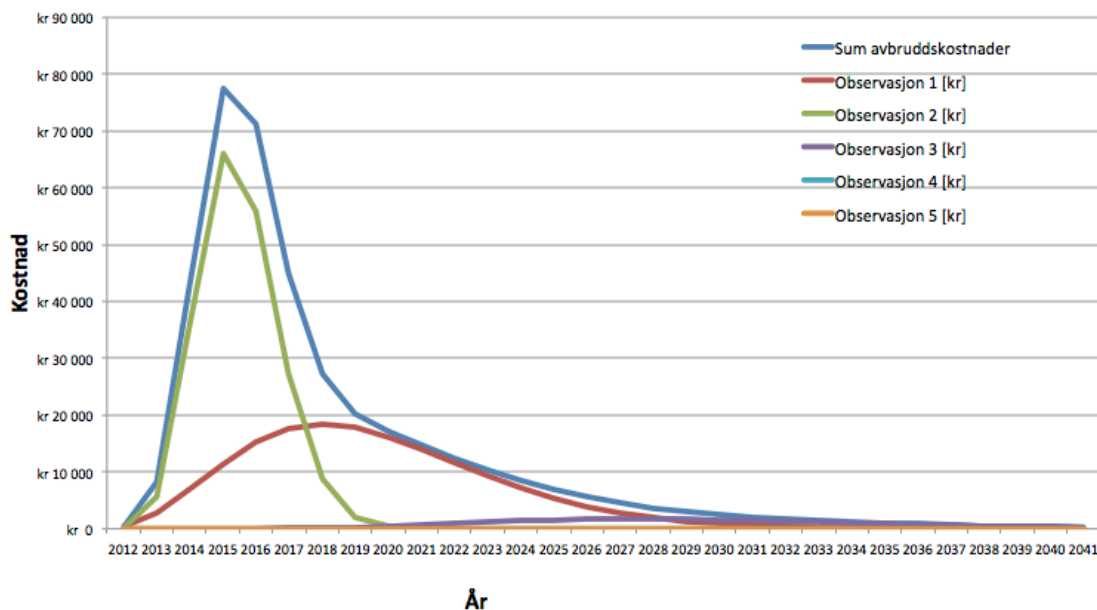
1 stk. Mast - tre - råteangrep

Forventet levetid =	20 år
10%-kvantil =	12 år
Estimert reparasjonskostnad =	20 000kr/stk
Sannsynlighet for utfall =	10%

Avbrudd- og investeringskostnad

Varslet avbrudd =	13 145kr
Ikke-varslet avbrudd =	249 137kr
Reinvesteringskostnad =	850 000kr

Inndataene legges inn i analyseverktøyet i Excel og resultatene er som følger.



År
Figur 30, Aggregerte observasjoner med avbruddskostnad i prosjekt 1

År	Nåverdi					Sum avbruddskostnader [kr]
	Observasjon 1 [kr]	Observasjon 2 [kr]	Observasjon 3 [kr]	Observasjon 4 [kr]	Observasjon 5 [kr]	
2012	kr 355	kr 60	kr 0	kr 0	kr 0	kr 415
2013	kr 2 721	kr 5 522	kr 0	kr 0	kr 0	kr 8 243
2014	kr 6 872	kr 35 642	kr 1	kr 0	kr 0	kr 42 514
2015	kr 11 427	kr 66 037	kr 6	kr 0	kr 0	kr 77 470
2016	kr 15 225	kr 55 865	kr 24	kr 0	kr 0	kr 71 113
2017	kr 17 599	kr 27 194	kr 68	kr 0	kr 0	kr 44 861
2018	kr 18 383	kr 8 789	kr 152	kr 0	kr 0	kr 27 324
2019	kr 17 768	kr 2 077	kr 285	kr 0	kr 0	kr 20 130
2020	kr 16 142	kr 384	kr 466	kr 0	kr 0	kr 16 992
2021	kr 13 935	kr 58	kr 683	kr 0	kr 0	kr 14 676
2022	kr 11 522	kr 8	kr 918	kr 0	kr 0	kr 12 447
2023	kr 9 182	kr 1	kr 1 150	kr 0	kr 0	kr 10 332
2024	kr 7 086	kr 0	kr 1 358	kr 0	kr 0	kr 8 444
2025	kr 5 316	kr 0	kr 1 526	kr 0	kr 0	kr 6 842
2026	kr 3 890	kr 0	kr 1 643	kr 0	kr 0	kr 5 533
2027	kr 2 784	kr 0	kr 1 704	kr 0	kr 0	kr 4 487
2028	kr 1 953	kr 0	kr 1 710	kr 0	kr 0	kr 3 663
2029	kr 1 345	kr 0	kr 1 669	kr 0	kr 0	kr 3 014
2030	kr 911	kr 0	kr 1 587	kr 0	kr 0	kr 2 498
2031	kr 608	kr 0	kr 1 475	kr 0	kr 0	kr 2 083
2032	kr 401	kr 0	kr 1 343	kr 0	kr 0	kr 1 743
2033	kr 260	kr 0	kr 1 200	kr 0	kr 0	kr 1 460
2034	kr 167	kr 0	kr 1 054	kr 0	kr 0	kr 1 222
2035	kr 106	kr 0	kr 912	kr 0	kr 0	kr 1 019
2036	kr 67	kr 0	kr 778	kr 0	kr 0	kr 845
2037	kr 42	kr 0	kr 655	kr 0	kr 0	kr 697
2038	kr 26	kr 0	kr 545	kr 0	kr 0	kr 571
2039	kr 16	kr 0	kr 448	kr 0	kr 0	kr 464
2040	kr 10	kr 0	kr 365	kr 0	kr 0	kr 375
2041	kr 6	kr 0	kr 294	kr 0	kr 0	kr 300
SUM	kr 166 123	kr 201 636	kr 24 017	kr 0	kr 0	kr 391 777

Tabell 4, Aggregerte observasjoner med avbruddskostnad i prosjekt 1

Som grafen viser, er det en topp i 2015 og 2016 som gir et stort utslag. Dette utslaget kommer på grunn av observasjon 2 som det er gjort to observasjoner på og som er kritisk råde på travers.

Observasjon 1, som er råde på travers, når sin største kostnad i 2018, men er betraktelig mindre enn observasjon 2. Det er bare observert en observasjon av

råte i mast, observasjon 3, og dette gjør, sammen med nåverdiberegningen, at linjen slakker ut frem i tid og vil ikke være en kritisk årsak til å ta en reinvestering tidlig.

Grafen og tabellen er utgangspunktet for å sette opp alternativer for reinvestering. Ut i fra de er observasjon 2 av kritisk råte i travers så alvorlig at den bør reinvesteres i dag i alle alternativene. De andre observasjonene kan vente noen år siden kostnadene med de er relativt små.

Alternativ 1

Reinvestere med 850 000kr for alle tre typer komponenter tilhørende observasjonene i år 2012 og den nye linjetraseen som nevnt i prosjektet.

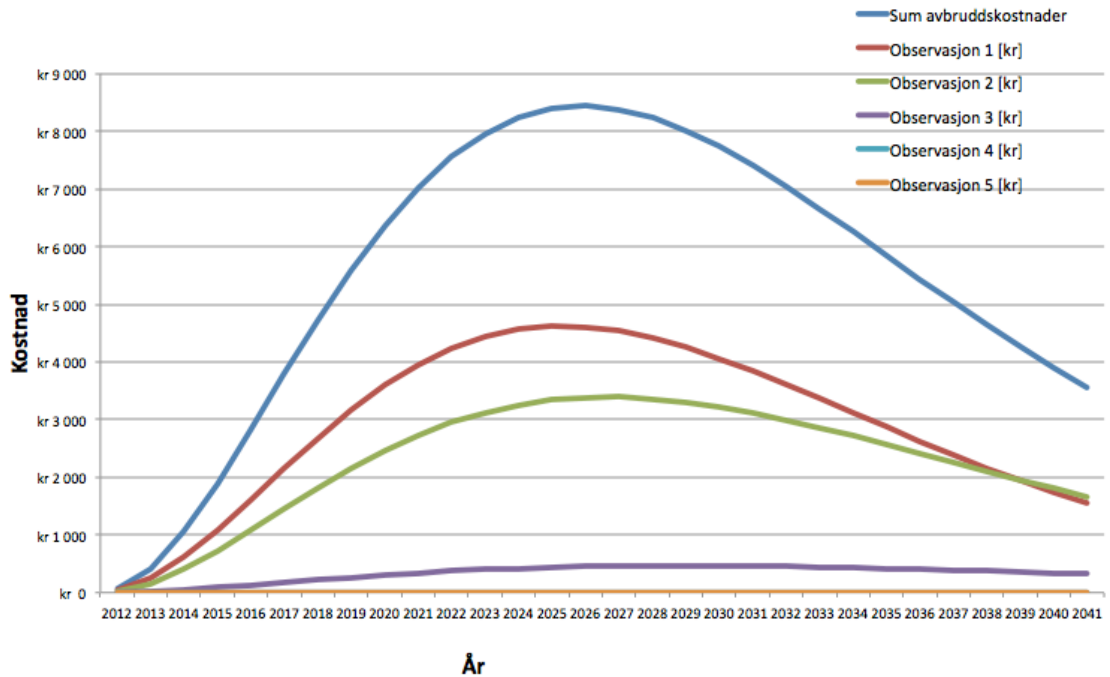
Alternativ 2

Reinvestere i to nye traverser der det er kritisk råte i år 2012 for 20 000kr i tillegg til 200 000kr for nytt plattformanlegg.

Observasjon 1, råte i travers reinvesteres i 2018 sammen med observasjon 3, råte i mast og vil koste 630 000kr.

Mast og travers har en forventet levetid på 40 år, og 10%-kvantilen settes til 15 år.

7.1.1 Alternativ 1



Figur 31, Prosjekt 1, alternativ 1

År	Nåverdi					Sum avbruddskostnader [kr]
	Observasjon 1 [kr]	Observasjon 2 [kr]	Observasjon 3 [kr]	Observasjon 4 [kr]	Observasjon 5 [kr]	
2012	kr 36	kr 24	kr 3	kr 0	kr 0	kr 63
2013	kr 241	kr 161	kr 19	kr 0	kr 0	kr 422
2014	kr 609	kr 406	kr 49	kr 0	kr 0	kr 1 065
2015	kr 1 082	kr 723	kr 87	kr 0	kr 0	kr 1 892
2016	kr 1 611	kr 1 079	kr 131	kr 0	kr 0	kr 2 821
2017	kr 2 157	kr 1 449	kr 176	kr 0	kr 0	kr 3 782
2018	kr 2 685	kr 1 812	kr 221	kr 0	kr 0	kr 4 717
2019	kr 3 171	kr 2 153	kr 264	kr 0	kr 0	kr 5 588
2020	kr 3 599	kr 2 461	kr 304	kr 0	kr 0	kr 6 363
2021	kr 3 956	kr 2 728	kr 340	kr 0	kr 0	kr 7 023
2022	kr 4 236	kr 2 950	kr 371	kr 0	kr 0	kr 7 556
2023	kr 4 438	kr 3 126	kr 398	kr 0	kr 0	kr 7 961
2024	kr 4 563	kr 3 255	kr 420	kr 0	kr 0	kr 8 237
2025	kr 4 616	kr 3 340	kr 437	kr 0	kr 0	kr 8 392
2026	kr 4 604	kr 3 383	kr 449	kr 0	kr 0	kr 8 436
2027	kr 4 534	kr 3 388	kr 457	kr 0	kr 0	kr 8 380
2028	kr 4 415	kr 3 359	kr 462	kr 0	kr 0	kr 8 236
2029	kr 4 255	kr 3 301	kr 463	kr 0	kr 0	kr 8 019
2030	kr 4 063	kr 3 217	kr 460	kr 0	kr 0	kr 7 741
2031	kr 3 846	kr 3 113	kr 455	kr 0	kr 0	kr 7 414
2032	kr 3 612	kr 2 992	kr 448	kr 0	kr 0	kr 7 052
2033	kr 3 368	kr 2 858	kr 438	kr 0	kr 0	kr 6 664
2034	kr 3 119	kr 2 715	kr 427	kr 0	kr 0	kr 6 260
2035	kr 2 870	kr 2 565	kr 414	kr 0	kr 0	kr 5 849
2036	kr 2 626	kr 2 412	kr 400	kr 0	kr 0	kr 5 438
2037	kr 2 389	kr 2 258	kr 386	kr 0	kr 0	kr 5 033
2038	kr 2 162	kr 2 105	kr 370	kr 0	kr 0	kr 4 637
2039	kr 1 948	kr 1 954	kr 354	kr 0	kr 0	kr 4 256
2040	kr 1 747	kr 1 808	kr 338	kr 0	kr 0	kr 3 893
2041	kr 1 559	kr 1 667	kr 322	kr 0	kr 0	kr 3 548
SUM	kr 88 115	kr 68 760	kr 9 864	kr 0	kr 0	kr 166 739

Tabell 5, Prosjekt 1, alternativ 1

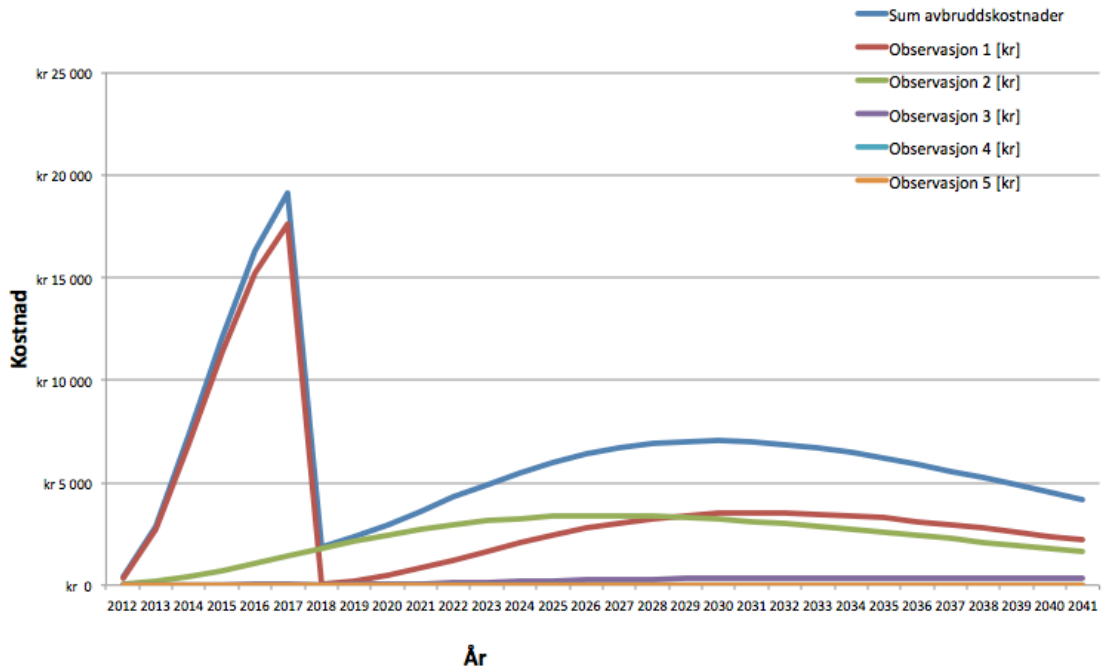
Siden alle tre typer observasjoner har samme forventet levetid og 10%-kvantil vil de ha samme fordeling og vil de ha tilnærmet lit fordeling. Det eneste som skiller de litt er antallet observasjoner som aggregeres. Flere observasjoner av en type vil skyve toppen på grafen litt opp og frem i tid. Men med en så slak graf som for en ny komponent så vil det ha lite å si.

De forventede kostnadene for avbrudd og reparasjon i en analyseperiode på 30 år med reinvestering i år 1 vil være 166 739kr. I tillegg kommer reinvesteringen på 850 000kr i slutten på år 1. Nåverdien av den er 752 411kr.

Totalt vil alternativ 1 koste:

$$K = 166\,739\text{kr} + 752\,411\text{kr} = \underline{\mathbf{919\,150\text{kr}}}$$

7.1.2 Alternativ 2



År
Figur 32, Prosjekt 1, alternativ 2

År	Nåverdi						Sum avbruddskostnader [kr]
	Observasjon 1 [kr]	Observasjon 2 [kr]	Observasjon 3 [kr]	Observasjon 4 [kr]	Observasjon 5 [kr]		
2012	kr 355	kr 24	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 379
2013	kr 2 721	kr 161	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 2 882
2014	kr 6 872	kr 406	kr 1	kr 0	kr 0	kr 0	kr 7 279
2015	kr 11 427	kr 723	kr 6	kr 0	kr 0	kr 0	kr 12 156
2016	kr 15 225	kr 1 079	kr 24	kr 0	kr 0	kr 0	kr 16 327
2017	kr 17 599	kr 1 449	kr 68	kr 0	kr 0	kr 0	kr 19 117
2018	kr 28	kr 1 812	kr 2	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1 842
2019	kr 185	kr 2 153	kr 15	kr 0	kr 0	kr 0	kr 2 353
2020	kr 468	kr 2 461	kr 38	kr 0	kr 0	kr 0	kr 2 966
2021	kr 831	kr 2 728	kr 67	kr 0	kr 0	kr 0	kr 3 625
2022	kr 1 237	kr 2 950	kr 100	kr 0	kr 0	kr 0	kr 4 287
2023	kr 1 656	kr 3 126	kr 135	kr 0	kr 0	kr 0	kr 4 917
2024	kr 2 061	kr 3 255	kr 170	kr 0	kr 0	kr 0	kr 5 486
2025	kr 2 435	kr 3 340	kr 203	kr 0	kr 0	kr 0	kr 5 978
2026	kr 2 764	kr 3 383	kr 233	kr 0	kr 0	kr 0	kr 6 380
2027	kr 3 038	kr 3 388	kr 261	kr 0	kr 0	kr 0	kr 6 687
2028	kr 3 252	kr 3 359	kr 285	kr 0	kr 0	kr 0	kr 6 897
2029	kr 3 408	kr 3 301	kr 305	kr 0	kr 0	kr 0	kr 7 014
2030	kr 3 504	kr 3 217	kr 322	kr 0	kr 0	kr 0	kr 7 043
2031	kr 3 545	kr 3 113	kr 335	kr 0	kr 0	kr 0	kr 6 993
2032	kr 3 536	kr 2 992	kr 345	kr 0	kr 0	kr 0	kr 6 873
2033	kr 3 482	kr 2 858	kr 351	kr 0	kr 0	kr 0	kr 6 691
2034	kr 3 390	kr 2 715	kr 355	kr 0	kr 0	kr 0	kr 6 459
2035	kr 3 267	kr 2 565	kr 355	kr 0	kr 0	kr 0	kr 6 188
2036	kr 3 120	kr 2 412	kr 354	kr 0	kr 0	kr 0	kr 5 885
2037	kr 2 953	kr 2 258	kr 350	kr 0	kr 0	kr 0	kr 5 561
2038	kr 2 774	kr 2 105	kr 344	kr 0	kr 0	kr 0	kr 5 222
2039	kr 2 586	kr 1 954	kr 337	kr 0	kr 0	kr 0	kr 4 877
2040	kr 2 395	kr 1 808	kr 328	kr 0	kr 0	kr 0	kr 4 531
2041	kr 2 204	kr 1 667	kr 318	kr 0	kr 0	kr 0	kr 4 189
SUM	kr 112 317	kr 68 760	kr 6 005	kr 0	kr 0	kr 0	kr 187 082

Tabell 6, Prosjekt 1, alternativ 2

Observasjon 2 har fortsatt samme forventede kostnader siden traversen som er kritisk på grunn av råte blir byttet ut i år 2012 som i alternativ 1 sammen med nytt plattformanlegg. Observasjon 1 og 3 blir investert i 2018 og får litt høyere forventede kostnader siden fordelingen av svikten er høyere de første årene. Ved å bytte den ene masten og de to traversene med råte i 2018 i stede for med en gang vil de samlede forventede kostnadene være litt høyere enn i alternativ 1. Samtidig vil hele reinvesteringen skje i år 2018 slik at nåverdien blir lavere. Så utgangspunktet er at de forventede kostnadene ikke øker like mye som nåverdien av investeringen synker. Investeringskostnadene blir på 575 825kr og det gir en total kostnad på:

Investering		
År	[kr]	Nåverdi beregnet [kr]
2012	kr 220 000	kr 194 742
2018	kr 630 000	kr 381 083
0	kr 0	kr 0
0	kr 0	kr 0
0	kr 0	kr 0
Sum investering		kr 575 825

Tabell 7, Nåverdi av investering i Prosjekt 1, alternativ 2

$$K = 187\,082\text{kr} + 575\,825\text{kr} = \underline{\underline{762\,907\text{kr}}}$$

Differansen mellom alternativ 1 og 2 er:

$$\text{Alternativ 1} - \text{Alternativ 2} = 919\,150\text{kr} - 762\,907\text{kr} = 156\,243\text{kr}$$

Det vil si at alternativ 1 er 156 243kr dyrere å velge enn alternativ 2. HMS plattformanlegget er i begge alternativene prioritert slik at det investeres i 2012 siden dette er en viktig sak.

Det kan også settes opp flere alternativ for investering som passer, men det vil det ikke bli gått inn på her. Hovedsaken her er å vise fremgangsmåten for metoden som brukes og hvordan den påvirker prosjekter.

7.2 Prosjekt 2, 12386 L2701 Otterøy, Reinvestering



Figur 33, Oversiktsbildet av Prosjekt 2

1.0 Bakgrunn for prosjektet

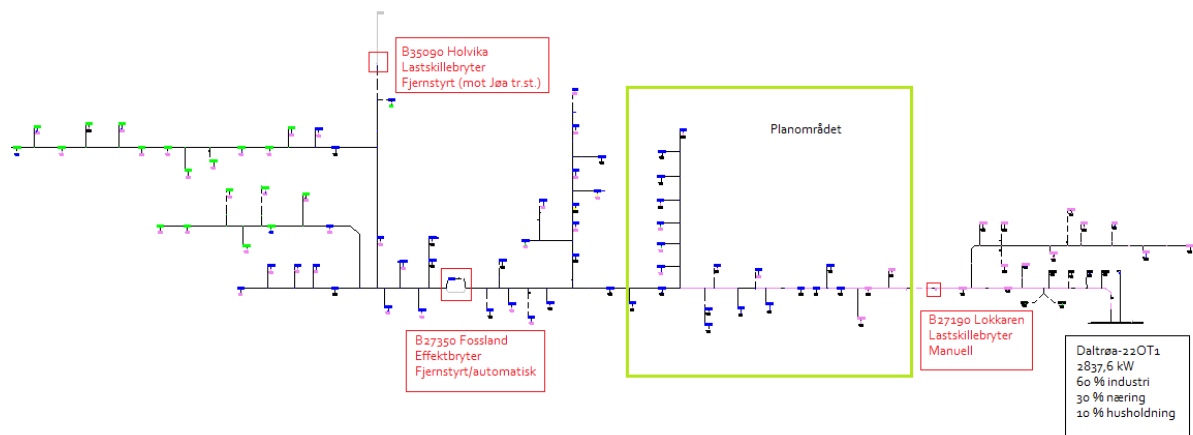
På bakgrunn av de tilstandsdata vi sitter på etter befaringer og inspeksjoner mener vi det er behov for å ta en vurdering av denne linjen med tanke på reinvestering. Linjen er bygd i 1962 og er tilknyttet mange observasjoner. Ser i første omgang på linjestrekket med flest observasjoner. Dagens tverrsnitt er FeAl 1x50 Temp 40. Total linjelengde er ca 7,5 km. Kystklima (Otterøya utenfor Namsos).

Linjen er definert som NTE Hovedsti (dvs. hovedvei for reserveforsyning mellom Jøa og Daltrøa tr.st.).

2.0 Forslag til tiltak

Det foreslås at linjen reinvesteres 1:1.

3.0 Enlinjeskjema



Figur 34, Enlinjeskjema Prosjekt 2

4.0 FORVENTET KILE VED HAVARI HS

Ved havari av luftlinje innenfor planområdet vil hele avgangen i ca 10 minutter ligge spenningsløs. Innen 10 minutter vil effektbryter B27350 Fosslund og lastskillebryter B35090 Holvika bli benyttet til å opprette forsyning fra Jøa til lasten utenfor B27350 (dette tilsvarer ca 1830 kW). Resten av avgangen vil ligge ute inntil feilen er rettet.

Området ligger enkelt tilgjengelig fra vei. Kjøretid fra nærmeste utrykningssted er omtrent 20 minutter.

Varslet avbrudd = 96 134kr

Ikke-varslet avbrudd = 291 461kr

Investeringskostnad = 5 500 000kr

5.0 FORVENTET KILE VED HAVARI LS

Ikke aktuelt i dette tilfellet.

6.0 Observasjoner

1. HMS Plattformanlegg, aktuelt å skifte
2. HMS Plattformanlegg, aktuelt å skifte

3. Mast – tretravers – råte, tilstandsvurdering: ikke ok
4. Mast – tretravers – råte, tilstandsvurdering: ikke ok
5. Mast – tretravers – råte, tilstandsvurdering: ikke ok
6. Mast – tretravers – råte, tilstandsvurdering: ikke ok
7. Mast – tretravers – råte, tilstandsvurdering: ikke ok
8. Mast – tretravers – råte, tilstandsvurdering: ikke ok
9. Mast – tretravers – råte, tilstandsvurdering: ikke ok
10. Mast – tretravers – råte, tilstandsvurdering: ikke ok
11. Mast – tretravers – råte, tilstandsvurdering: ikke ok
12. Mast – tretravers – råte, tilstandsvurdering: ikke ok
13. Mast – tretravers – råte, tilstandsvurdering: ikke ok

14. Mast – tre – hakkespetthull, tilstandsvurdering: ikke ok
15. Mast – tre – hakkespetthull, tilstandsvurdering: ikke ok
16. Mast – tre – hakkespetthull, tilstandsvurdering: ikke ok
17. Mast – tre – hakkespetthull, tilstandsvurdering: ikke ok
18. Mast – tre – hakkespetthull, tilstandsvurdering: ikke ok

19. Mast-tre-travers-skjev/sig, tilstandsvurdering: ikke ok
20. Mast-tre-travers-skjev/sig, tilstandsvurdering: ikke ok
21. Mast-tre-travers-skjev/sig, tilstandsvurdering: ikke ok
22. Mast-tre-travers-skjev/sig, tilstandsvurdering: ikke ok

I dette prosjektet er det 22 observasjoner. To er HMS plattformanlegg og har ikke noen degradering eller svikt og vil bli behandlet som kritisk siden det er HMS og det bør gjøre tidlig. Å reparere plattformanlegget vil koste 200 000kr. og er med i de 5 200 000kr for total reinvestering. Denne summen er reinvestering av hele linjen, ikke bare observasjonene som er vist her. Linjen er bygd i 1962 så det er ikke aktuelt å tette hakkespetthull. Mastene vil derfor bli byttet ut i stede for å tette hullene.

Skjev/sig i tretravers vil ikke føre til utfall siden den vil stoppe før skade kan skje og vil ikke bli reinvestert før hele reinvesteres.

Observasjoner:

2 stk. HMS plattformanlegg

Estimert investering = 200 000kr

11 stk. Mast - tretravers - råte

Forventet levetid =	15 år
10%-kvantil =	6 år
Estimert reparasjonskostnad =	10 000kr/stk
Sannsynlighet for utfall =	90%

5 stk. Mast - tre - hakkespetthull

Forventet levetid =	15 år
10%-kvantil =	7 år
Estimert reparasjonskostnad =	20 000kr/stk
Sannsynlighet for utfall =	10%

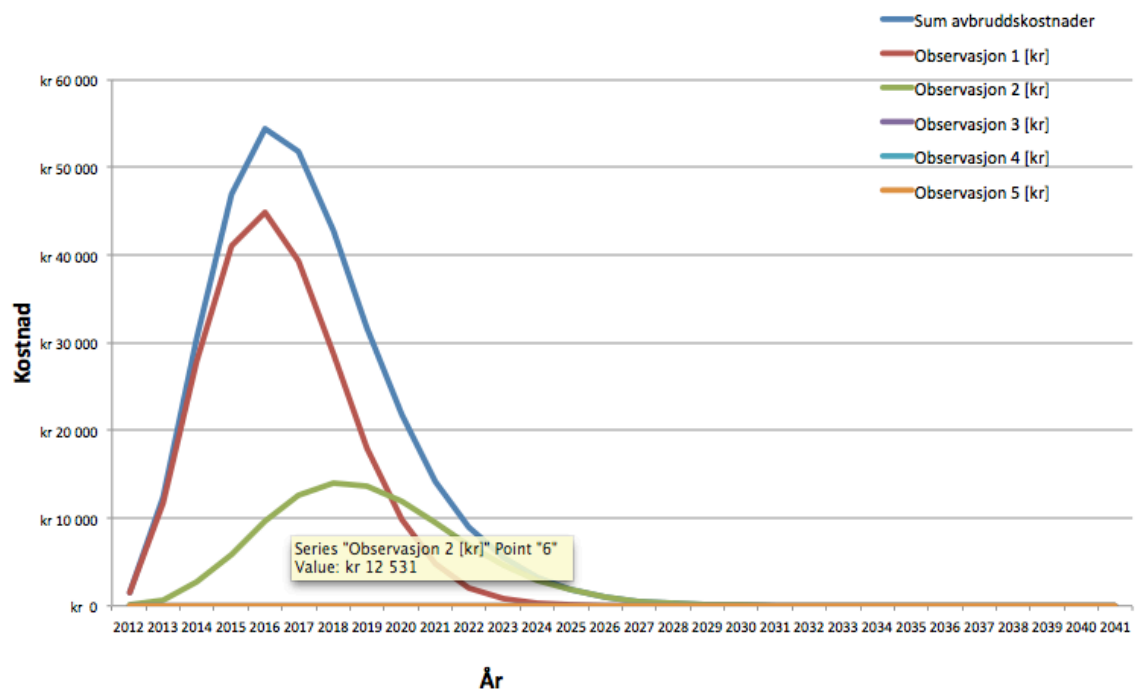
4 stk. Mast - tretravers - skjev/sig

Estimert reparasjonskostnad = 10 000kr/stk

Avbrudd- og investeringskostnad

Varslet avbrudd =	96 134kr
Ikke-varslet avbrudd =	291 461kr
Reinvesteringskostnad =	5 500 000kr

Inndataene legges inn i analyseverktøyet i Excel og resultatene er som følger.



Figur 35, Aggregerte observasjoner med avbruddskostnader

År	Nåverdi					Sum avbruddskostnader [kr]
	Observasjon 1 [kr]	Observasjon 2 [kr]	Observasjon 3 [kr]	Observasjon 4 [kr]	Observasjon 5 [kr]	
2012	kr 1 553	kr 39	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1 592
2013	kr 11 705	kr 661	kr 0	kr 0	kr 0	kr 12 366
2014	kr 27 850	kr 2 643	kr 0	kr 0	kr 0	kr 30 494
2015	kr 40 986	kr 5 908	kr 0	kr 0	kr 0	kr 46 894
2016	kr 44 849	kr 9 579	kr 0	kr 0	kr 0	kr 54 429
2017	kr 39 322	kr 12 531	kr 0	kr 0	kr 0	kr 51 853
2018	kr 28 762	kr 13 945	kr 0	kr 0	kr 0	kr 42 706
2019	kr 18 019	kr 13 614	kr 0	kr 0	kr 0	kr 31 634
2020	kr 9 860	kr 11 904	kr 0	kr 0	kr 0	kr 21 764
2021	kr 4 787	kr 9 461	kr 0	kr 0	kr 0	kr 14 247
2022	kr 2 088	kr 6 914	kr 0	kr 0	kr 0	kr 9 002
2023	kr 828	kr 4 690	kr 0	kr 0	kr 0	kr 5 518
2024	kr 301	kr 2 976	kr 0	kr 0	kr 0	kr 3 277
2025	kr 101	kr 1 779	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1 880
2026	kr 32	kr 1 007	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1 039
2027	kr 9	kr 543	kr 0	kr 0	kr 0	kr 552
2028	kr 3	kr 280	kr 0	kr 0	kr 0	kr 282
2029	kr 1	kr 138	kr 0	kr 0	kr 0	kr 139
2030	kr 0	kr 66	kr 0	kr 0	kr 0	kr 66
2031	kr 0	kr 30	kr 0	kr 0	kr 0	kr 30
2032	kr 0	kr 13	kr 0	kr 0	kr 0	kr 13
2033	kr 0	kr 6	kr 0	kr 0	kr 0	kr 6
2034	kr 0	kr 2	kr 0	kr 0	kr 0	kr 2
2035	kr 0	kr 1	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1
2036	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0
2037	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0
2038	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0
2039	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0
2040	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0
2041	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0
SUM	kr 231 056	kr 98 731	kr 0	kr 0	kr 0	kr 329 787

Tabell 8, Aggregerte observasjoner med avbruddskostnader

Den høyeste forventede kostnaden kommer i 2016 med 54 429kr. Observasjon 1 har 11 observasjoner med råte i travers og har også sin største forventede kostnad i 2016, mens observasjonen av 5 hakkespetthull har topp i 2018. Disse to observasjonene er ganske like med tanke på når de har sin største kostnad,

men det er observasjonen som angår råte i travers som har høyest kostnad. I tillegg til at råte i travers er den observasjonen med mest kostnad, kommer den ganske tidlig og det vil da være naturlig å investere tidlig. Denne grafen er en hjelp til å sette opp alternativer for når og hva som skal reinvesteres. Alternativene som velges er som følger:

Alternativ 1

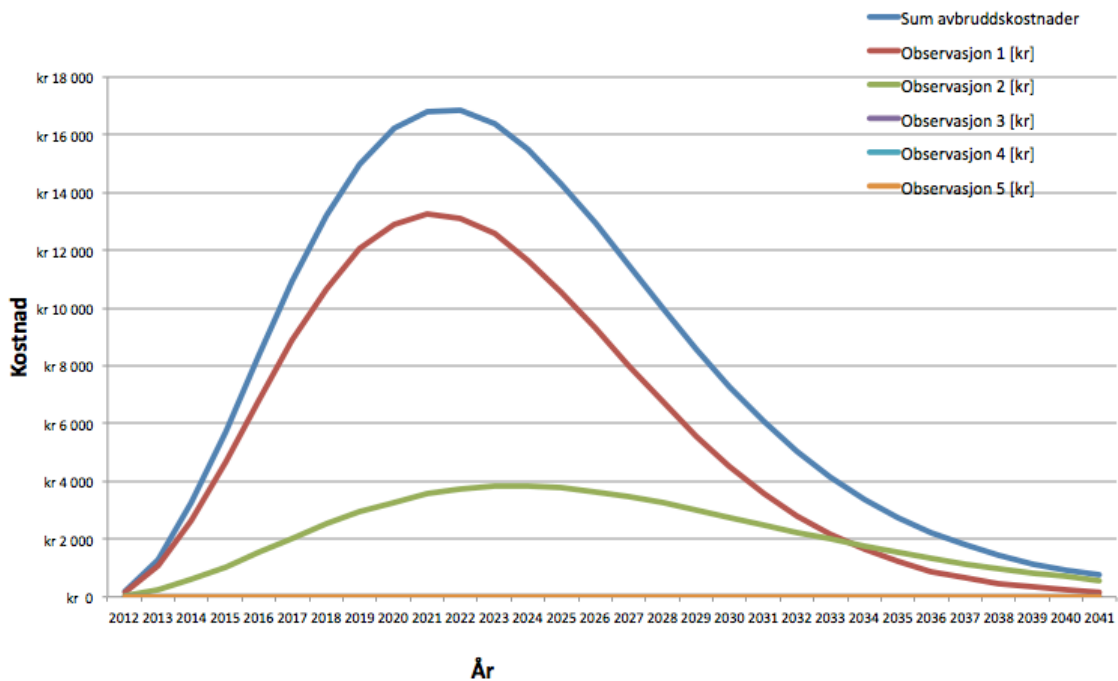
Reinvestere med 5 500 000kr for alle komponenter, inkludert HMS plattformanlegg i 2012.

Alternativ 2

Reinvestere i 11 nye traverser der det er observert råte for 10 000kr per travers og to plattformanlegg for 200 000kr hver i 2012. Resterende nett reinvesteres i 2018 og vil koste 4 990 000kr.

Mast og travers har en forventet levetid på 40 år, og 10%-kvantilen settes til 15 år.

7.2.1 Alternativ 1



Figur 36, Prosjekt 2, alternativ 1

År	Nåverdi					Sum avbruddskostnader [kr]
	Observasjon 1 [kr]	Observasjon 2 [kr]	Observasjon 3 [kr]	Observasjon 4 [kr]	Observasjon 5 [kr]	
2012	kr 158	kr 35	kr 0	kr 0	kr 0	kr 193
2013	kr 1 057	kr 232	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1 289
2014	kr 2 655	kr 584	kr 0	kr 0	kr 0	kr 3 238
2015	kr 4 664	kr 1 034	kr 0	kr 0	kr 0	kr 5 698
2016	kr 6 823	kr 1 533	kr 0	kr 0	kr 0	kr 8 356
2017	kr 8 894	kr 2 039	kr 0	kr 0	kr 0	kr 10 932
2018	kr 10 677	kr 2 514	kr 0	kr 0	kr 0	kr 13 191
2019	kr 12 043	kr 2 936	kr 0	kr 0	kr 0	kr 14 979
2020	kr 12 910	kr 3 285	kr 0	kr 0	kr 0	kr 16 194
2021	kr 13 257	kr 3 550	kr 0	kr 0	kr 0	kr 16 806
2022	kr 13 115	kr 3 726	kr 0	kr 0	kr 0	kr 16 841
2023	kr 12 554	kr 3 817	kr 0	kr 0	kr 0	kr 16 370
2024	kr 11 661	kr 3 826	kr 0	kr 0	kr 0	kr 15 487
2025	kr 10 540	kr 3 763	kr 0	kr 0	kr 0	kr 14 303
2026	kr 9 291	kr 3 639	kr 0	kr 0	kr 0	kr 12 930
2027	kr 7 999	kr 3 465	kr 0	kr 0	kr 0	kr 11 465
2028	kr 6 738	kr 3 254	kr 0	kr 0	kr 0	kr 9 992
2029	kr 5 561	kr 3 017	kr 0	kr 0	kr 0	kr 8 578
2030	kr 4 501	kr 2 764	kr 0	kr 0	kr 0	kr 7 265
2031	kr 3 577	kr 2 504	kr 0	kr 0	kr 0	kr 6 081
2032	kr 2 794	kr 2 246	kr 0	kr 0	kr 0	kr 5 040
2033	kr 2 147	kr 1 995	kr 0	kr 0	kr 0	kr 4 142
2034	kr 1 624	kr 1 756	kr 0	kr 0	kr 0	kr 3 380
2035	kr 1 210	kr 1 533	kr 0	kr 0	kr 0	kr 2 744
2036	kr 889	kr 1 328	kr 0	kr 0	kr 0	kr 2 217
2037	kr 644	kr 1 142	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1 786
2038	kr 461	kr 974	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1 435
2039	kr 326	kr 826	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1 152
2040	kr 227	kr 696	kr 0	kr 0	kr 0	kr 923
2041	kr 157	kr 582	kr 0	kr 0	kr 0	kr 739
SUM	kr 169 154	kr 64 594	kr 0	kr 0	kr 0	kr 233 748

Tabell 9, Prosjekt 2, alternativ 1

Fordelingen for de to observasjonene er omtrent like. Det som skiller observasjon 1, råte i travers, fra observasjon 2, hakkespetthull, er at det er 11

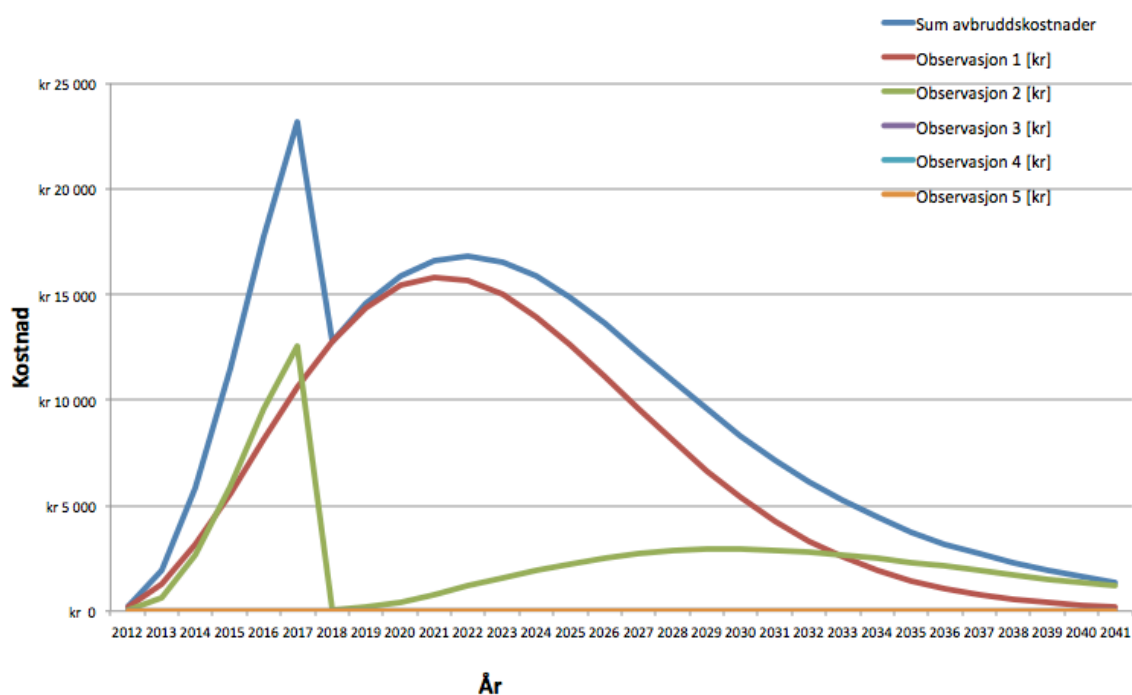
observasjoner fra råte i travers og 5 observasjoner fra hakkespetthull. Med aggregering vil flere observasjoner gjøre grafen spissere og flyttes litt tidligere i tid. I og med at en svikt i travers vil føre til utfall i 90% av tilfellene vil den også ha et utgangspunkt med høyere kostnad også.

Den forventede kostnadene knyttet til avbrudd vil være 233 748kr for en 30 års analyseperiode. 5 500 000kr investert på slutten av 2012 vil ha en nåverdi på 4 868 542kr.

Samlet vil alternativ 1 koste:

$$K = 233\,748\text{kr} + 4\,868\,542\text{kr} = \underline{\underline{5\,102\,290\text{kr}}}$$

7.2.2 Alternativ 2



Figur 37, Prosjekt 2, alternativ 2

År	Nåverdi					Sum avbruddskostander [kr]
	Observasjon 1 [kr]	Observasjon 2 [kr]	Observasjon 3 [kr]	Observasjon 4 [kr]	Observasjon 5 [kr]	
2012	kr 189	kr 39	kr 0	kr 0	kr 0	kr 228
2013	kr 1 263	kr 661	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1 923
2014	kr 3 171	kr 2 643	kr 0	kr 0	kr 0	kr 5 815
2015	kr 5 572	kr 5 908	kr 0	kr 0	kr 0	kr 11 480
2016	kr 8 151	kr 9 579	kr 0	kr 0	kr 0	kr 17 730
2017	kr 10 625	kr 12 531	kr 0	kr 0	kr 0	kr 23 155
2018	kr 12 755	kr 27	kr 0	kr 0	kr 0	kr 12 781
2019	kr 14 386	kr 178	kr 0	kr 0	kr 0	kr 14 564
2020	kr 15 422	kr 448	kr 0	kr 0	kr 0	kr 15 870
2021	kr 15 837	kr 794	kr 0	kr 0	kr 0	kr 16 631
2022	kr 15 668	kr 1 177	kr 0	kr 0	kr 0	kr 16 845
2023	kr 14 997	kr 1 565	kr 0	kr 0	kr 0	kr 16 562
2024	kr 13 930	kr 1 931	kr 0	kr 0	kr 0	kr 15 861
2025	kr 12 591	kr 2 255	kr 0	kr 0	kr 0	kr 14 846
2026	kr 11 099	kr 2 522	kr 0	kr 0	kr 0	kr 13 621
2027	kr 9 556	kr 2 726	kr 0	kr 0	kr 0	kr 12 282
2028	kr 8 049	kr 2 861	kr 0	kr 0	kr 0	kr 10 911
2029	kr 6 643	kr 2 931	kr 0	kr 0	kr 0	kr 9 574
2030	kr 5 377	kr 2 938	kr 0	kr 0	kr 0	kr 8 315
2031	kr 4 273	kr 2 890	kr 0	kr 0	kr 0	kr 7 163
2032	kr 3 338	kr 2 795	kr 0	kr 0	kr 0	kr 6 133
2033	kr 2 565	kr 2 661	kr 0	kr 0	kr 0	kr 5 226
2034	kr 1 940	kr 2 499	kr 0	kr 0	kr 0	kr 4 439
2035	kr 1 446	kr 2 317	kr 0	kr 0	kr 0	kr 3 762
2036	kr 1 062	kr 2 122	kr 0	kr 0	kr 0	kr 3 185
2037	kr 770	kr 1 923	kr 0	kr 0	kr 0	kr 2 693
2038	kr 551	kr 1 725	kr 0	kr 0	kr 0	kr 2 276
2039	kr 389	kr 1 532	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1 921
2040	kr 272	kr 1 349	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1 621
2041	kr 188	kr 1 178	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1 365
SUM	kr 202 074	kr 76 703	kr 0	kr 0	kr 0	kr 278 777

Tabell 10, Prosjekt 2, alternativ 2

Forventede avbruddskostnader vil ikke være mye mindre i alternativ 2 enn i alternativ 2 siden det kun er snakk om 5 observasjoner av hakkespetthull som byttes ut. Det investeres med 510 000kr i 2012 og 4 990 000kr i 2018. Nåverdien av reinvesteringen som skjer i 2018 vil være betraktelig mindre enn om investeringen skjer i 2012 og derfor denne forskjellen være mye større enn det man tjener på mindre avbruddskostnad.

Investering		
År	[kr]	Nåverdiberegnet [kr]
2012	kr 510 000	kr 451 447
2018	kr 4 990 000	kr 3 018 423
2020	kr 0	kr 0
2021	kr 0	kr 0
2022	kr 0	kr 0
Sum investering		kr 3 469 870

Figur 38, Nåverdi av investering Prosjekt 2, alternativ 2

Den totale kostnaden for alternativ 2 vil bli:

$$K = 278\,777\text{kr} + 3\,469\,870\text{kr} = \underline{\underline{3\,748\,647\text{kr}}}$$

Differansen mellom alternativ 1 og 2 er:

$$\text{Alternativ 1} - \text{Alternativ 2} = 5\,102\,290\text{kr} - 3\,748\,647\text{kr} = \underline{\underline{1\,353\,643\text{kr}}}$$

Alternativ 2 er derfor over 1,3 millioner kroner rimeligere enn alternativ 1. I utgangspunktet vil det da være naturlig å forskyve noe av reinvesteringen og kun ta traversene med råte med gang. Men med en slik stor investering i forhold til type observasjoner og avbruddskostnader vil det stort sett lønne seg å utsette reinvesteringen på grunn av nåverdiberegningen av reinvesteringen.

Det er da viktig å se på hele bildet. Prosjektet omhandler en hovedsti for NTE uten ringforbindelse. Det vil si at om det skjer et utfall på linjen vil alle utover linjen miste strømmen. I slike tilfeller må man se på helheten og hvor viktig det er å opprettholde et stabilt nett uten å ta sjanser. Råte på travers må reinvesteres så fort som mulig uansett siden sannsynligheten for at et utfall skjer på grunn av det er veldig stor. Hakkespetthullene kan tettet ved samme anledning, men linjen er fra 1962, så mastene er mest sannsynlig relativt dårlige fra før og tetting er det lite å tjene på. Sannsynligheten for at utfall på grunn av hakkespetthull er ganske liten og det kan være en idé reinvestere mastene med hakkespetthull på samme tidspunktet som man reinvesteres resten av linjen.

6.0 Observasjoner

Kontrollpunkt	Komponenttype	Status	Tilstandsverdi	Byggeår	Radial	Komp.nummer
HMS Plattformanlegg	MS	Vurdert		1967	FØLLING-22KV1	5052
HMS Plattformanlegg	MS	Vurdert		1900	FØLLING-22KV1	5053
Mast - tretravers - råte	MS	Vurdert	2. Ikke OK	1967	FØLLING-22KV1	5052
Mast - tretravers - råte	MS	Vurdert	2. Ikke OK	1900	FØLLING-22KV1	5052
Mast - tre - skjev	MS	Vurdert	2. Ikke OK	1900	FØLLING-22KV1	5052
Mast - tre - skade på mast (hugg/slag > 4 cm)	MS	Vurdert	2. Ikke OK	1900	FØLLING-22KV1	5052
Mast - tre - skade på mast (hugg/slag > 4 cm)	MS	Vurdert	2. Ikke OK	1900	FØLLING-22KV1	5052
Mast - tre - skade på mast (hugg/slag > 4 cm)	MS	Vurdert	2. Ikke OK	2008	FØLLING-22KV1	5052
Mast - tre - travers - skjev/sig	MS	Vurdert	2. Ikke OK	1900	FØLLING-22KV1	5052
Mast - tre - skade på mast (hugg/slag > 4 cm)	MS	Vurdert	2. Ikke OK	1900	FØLLING-22KV1	5052
Mast - tretravers - råte	MS	Vurdert	2. Ikke OK	1900	FØLLING-22KV1	5052
Mast - tre - skade på mast (hugg/slag > 4 cm)	MS	Vurdert	2. Ikke OK	1900	FØLLING-22KV1	5052
Mast - tre - skade på mast (hugg/slag > 4 cm)	MS	Vurdert	2. Ikke OK	1900	FØLLING-22KV1	5052
Mast - tre - skade på mast (hugg/slag > 4 cm)	MS	Vurdert	2. Ikke OK	1900	FØLLING-22KV1	5052
Mast - tre - travers - skjev/sig	MS	Vurdert	2. Ikke OK	1967	FØLLING-22KV1	5052

Observasjoner:

2 stk. HMS plattformanlegg

Estimert investering = 200 000kr

3 stk. Mast - tretravers - råte

Forventet levetid = 15 år
10%-kvantil = 6 år
Estimert reparasjonskostnad = 10 000kr/stk
Sannsynlighet for utfall = 90%

7 stk. Mast - tre - skade på mast (hugg/slag > 4cm)

Forventet levetid = 15 år
10%-kvantil = 7 år
Estimert reparasjonskostnad = 20 000kr/stk
Sannsynlighet for utfall = 10%

2 stk. Mast - tretravers - skjev/sig

Estimert reparasjonskostnad = 10 000kr/stk
Vil stoppe å sige før det fører til utfall.

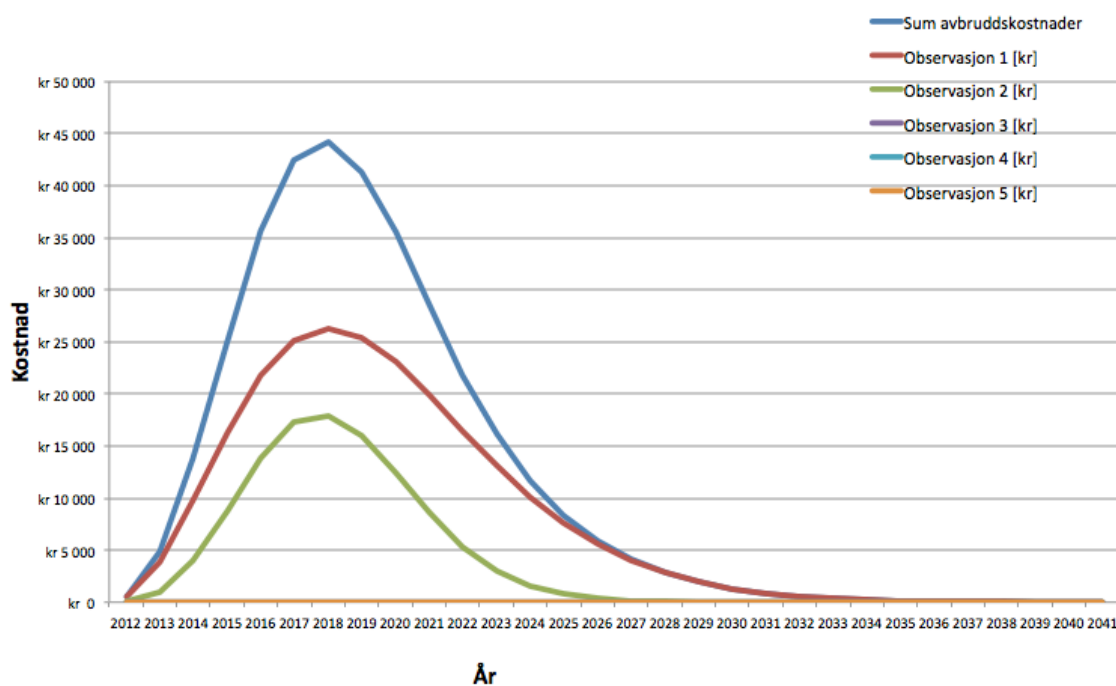
1 stk. Mast - tre -skjev

Vil ikke ha noe å si om det ikke er råte i masten. Ingen observasjoner med råte i mast så denne observasjonen vil ikke ha noe å si.

Avbrudd- og investeringskostnad

Varslet avbrudd =	102 469kr
Ikke-varslet avbrudd =	351 721kr
Reinvesteringskostnad =	5 200 000kr

Inndataene legges inn i analyseverktøyet i Excel og resultatene er som følger.



Figur 41, Nåverdi av aggregerte observasjoner Prosjekt 3

År	Nåverdi					Sum avbruddskostander [kr]
	Observasjon 1 [kr]	Observasjon 2 [kr]	Observasjon 3 [kr]	Observasjon 4 [kr]	Observasjon 5 [kr]	
2012	kr 507	kr 60	kr 0	kr 0	kr 0	kr 567
2013	kr 3 891	kr 1 004	kr 0	kr 0	kr 0	kr 4 895
2014	kr 9 826	kr 3 995	kr 0	kr 0	kr 0	kr 13 821
2015	kr 16 340	kr 8 798	kr 0	kr 0	kr 0	kr 25 137
2016	kr 21 770	kr 13 853	kr 0	kr 0	kr 0	kr 35 622
2017	kr 25 165	kr 17 270	kr 0	kr 0	kr 0	kr 42 435
2018	kr 26 285	kr 17 926	kr 0	kr 0	kr 0	kr 44 212
2019	kr 25 407	kr 15 958	kr 0	kr 0	kr 0	kr 41 364
2020	kr 23 082	kr 12 430	kr 0	kr 0	kr 0	kr 35 512
2021	kr 19 925	kr 8 603	kr 0	kr 0	kr 0	kr 28 528
2022	kr 16 475	kr 5 356	kr 0	kr 0	kr 0	kr 21 831
2023	kr 13 129	kr 3 031	kr 0	kr 0	kr 0	kr 16 160
2024	kr 10 132	kr 1 573	kr 0	kr 0	kr 0	kr 11 705
2025	kr 7 601	kr 755	kr 0	kr 0	kr 0	kr 8 356
2026	kr 5 562	kr 337	kr 0	kr 0	kr 0	kr 5 899
2027	kr 3 981	kr 141	kr 0	kr 0	kr 0	kr 4 122
2028	kr 2 792	kr 56	kr 0	kr 0	kr 0	kr 2 848
2029	kr 1 923	kr 21	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1 944
2030	kr 1 303	kr 7	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1 310
2031	kr 870	kr 2	kr 0	kr 0	kr 0	kr 872
2032	kr 573	kr 1	kr 0	kr 0	kr 0	kr 573
2033	kr 372	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 373
2034	kr 239	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 239
2035	kr 152	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 152
2036	kr 96	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 96
2037	kr 60	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 60
2038	kr 37	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 37
2039	kr 23	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 23
2040	kr 14	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 14
2041	kr 8	kr 0	kr 0	kr 0	kr 0	kr 8
SUM	kr 237 539	kr 111 176	kr 0	kr 0	kr 0	kr 348 715

Tabell 11, Nåverdi av aggregerte observasjoner Prosjekt 3

De største forventede kostnadene kommer i 2018 hvor begge observasjonene har sin høyeste verdi. Det er lite som skiller de to observasjonene med tanke på forventet levetid og 10%-kvantil. Kun ett år på 10%-kvantilen. Det som gjør at observasjon 2, skade på mast (hugg/slag > 4cm), har en spissere graf er at den har 7 observasjoner som er med på å gjøre sannsynligheten større innenfor en periode.

Reinvesteringskostnadene på 5,2 millioner er også mye større enn den forventede kostnadene knyttet til avbrudd. Dette vil gjøre at det med stor sannsynlighet vil lønne seg å utsette en reinvestering så lenge som mulig. Samtidig er det viktig å komme på at to plattformanlegg til 200 000kr hver må reinvesteres innen kort tid uansett. Når det først må reinvesteres er det vanlig å ta alle andre observasjoner i rundt på samme tid. Ikke minst i dette tilfelle hvor det er vanskelig tilgang og grigrendt.

Linjen har også falt ned to vintre på rad og den er fra 1967. En så gammel linje med regelmessige utfall vil det bare være dumt å lappe på. Det er mulig å reinvestere for de observasjonene som er oppdaget, men det vil mest sannsynlig være flere svake punkt langs linjen siden siste toppbefaring var i 2009. Uansett bør linjen reinvesteres for 2018 når de forventede kostnadene er på topp. Det vil si at den blir vurdert tatt innenfor kort tid uansett. Det er uaktuelt å vente i flere år med å reinvestere.

Alternativ 1

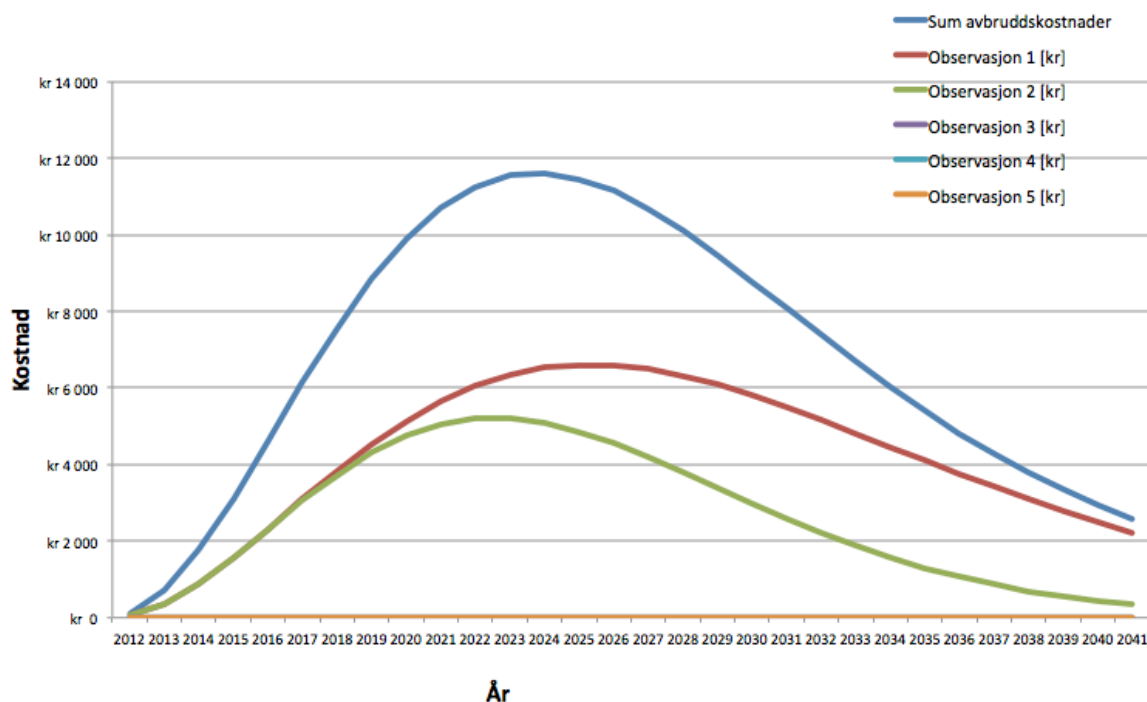
Reinvestere hele linjen i 2012 for å unngå flere utfall når vinteren kommer.

Alternativ 2

Reinvestere to plattformanlegg og 3 traverser med råde i 2012, for så å reinvestere resten av linjen i 2015.

Mast og travers har en forventet levetid på 40 år, og 10%-kvanteren settes til 15 år.

7.3.1 Alternativ 1



År
Figur 42, Prosjekt 3, alternativ 1

År	Nåverdi					Sum avbruddskostnader [kr]
	Observasjon 1 [kr]	Observasjon 2 [kr]	Observasjon 3 [kr]	Observasjon 4 [kr]	Observasjon 5 [kr]	
2012	kr 52	kr 53	kr 0	kr 0	kr 0	kr 104
2013	kr 345	kr 352	kr 0	kr 0	kr 0	kr 697
2014	kr 871	kr 886	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1 757
2015	kr 1 547	kr 1 566	kr 0	kr 0	kr 0	kr 3 113
2016	kr 2 304	kr 2 311	kr 0	kr 0	kr 0	kr 4 615
2017	kr 3 084	kr 3 053	kr 0	kr 0	kr 0	kr 6 137
2018	kr 3 839	kr 3 731	kr 0	kr 0	kr 0	kr 7 570
2019	kr 4 535	kr 4 307	kr 0	kr 0	kr 0	kr 8 842
2020	kr 5 146	kr 4 751	kr 0	kr 0	kr 0	kr 9 897
2021	kr 5 656	kr 5 047	kr 0	kr 0	kr 0	kr 10 703
2022	kr 6 056	kr 5 194	kr 0	kr 0	kr 0	kr 11 251
2023	kr 6 345	kr 5 202	kr 0	kr 0	kr 0	kr 11 547
2024	kr 6 524	kr 5 083	kr 0	kr 0	kr 0	kr 11 608
2025	kr 6 600	kr 4 861	kr 0	kr 0	kr 0	kr 11 461
2026	kr 6 584	kr 4 558	kr 0	kr 0	kr 0	kr 11 142
2027	kr 6 484	kr 4 197	kr 0	kr 0	kr 0	kr 10 681
2028	kr 6 313	kr 3 801	kr 0	kr 0	kr 0	kr 10 113
2029	kr 6 084	kr 3 389	kr 0	kr 0	kr 0	kr 9 474
2030	kr 5 809	kr 2 980	kr 0	kr 0	kr 0	kr 8 789
2031	kr 5 499	kr 2 584	kr 0	kr 0	kr 0	kr 8 083
2032	kr 5 165	kr 2 213	kr 0	kr 0	kr 0	kr 7 378
2033	kr 4 815	kr 1 873	kr 0	kr 0	kr 0	kr 6 689
2034	kr 4 459	kr 1 568	kr 0	kr 0	kr 0	kr 6 027
2035	kr 4 104	kr 1 298	kr 0	kr 0	kr 0	kr 5 402
2036	kr 3 755	kr 1 064	kr 0	kr 0	kr 0	kr 4 819
2037	kr 3 416	kr 864	kr 0	kr 0	kr 0	kr 4 281
2038	kr 3 092	kr 696	kr 0	kr 0	kr 0	kr 3 788
2039	kr 2 785	kr 555	kr 0	kr 0	kr 0	kr 3 340
2040	kr 2 497	kr 439	kr 0	kr 0	kr 0	kr 2 936
2041	kr 2 229	kr 345	kr 0	kr 0	kr 0	kr 2 574
SUM	kr 125 996	kr 78 821	kr 0	kr 0	kr 0	kr 204 817

Tabell 12, Prosjekt 3, alternativ 1

Den høyeste totale kostnaden her havner i 2024. Siden observasjon 2, skade på mast, har flere observasjoner enn observasjon 1, råte i travers vil den være spissere mens råte i travers er mer slakk.

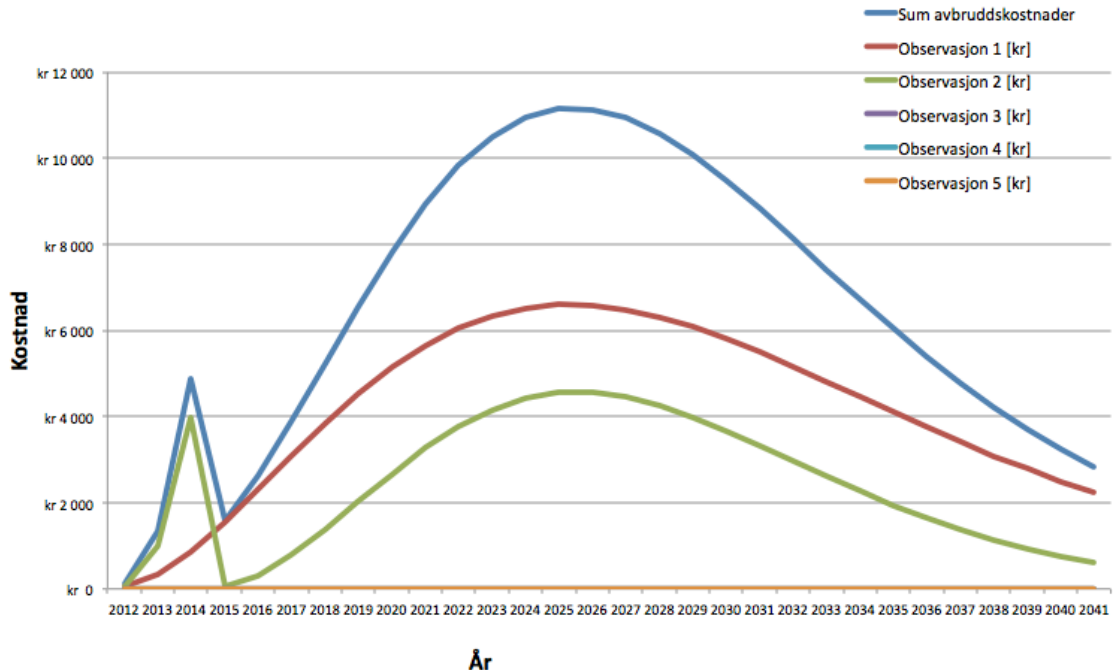
De forventede kostnadene i en 30-årsperiode er på 204 817kr og nåverdien av å investere 5,2 millioner i 2012 er 4 602 985kr.

Totalt vil alternativ 1 koste:

$$K = 204\,817\text{kr} + 4\,602\,985\text{kr} = \underline{\underline{4\,807\,802\text{kr}}}$$

7.3.2 Alternativ 2

Reinvestere to plattformanlegg og 3 traverser med råte i 2012, for så å reinvestere resten av linjen i 2015.



År
Figur 43, Prosjekt 3, alternativ 2

År	Nåverdi					Sum avbruddskostander [kr]
	Observasjon 1 [kr]	Observasjon 2 [kr]	Observasjon 3 [kr]	Observasjon 4 [kr]	Observasjon 5 [kr]	
2012	kr 52	kr 60	kr 0	kr 0	kr 0	kr 111
2013	kr 345	kr 1 004	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1 349
2014	kr 871	kr 3 995	kr 0	kr 0	kr 0	kr 4 866
2015	kr 1 547	kr 46	kr 0	kr 0	kr 0	kr 1 593
2016	kr 2 304	kr 308	kr 0	kr 0	kr 0	kr 2 613
2017	kr 3 084	kr 777	kr 0	kr 0	kr 0	kr 3 861
2018	kr 3 839	kr 1 372	kr 0	kr 0	kr 0	kr 5 211
2019	kr 4 535	kr 2 025	kr 0	kr 0	kr 0	kr 6 560
2020	kr 5 146	kr 2 675	kr 0	kr 0	kr 0	kr 7 821
2021	kr 5 656	kr 3 270	kr 0	kr 0	kr 0	kr 8 926
2022	kr 6 056	kr 3 774	kr 0	kr 0	kr 0	kr 9 831
2023	kr 6 345	kr 4 163	kr 0	kr 0	kr 0	kr 10 508
2024	kr 6 524	kr 4 423	kr 0	kr 0	kr 0	kr 10 947
2025	kr 6 600	kr 4 552	kr 0	kr 0	kr 0	kr 11 152
2026	kr 6 584	kr 4 558	kr 0	kr 0	kr 0	kr 11 142
2027	kr 6 484	kr 4 455	kr 0	kr 0	kr 0	kr 10 938
2028	kr 6 313	kr 4 260	kr 0	kr 0	kr 0	kr 10 572
2029	kr 6 084	kr 3 994	kr 0	kr 0	kr 0	kr 10 078
2030	kr 5 809	kr 3 678	kr 0	kr 0	kr 0	kr 9 487
2031	kr 5 499	kr 3 330	kr 0	kr 0	kr 0	kr 8 829
2032	kr 5 165	kr 2 970	kr 0	kr 0	kr 0	kr 8 135
2033	kr 4 815	kr 2 611	kr 0	kr 0	kr 0	kr 7 426
2034	kr 4 459	kr 2 265	kr 0	kr 0	kr 0	kr 6 724
2035	kr 4 104	kr 1 940	kr 0	kr 0	kr 0	kr 6 044
2036	kr 3 755	kr 1 642	kr 0	kr 0	kr 0	kr 5 396
2037	kr 3 416	kr 1 374	kr 0	kr 0	kr 0	kr 4 790
2038	kr 3 092	kr 1 138	kr 0	kr 0	kr 0	kr 4 230
2039	kr 2 785	kr 933	kr 0	kr 0	kr 0	kr 3 718
2040	kr 2 497	kr 757	kr 0	kr 0	kr 0	kr 3 255
2041	kr 2 229	kr 609	kr 0	kr 0	kr 0	kr 2 839
SUM	kr 125 996	kr 72 956	kr 0	kr 0	kr 0	kr 198 952

Tabell 13, Prosjekt 3, alternativ 2

Avbruddskostnadene vil bare være rundt 5 000kr mindre enn i alternativ 1. Siden sannsynligheten for utfall ved skade på mast er bare 10% om den knekker, blir også de forventede kostnadene mindre selv om det er 7 observasjoner som er rapportert. I forhold til råte i travers som har en sannsynlighet for utfall på 90% vil den styre mye av kostnadene siden den utløser ikke-varslet avbruddskostnad som er høyere enn varslet avbruddskostnad.

Nåverdien vil bli:

Investering		
År	[kr]	Nåverdiberegnet [kr]
2012	kr 430 000	kr 380 631
2018	kr 4 770 000	kr 2 885 346
2020	kr 0	kr 0
2021	kr 0	kr 0
2022	kr 0	kr 0
Sum investering		kr 3 265 978

Figur 44, Nåverdi av investeringer Prosjekt 3

Her er de reinvestert i to plattformanlegg og tre traverser i 2012, og resten av reinvesteringen av linjen skjer i 2018. Kostnadene blir med dette:

$$K = 198\,952\text{kr} + 3\,265\,978\text{kr} = \underline{\underline{3\,464\,930\text{kr}}}$$

Differansen mellom alternativ 1 og 2 blir:

$$\text{Alternativ 1} - \text{Alternativ 2} = 4\,807\,802\text{kr} - 3\,464\,930\text{kr} = \underline{\underline{1\,342\,872\text{kr}}}$$

Alternativ 2 er det alternativet med lavest kostnader her. Da er det snakk om å ta de mest kritiske observasjonene og de andre pluss reinvestering på hele linjen i 2018. Å vente lenger enn 2018 kan føre til flere og flere utfall siden linjen er så gammel.

Ofte er det et dårlig tegn når det finnes flere observasjoner av samme type. Det vil si at det mest sannsynlig er flere dårlige komponenter langs linjen. Og siden denne linjen har falt ned to vintre på rad og siste befaring var i 2009 så kan flere komponenter være i dårlig stand.

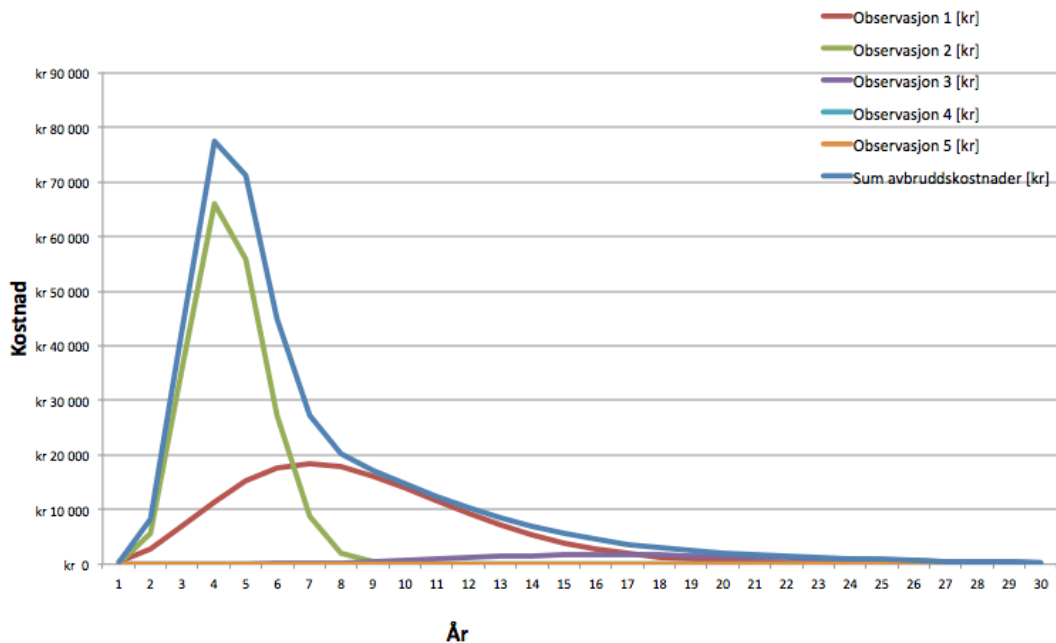
Det blir en skjønnsmessig vurdering om dette prosjektet skal reinvesteres i 2012 eller om man skal ta de mest kritiske observasjonene med en gang og ta resten så langt frem i tid som i 2018. Ofte vil et slikt prosjekt passe inn i et reinvesteringsbudsjett de kommende årene og da må det sees i sammenheng med andre prosjekter og prioriteres derfra. I dette kapitlet er det mest sett på hvordan metoden for aggregering av observasjonene som ligger i NTE sin database kan brukes til.

7.4 Følsomhetsanalyse av Prosjekt 1

I dette kapitlet skal det gjøres en følsomhetsanalyse av Prosjekt 1 som det ble gjort alternativer for i kapittel 9.1.

Her vil det bli endret på parametere for å se hvor mye de har å si for resultatet.

Etter å satt inn for de data som er i Prosjekt i med observasjoner og kostnader ender det ut i en kurve og tabell som ser slik ut.



År
Figur 45, Prosjekt 1, følsomhetsanalyse

År	Nåverdi					Sum avbruddskostnader [kr]
	Observasjone 1 [kr]	Observasjone 2 [kr]	Observasjone 3 [kr]	Observasjone 4 [kr]	Observasjone 5 [kr]	
2012	kr 355	kr 60	kr 0	kr 0	kr 0	kr 415
2013	kr 2 721	kr 5 522	kr 0	kr 0	kr 0	kr 8 243
2014	kr 6 872	kr 35 642	kr 1	kr 0	kr 0	kr 42 514
2015	kr 11 427	kr 66 037	kr 6	kr 0	kr 0	kr 77 470
2016	kr 15 225	kr 55 865	kr 24	kr 0	kr 0	kr 71 113
2017	kr 17 599	kr 27 194	kr 68	kr 0	kr 0	kr 44 861
2018	kr 18 383	kr 8 789	kr 152	kr 0	kr 0	kr 27 324
2019	kr 17 768	kr 2 077	kr 285	kr 0	kr 0	kr 20 130
2020	kr 16 142	kr 384	kr 466	kr 0	kr 0	kr 16 992
2021	kr 13 935	kr 58	kr 683	kr 0	kr 0	kr 14 676
2022	kr 11 522	kr 8	kr 918	kr 0	kr 0	kr 12 447
2023	kr 9 182	kr 1	kr 1 150	kr 0	kr 0	kr 10 332
2024	kr 7 086	kr 0	kr 1 358	kr 0	kr 0	kr 8 444
2025	kr 5 316	kr 0	kr 1 526	kr 0	kr 0	kr 6 842
2026	kr 3 890	kr 0	kr 1 643	kr 0	kr 0	kr 5 533
2027	kr 2 784	kr 0	kr 1 704	kr 0	kr 0	kr 4 487
2028	kr 1 953	kr 0	kr 1 710	kr 0	kr 0	kr 3 663
2029	kr 1 345	kr 0	kr 1 669	kr 0	kr 0	kr 3 014
2030	kr 911	kr 0	kr 1 587	kr 0	kr 0	kr 2 498
2031	kr 608	kr 0	kr 1 475	kr 0	kr 0	kr 2 083
2032	kr 401	kr 0	kr 1 343	kr 0	kr 0	kr 1 743
2033	kr 260	kr 0	kr 1 200	kr 0	kr 0	kr 1 460
2034	kr 167	kr 0	kr 1 054	kr 0	kr 0	kr 1 222
2035	kr 106	kr 0	kr 912	kr 0	kr 0	kr 1 019
2036	kr 67	kr 0	kr 778	kr 0	kr 0	kr 845
2037	kr 42	kr 0	kr 655	kr 0	kr 0	kr 697
2038	kr 26	kr 0	kr 545	kr 0	kr 0	kr 571
2039	kr 16	kr 0	kr 448	kr 0	kr 0	kr 464
2040	kr 10	kr 0	kr 365	kr 0	kr 0	kr 375
2041	kr 6	kr 0	kr 294	kr 0	kr 0	kr 300
SUM	kr 166 123	kr 201 636	kr 24 017	kr 0	kr 0	kr 391 777

Tabell 14, Prosjekt 1, følsomhetsanalyse

Den totale forventede kostnaden her er 391 777kr.

Det er Observasjon 2 som det er to observasjoner av som i dette tilfelle er den som står for de største kostnadene. Om denne endres til én observasjon i stede for to vil kostnadene se slik ut:

Nåverdi						
År	Observasjon 1 [kr]	Observasjon 2 [kr]	Observasjon 3 [kr]	Observasjon 4 [kr]	Observasjon 5 [kr]	Sum avbruddskostander [kr]
2012	kr 355	kr 30	kr 0	kr 0	kr 0	kr 385
2013	kr 2 721	kr 2 778	kr 0	kr 0	kr 0	kr 5 500
2014	kr 6 872	kr 18 882	kr 1	kr 0	kr 0	kr 25 755
2015	kr 11 427	kr 41 272	kr 6	kr 0	kr 0	kr 52 705
2016	kr 15 225	kr 48 357	kr 24	kr 0	kr 0	kr 63 606
2017	kr 17 599	kr 38 471	kr 68	kr 0	kr 0	kr 56 138
2018	kr 18 383	kr 23 557	kr 152	kr 0	kr 0	kr 42 092
2019	kr 17 768	kr 11 950	kr 285	kr 0	kr 0	kr 30 004
2020	kr 16 142	kr 5 263	kr 466	kr 0	kr 0	kr 21 870
2021	kr 13 935	kr 2 076	kr 683	kr 0	kr 0	kr 16 693
2022	kr 11 522	kr 750	kr 918	kr 0	kr 0	kr 13 189
2023	kr 9 182	kr 252	kr 1 150	kr 0	kr 0	kr 10 583
2024	kr 7 086	kr 80	kr 1 358	kr 0	kr 0	kr 8 523
2025	kr 5 316	kr 24	kr 1 526	kr 0	kr 0	kr 6 866
2026	kr 3 890	kr 7	kr 1 643	kr 0	kr 0	kr 5 539
2027	kr 2 784	kr 2	kr 1 704	kr 0	kr 0	kr 4 489
2028	kr 1 953	kr 0	kr 1 710	kr 0	kr 0	kr 3 663
2029	kr 1 345	kr 0	kr 1 669	kr 0	kr 0	kr 3 014
2030	kr 911	kr 0	kr 1 587	kr 0	kr 0	kr 2 498
2031	kr 608	kr 0	kr 1 475	kr 0	kr 0	kr 2 083
2032	kr 401	kr 0	kr 1 343	kr 0	kr 0	kr 1 743
2033	kr 260	kr 0	kr 1 200	kr 0	kr 0	kr 1 460
2034	kr 167	kr 0	kr 1 054	kr 0	kr 0	kr 1 222
2035	kr 106	kr 0	kr 912	kr 0	kr 0	kr 1 019
2036	kr 67	kr 0	kr 778	kr 0	kr 0	kr 845
2037	kr 42	kr 0	kr 655	kr 0	kr 0	kr 697
2038	kr 26	kr 0	kr 545	kr 0	kr 0	kr 571
2039	kr 16	kr 0	kr 448	kr 0	kr 0	kr 464
2040	kr 10	kr 0	kr 365	kr 0	kr 0	kr 375
2041	kr 6	kr 0	kr 294	kr 0	kr 0	kr 300
SUM	kr 166 123	kr 193 752	kr 24 017	kr 0	kr 0	kr 383 892

Tabell 15, 1 observasjon av type 2 i stede for 2 observasjoner

De totale kostnadene vil ikke endre seg betraktelig, men fordelingen av kostnadene for Observasjon 2 vil bli større og ikke så stor i 2015. I stede viser tabellen at den høyeste kostnaden med bare en observasjon er i år 2016. Det viser at flere observasjoner vil gjøre at kostnadene blir flyttet frem i tid. Samtidig vil nåverdien av kostnadene bli større i 2015 enn i 2016. Forskjellen i løpet av en 30 års analyseperiode vil ikke være store mellom en og to observasjoner, men helhetsinntrykket for hvor kritisk det er å gjøre noe med prosjektet blir forskjøvet.

Ikke-varslede avbruddskostnader er 249 137kr i dette prosjektet. Dette er ganske høyt i forhold til de varslede avbruddskostnadene som bare er 13 145kr. Nå skal det ses på hva som skjer om det er mulig å halvere de ikke-varslede avbruddskostnadene til 125 000kr, men fortsatt 2 observasjoner av Observasjon 2.

År	Nåverdi					Sum avbruddskostander [kr]
	Observasjone 1 [kr]	Observasjone 2 [kr]	Observasjone 3 [kr]	Observasjone 4 [kr]	Observasjone 5 [kr]	
2012	kr 186	kr 32	kr 0	kr 0	kr 0	kr 218
2013	kr 1 431	kr 2 903	kr 0	kr 0	kr 0	kr 4 333
2014	kr 3 612	kr 18 736	kr 1	kr 0	kr 0	kr 22 349
2015	kr 6 007	kr 34 714	kr 4	kr 0	kr 0	kr 40 725
2016	kr 8 003	kr 29 366	kr 18	kr 0	kr 0	kr 37 388
2017	kr 9 251	kr 14 295	kr 53	kr 0	kr 0	kr 23 599
2018	kr 9 663	kr 4 620	kr 119	kr 0	kr 0	kr 14 402
2019	kr 9 340	kr 1 092	kr 223	kr 0	kr 0	kr 10 655
2020	kr 8 485	kr 202	kr 364	kr 0	kr 0	kr 9 051
2021	kr 7 325	kr 31	kr 533	kr 0	kr 0	kr 7 889
2022	kr 6 057	kr 4	kr 717	kr 0	kr 0	kr 6 778
2023	kr 4 827	kr 0	kr 898	kr 0	kr 0	kr 5 725
2024	kr 3 725	kr 0	kr 1 061	kr 0	kr 0	kr 4 786
2025	kr 2 794	kr 0	kr 1 192	kr 0	kr 0	kr 3 987
2026	kr 2 045	kr 0	kr 1 283	kr 0	kr 0	kr 3 328
2027	kr 1 463	kr 0	kr 1 331	kr 0	kr 0	kr 2 794
2028	kr 1 026	kr 0	kr 1 336	kr 0	kr 0	kr 2 363
2029	kr 707	kr 0	kr 1 304	kr 0	kr 0	kr 2 011
2030	kr 479	kr 0	kr 1 240	kr 0	kr 0	kr 1 719
2031	kr 320	kr 0	kr 1 152	kr 0	kr 0	kr 1 472
2032	kr 211	kr 0	kr 1 049	kr 0	kr 0	kr 1 259
2033	kr 137	kr 0	kr 937	kr 0	kr 0	kr 1 074
2034	kr 88	kr 0	kr 824	kr 0	kr 0	kr 912
2035	kr 56	kr 0	kr 713	kr 0	kr 0	kr 769
2036	kr 35	kr 0	kr 608	kr 0	kr 0	kr 643
2037	kr 22	kr 0	kr 512	kr 0	kr 0	kr 534
2038	kr 14	kr 0	kr 426	kr 0	kr 0	kr 439
2039	kr 8	kr 0	kr 350	kr 0	kr 0	kr 359
2040	kr 5	kr 0	kr 285	kr 0	kr 0	kr 290
2041	kr 3	kr 0	kr 230	kr 0	kr 0	kr 233
SUM	kr 87 325	kr 105 994	kr 18 763	kr 0	kr 0	kr 212 082

Tabell 16, Halvert ikke-varslede avbruddskostnader

Med ikke-varslet avbruddskostnad vil summen av kostnadene nesten bli halvert. Dette kommer av at Observasjon 1 og Observasjon 2 har 90% sannsynlighet for utfall om svikt inntreffer og dermed ikke-varslet avbrudd. Observasjon 3 har kun 10% sannsynlighet for utfall og vil ikke ha store forskjeller om ikke-varslet avbruddskostnad blir halvert.

Dette eksempelet viser at det er flere viktige faktorer. Den ene er hvor viktig det er å så nøyaktige tall for sannsynligheten for utfall, som vist i hendelsestreet i starten på rapporten. Siden ikke-varslede avbruddskostnader ofte er høye i forhold til varslede avbruddskostnader vil det for de observasjonene med høy sannsynlighet for utfall bli høye forventede kostnader.

En annen faktor er å gjøre avbruddskostnadene mindre. Det kan for eksempel gjøres ved å minke utrykningstiden eller ha et ringnett der man kan forsyne via andre radialer.

Reparasjonskostnadene er det lite å gjøre noe med og vil heller ikke utgjøre store kostnader om ikke det er snakk om et veldig lite prosjekt der avbruddskostnadene er små.

I tillegg viser de prosjektene som er gjennomgått her at investeringen er viktig. Når investeringen er stor i forhold til de andre kostnadene vil det ofte lønne seg å utsette investeringen på grunn av nåverdien den vil få etter mange år. Avbruddskostnadene blir fort veldig små i forhold til en stor investering. Da er det viktig å se helheten i prosjektet og vurdere ut i fra når uønskede hendelser kan skje.

8. Diskusjon

Det er i denne rapporten sett på hvordan observasjoner som allerede finnes i NetBas kan brukes til å si noe om planlagte prosjekter.

Observasjonene er tatt ut av NetBas og sammen med vedlikeholdsavdelingen er det basert forventet levetid på komponenter i et mastepunkt. Forventet levetid og 10%-kvantiler baserer seg på erfaring fra hvor lenge komponenter i en viss tilstand holder før en svikt inntreffer. Ut i fra dette er det generert kurver for sviktsannsynlighet. Disse kurvene er modellert slik at de gir et bilde som er så virkelighetsnært som man kan komme. Man kan aldri si at slike kurver reflekterer den hele og fulle virkeligheten, men det er viktig å komme så nært virkeligheten man kan.

Fra NetBas hentes det ut. Disse har ingen spesifikk tilstandsverdi og er veldig generelle. Oppsettet for en observasjon kan se slik ut:

Kontrollpunkt	Komponenttype	Status	Tilstandsverdi	Byggeår	Radial
Mast - tre - skade på mast (hugg/slag > 4 cm)	MS	Vurdert	2. Ikke OK	1900	TUNNSJØ-22TR1

Den eneste tilstandsverdien er om komponenten er ok eller ikke ok. Til og med byggeåret her er 1900, noe som går igjen med flere komponenter siden det er usikkerhet rundt byggeåret. Når alt av relevante opplysninger man får ut fra observasjoner er hvilken type det er og om det er ok eller ikke ok, vil det være lite informasjon å basere videre utregning på. Det er i denne rapporten gjort en tilnærming til forventet levetid og 10%-kantil som igjen er brukt videre for å se hvordan disse fungerer med en metode for å aggregere observasjoner.

Det viser seg at en del observasjoner er relativt like, og optimalt sett burde det vært flere parametere ved hver observasjon. For å ta et eksempel er det verdt å nevne råteangrep i mast. Observasjonen er likedan for om masten har mye eller lite råte og dette kan ha en forskjell i forventet levetid på 10 år. En såpass stor forskjell i observasjonen kan gi store utslag i når selve prosjektet skal vurderes. Om det er mer nøyaktighet i observasjonene vil det gi et bedre bilde av prosjektet som vurderes i sin helhet.

Siden alle beregninger starter med inndata fra observasjoner, vil det gi store utslag for når man tenker å gjøre en reinvestering. En mer grundigere undersøkelser av hva man vil ha inn av inndata vil derfor lønne seg, og det anbefales å dele opp noen observasjoner i flere grupper for å være mer nøyaktig.

Et viktig punkt er de observasjonene som ikke har en degradering og som derfor ikke kan generere en levetidskurve. Disse observasjonene påvirker også nettet og helheten til et prosjekt. Sjansen for utfall kan bli større og det er derfor en ide

om å sette faktorer på observasjoner som ikke har degradering. Denne faktoren vil fungere på samme måte som kurven for sviktsannsynlighet fordeler kostnadene til komponenter med degradering. En slik faktor vil være til stor hjelp med å beregne de totale kostnadene om hele nettet skal reinvesteres i forhold til om det kun blir sett på komponenter med degradering.

Levetidskurvene fra topunktsanalysen kan endre seg etter som man får mer erfaring med hvordan de brukes og fungerer. En metode som aggregerer sammen observasjoner og som bygger på observasjoner som er rapportert inn kan være til stor hjelp ved å prioritere prosjekter som skal reinvesteres.

Hver observasjon som er tatt med i denne rapporten kan få en svikt som fører til en uønsket hendelse som igjen kan føre til utfall på linjen. Dette er modellert som et hendelsestre der den uønskede hendelsen med sannsynlighet for utfall er med.

Forventet levetid sammen med 10%-kvantilen brukes til å modellere en fordeling for sviktsannsynligheten for at en uønsket hendelse kan inntreffe. Sannsynligheten for utfall vil bli brukt for å få en kostnadskonsekvens.

Kostnadskonsekvensen baserer seg på kostnaden for et varslet og ikke-varslet avbrudd, sannsynligheten for utfall og reparasjonskostnaden det vil koste å reparere svikten slik at komponenten kan utføre sin opprinnelige oppgave.

Formelen for kostnadskonsekvensen er:

$$K = (\text{Ikke-varslet avbrudd} * \text{sann. for utfall}) + (\text{varslet avbrudd} * \text{sann. for ikke utfall}) + \text{reparasjonskostnader}$$

Denne kostnaden vi være det samme hvert år, der kurven for sannsynligheten for svikt vil fordele kostnadene ut over en analyseperiode.

Det tas hensyn til kostnader for om et avbrudd er varslet eller ikke. Hvis en uønsket hendelse fører til utfall vil det bli behandlet som et ikke-varslet avbrudd, mens om en uønsket hendelse ikke fører til avbrudd er det regnet med at svikten vil bli oppdaget og det kan planlegges reparasjon av komponenten og det regnes med et varslet avbrudd.

Kostnadene for varslet og ikke-varslet avbrudd kan hentes ut fra NetBas. De er beregnet ett hvor langt tid det tar å rykke ut og hvor tiden det tar å reparere linjen. I denne rapporten er brukt samme avbruddskostnad for alle typer komponenter siden det er disse dataene som er tilgjengelig. Det beste hadde vært om beregningene for avbruddskostnad hadde vært mer nøyaktig siden det ofte tar lengre tid å reparere en løsnet fotbolt enn knekt mast. Ofte er det en del utstyr som må fraktes og i verste fall kan dette skje midt på natten under en snø storm. Slike parametere er ikke med og er derfor heller ikke tatt hensyn til. Siden det er en del faktorer som påvirker avbruddskostnadene er dette noe det

kan jobbes opp i mot for så å knytte det opp mot spesifikke svikttyper i komponenter. På den måten vil man få et mer nøyaktig estimat av hva en uønsket hendelse kan føre til når det gjelder avbruddskostnader.

For å aggregere flere typer observasjoner av samme type er det brukt en formel som regner ut sannsynligheten for ikke å få svikt. Denne multipliseres med antall observasjoner som finnes og subtraheres med 1 for å komme tilbake til kumulativ sannsynlighet. Formelen ser slik ut:

$$\text{Aggregert } F(x) = 1 - ((1 - F(x)) ^ \text{antall observasjoner})$$

Siden det kun regnes med samme type observasjoner med samme type sviktkurve er det mulig å opphøye sannsynligheten for å ikke få svikt med antall observasjoner. Det er i denne rapporten kun regnet på samme type observasjoner og denne formelen blir derfor brukt for en type observasjon, før de blir slått sammen etter at kostnadskonsekvensen har blitt tatt med.

Om det er et ønske om å slå sammen flere forskjellige observasjoner kan det ikke lenger opphøyes i antall observasjoner, men det må legges inn hver enkelt kumulative sannsynlighet som her:

$$\text{Aggregert } F(x) = 1 - ((1 - F(x_1)) * (1 - F(x_2)) * (1 - F(x_3)) * \dots))$$

Der x_1 , x_2 og x_3 er forskjellige typer observasjoner. Problemet man da støter på er at de forskjellige observasjonene har forskjellige sannsynligheter for utfall og forskjellige reparasjonskostnader. Men om man kun er ute etter å se når sannsynligheten for utfall er størst og kun vil ha en aggregert sviktsannsynlighetskurve, er det fullt mulig å modellere det.

Men akkurat dette vil ikke hjelpe stort siden kostnadene uteblir. En nettleverandør jobber hele tiden med å kutte kostnadene, og ved å utelate disse blir en del av poenget med beregning av kostnader borte.

Når kostnadene er beregnet og fordelt, nåverdiberegnes de i en analyseperiode på 30 år der reinvesteringen har en forventet levetid på 40 år. Optimalt sett burde det vært bedre data på levetiden til komponenter. Levetiden til komponenter kan variere utrolig mye fra hvor de står geografisk til belastningen de er under. Siden dette varierer så mye er det kun tatt utgangspunkt i en forventet levetid på 40 år.

Nåverdiberegningen gjør at de observasjonene som er kritiske og har høye forventede kostnader tidlig i analyseperioden vil være høye, mens de

observasjonene som når sin største forventede kostnad langt frem i tid vil bli betraktelig mindre.

Det er i denne rapporten kommet frem til at det er mulig å bruke observasjoner som ligger i NetBas til å få et estimat over de forventede kostnadene. Metoden er ikke en fasit eller en virkelighet som sier at det er slik det faktisk er, men mer en tilnærming til virkeligheten og en bedre måte å behandle informasjon man har for hånden til å hjelpe til med prioriteringer av prosjekter.

9. Konklusjon

Det er rapporten kommet frem til en metode for å modellere observasjoner som finnes i NetBas og gjøre disse om til informasjon som kan brukes. Informasjonen er fra en skriftlig observasjon er gjort om til forventet levetid og 10%-kvantil som igjen generer levetidskurver og sviktsannsynlighet.

Hver observasjon kan også ha en uønsket hendelse som kan føre til utfall. Denne sannsynligheten er funnet og gjort en tilnærming til virkeligheten og brukes i beregningene for forventede kostnader.

En observasjon danner en kurve og en tabell over sviktsannsynligheten for hvert år fremover. Mye av utfordringen lå i legge sammen flere observasjoner av samme type for å aggregere disse sammen på en måte som virker virkelighetsnært. Ved å bruke den kumulative sannsynligheten og regne på sannsynligheten for ikke å få en svikt, virker det som at formelen fungerer og genererer kurver som kan brukes i prosjekter.

For flere observasjoner som er aggregert sammen, blir kurven smalere, sannsynligheten for svikt høyere og kurven flyttes tidligere i tid. Dette gir mening siden flere observasjoner vil ha større sannsynlighet for at en svikter enn om det kun er én observasjon som blir sett på.

Denne aggregerte sannsynlighetsmodellen brukes for å fordele de årlige forventede kostnadene i et prosjekt. Det er beregnet årlige kostnader for hver observasjon. Kostnaden er beregnet ut i fra formelen:

$$K = (\text{Ikke-varslet avbrudd} * \text{sann. for utfall}) + (\text{varslet avbrudd} * \text{sann. for ikke utfall}) + \text{reparasjonskostnader}$$

I denne formelen blir det tatt hensyn til sannsynlighet for utfall og reparasjonskostnader for den enkelte observasjon. Kostnaden er den samme hvert år og fordeles av den aggregerte sannsynligheten for svikt. Det regnes da på at man regner med at en svikt vil inntreffe innenfor den perioden man har med.

Forskjellige typer observasjoner kan også aggregeres sammen, men det er kun får å se hvilket år sannsynligheten for svikt er størst. Siden forskjellige observasjoner har forskjellige avbruddskostnader og reparasjonskostnader, må kostnadene for hver observasjon regnes hver for seg og fordeles i ettertid.

Ut i fra å regne på reelle prosjekter, kan det sies at metoden fungerer. Men denne er kun en pekepinn på hvordan et prosjekt kan prioriteres. Den menneskelige faktoren vil aldri forsvinne siden det å kunne se helheten i et prosjekt er det viktigste. I tillegg er ikke kostnader det eneste det må prioriteres etter, siden det kan være ting relatert til HMS eller radialer med små avbruddskostnader som er minst like viktige som de totale kostnadene. Om det kun tas utgangspunkt i kostnader, vil griségrende strøk bli nedprioritert. Derfor er metoden som er gjennomgått i denne rapporten kun et hjelpemiddel i å se hvor kritiske prosjekter og hvordan man kan bruke eksisterende data til å si noe om kostnader i et prosjekt.

I tillegg er det gjort en følsomhetsanalyse der det ble gjort små endringer med Prosjekt 1. Dette viste at sannsynligheten for utfall har mye å si. Det er derfor viktig å ha så grundige tall på denne sannsynlighet som man får til. Sannsynligheten for utfall blir multiplisert med ikke-varslet avbruddskostnad, mens sannsynligheten for ikke utfall multipliseres med varslet avbruddskostnad. Siden ikke-varslet avbruddskostnad ofte er veldig mye større enn varslet kan dette gi store utslag.

Når det kommer til aggregeringen, viser følsomhetsanalysen at antall observasjoner som aggregeres har mest å si for kritiske observasjoner. For observasjoner som ikke er kritiske vil det ikke ha så mye å si hvor mange observasjoner som er lagt inn i modellen.

Om det er en kritisk observasjon sammen med flere ikke-kritiske observasjoner, vil den kritiske overstyre de andre. Dette er logisk siden første svikt ofte vil generere et reinvesteringsbehov.

10. Videre arbeid

Det vil være viktig å se hvordan denne metoden fungerer over tid. Samtidig vil mer undersøkelse av inndata som sannsynlighet for utfall og forventet levetid lønne seg.

Dette er nøkkeltall som styrer mye av modellen og hvordan den fungerer. Selve analysen og aggregeringen ser ut til å fungere slik som man kan se for seg i virkeligheten, så fokuset videre bør ligge på å forsterke sannsynlighetsdata fra observasjoner.

I tillegg er det i denne rapporten ikke sett på observasjoner som ikke har degradering. Disse bør det ses på, og det bør legges inn en faktor for hver av disse observasjonene som fungerer på samme måte som sannsynlighetskurven for svikt. Det vil si at komponenter som er observert med avvik, vil ha en konstant faktor som kostnadene regnes ut i fra. Bare i mastepunkt, som er gjennomgått i denne rapporten, er det flere slike observasjoner som trenger en faktor ved seg.

Det er ikke bare mastepunkt som kan beregnes med metoden i denne rapporten. Det kan også samles inn data fra nettstasjoner og kabler. Slike data bør undersøkes om det er mulig å få tak i og om de kvalitative data er gode nok.

Det anbefales først og fremst å ta i bruk metoden og se hvilke utslag den får når mange prosjekter er tatt med. I tillegg vil man over tid, ofte flere år, se hvilke utslag en ny metode kan få.

I løpet av perioden er det viktig å justere inndata som forventet levetid, 10%-kvantil og sannsynlighet for utfall. Alle typer kontrollpunkt som kan observeres bør ha inndata som forventet levetid, 10%kvantil og sannsynlighet for utfall. Om slike data ikke kan hentes ut på grunn av at det ikke er degradering inn i bildet, anbefales det å sette en konstant faktor på observasjonen.

11. Referanser

- [1] Arnt Ove Eggen, Sintef Energiforskning AS, *Vedlikeholdsrelaterte begreper*, 2007
- [2] Excel-fil fra Sintef, Estimering sviktsannsynlighet 1.3.3a
- [3] Excel-fil fra NTE med nåverdiberegning av kostnader.