

Teknisk-økonomisk analyse av reinvesteringsbehov i vannkraftverk

Lasse Brekke

Master of Science in Electric Power Engineering
Innlevert: juni 2015
Hovedveileder: Eivind Solvang, ELKRAFT

Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet
Institutt for elkraftteknikk

Oppgavebeskrivelse

Oppgaven vil inngå i et forskningsprosjekt som SINTEF Energi gjennomfører i samarbeid med flere kraftselskaper i Norge og Sverige. Følgende deloppgaver inngår i masteroppgaven:

- Gjennomføre litteraturstudium basert på egne litteratursøk og gjennomgang av rapporter som beskriver aktuelle analysemodeller/-verktøy og utførte analyser av konkret case, f.eks. reinvestering av stator, rotor, løpehjul, turbinregulator, transformator, generatorbryter.
- Innhente datagrunnlag hos kraftselskap for valgt case som skal analyseres, som kan omfatter anleggsdokumentasjon, tilstandsrapporter, vedlikeholds- og reinvesteringskostnader, produksjonsdata, m.m.
- Etablere beskrivelse av løsningsalternativer som skal analyseres, basert på forslag fra anleggseieren (kraftselskapet).
- Etablere sviktmodeller for dominerende skadetyper og feil, inkludert levetidskurver/restlevetider og konsekvenser av feil (slutthendelser) i form av tapt produksjon (utilgjengelighet) og utbedringskostnader.
- Beregne sannsynlighet for svikt, kostnader, inntekter og lønnsomhet for hvert av løsningsalternativene innenfor valgt analyseperiode.
- Undersøke betydningen av usikkerhet i viktige forutsetninger ved hjelp av følsomhetsanalyse.

Forord

Norges kraftproduksjon forsynes hovedsakelig av vannkraftproduksjon. Kunnskap om vedlikehold, rehabilitering og reinvesteringer i vannkraftverk har blitt opparbeidet igjennom generasjoner og kunnskapsnivået er høyt. Allikevel er mye av kunnskapen spredt mellom kraftselskaper, forskning- og utdanningsinstitutter. Et bedre samarbeid mellom institusjonene er verdifullt for å videreutvikle kunnskapsnivået og utnytte det fulle potensialet.

Denne teknisk-økonomiske analysen er et sånt samarbeid igangsatt av SINTEF i samarbeid med TrønderEnergi og NTNU innenfor vedlikeholds- og reinvesteringsbeslutninger. Rapporten betrakter tekniske- og økonomiske aspekter ved rehabilitering av Litjossen kraftverk i Tynset kommune.

Denne rapporten er et sluttresultat av en masteroppgave skrevet av Lasse Brekke ved Norges tekniske-naturvitenskapelige universitet våren 2015. Rapporten avslutter det 2-årige internasjonale masterprogrammet *Electric Power Engineering*, ved fakultetet for informasjonsteknikk, matematikk og elektroteknikk. Veilederen for oppgaven har vært Eivind Solvang.

Jeg ønsker å rette en takk til kontaktpersonene i TrønderEnergi, ved Gorm Aukrust og Kjetil Stene. Disse har bidratt med datagrunnlag til casen og videre stått til disposisjon for diskusjoner og informasjon. Vil også nevne befaringen av Litjossen kraftverk med Kjetil Stene som veldig oppklarende og nyttig.

I tillegg ønsker jeg å rette en takk til Eivind Solvang som alltid har vært tilgjengelig for hjelp. Møtene med Eivind har alltid vært konstruktive og oppklarende.

Takk til alle!

Trondheim 10. juni 2015

.....
Lasse Brekke

Sammendrag

Det investeres årlig store summer i vedlikehold, rehabilitering og reinvestering for å opprettholde driften av Norges mange vannkraftverk. Med tid og bruk eldes komponentene og sannsynligheten for en svikt øker. En svikthendelse kan medføre store konsekvenser og kostnader for kraftverkseier. Risikoen bør derfor inkluderes i lønnsomhetsberegningene for å bedre beslutningsgrunnlaget når økonomisk nytteverdi skal analyseres.

Formålet med denne rapporten har vært å utføre en teknisk-økonomisk analyse av rehabiliterings- og reinvesteringstiltak for Litjefossen kraftverk. Økonomisk nytteverdi er beregnet for ulike løsningsalternativer som legges til grunn for et bedre beslutningsgrunnlag av de utbedringstiltakene som skal vurderes og vedtas.

Litjefossen kraftverk er et magasinkraftverk på 75 MW driftet og deleid av kraftselskapet TrønderEnergi.

Et litteraturstudie av aktuelle rapporter som omhandler og beskriver aktuelle analysemodeller og –verktøy er benyttet til grunnlag for oppbygning og struktur av analysen. Videre er datagrunnlag fra TrønderEnergi innhentet i form av anleggsdokumentasjon, tilstandsrapporter, produksjonsdata og utbedringskostnader.

Etablering av typiske skadetyper og utbedringstiltak basert på datagrunnlaget fra TrønderEnergi danner den første delen av analysen. De mest relevante skadetyper med dårlig teknisk tilstand er videre benyttet til utregning av sviktsannsynligheter. Sviktsannsynlighetene er beregnet i Excelverktøyet *estimering sviktsannsynlighet* der informasjon om alder, design og teknisk tilstand benyttes sammen med levetidskurver av skadetyper for utregning.

Sviktsannsynlighetene, multiplisert med sviktkostnadene, danner risikoen knyttet til havari på den aktuelle komponent. Med utgangspunkt i sviktsannsynlighet og –kostnad, beregnes økonomisk nytteverdi for løsningsalternativene i Excelverktøyet *vedlikeholdskalkyle*. Excelverktøyet behandler alle relevante inntekter og kostnader og i lønnsomhetsberegningene er virkningsgradsøkning, elsertifikater, investeringskostnader og risiko knyttet til svikt medberegnet. En analyseperiode på 30 år er benyttet for lønnsomhetsberegningene. De aktuelle løsningsalternativene benyttet i analysen er *reinvestering turbin*, *rehabilitering turbin* og *revisjon generator*.

Løsningsalternativet *reinvestering turbin* innebærer innkjøp av nytt løpehjul, nye ledeskovler på ledeapparatet og full rehabilitering av resterende turbinkomponenter. Nytt løpehjul (+0,8 %) og nye ledeskovler med endetetninger (+0,5%) gir en total virkningsgradsøkning på 1,3 %. Diskontering av investeringskostnadene gir større fortjeneste enn ekstraintektene ved økt virkningsgrad. Å utsette tiltaket blir derfor mer lønnsomt. Etter tiltaksår 5 forspilles muligheten til å få støtte gjennom elsertifikatsordningen. Tapet av ekstraintektene gjennom elsertifikatsordningen er utslagsgivende og reduserer lønnsomheten av både løsningsalternativet *reinvestering turbin* og *rehabilitering turbin* betydelig. *Reinvestering turbin* er derfor mest lønnsomt i tiltaksår 5 (2020) med et resultat på – 1836 kkr.

Rehabilitering turbin inkluderer full rehabilitering av turbinkomponenter og nye ledeskovler med endetetninger (+0,5%). Diskontering av investeringskostnader og lavere sviktkostnader gjør tiltaket mer lønnsomt å utsette. I likhet med *reinvestering turbin*, påvirker tapet av elsertifikatssalg også tiltaket *rehabilitering turbin*. Det mest lønnsomme tiltaksåret for *rehabilitering turbin* er derfor år 5 (2020) med et resultat på -2801 kkr.

Tiltaket *generatorrevisjon* inkluderer bytte av vindingsisolasjon og sporkiler på henholdsvis rotorpoler og statorblikk. I tillegg utføres annet nødvendig vedlikehold på generatoren under samme tiltak.

Restlevetiden på skadetyperen *nedbrytning av vindingsisolasjon* er beregnet til 10,0 år. Den dårlige tekniske tilstanden til rotorpolene er hovedgrunnen til at tiltak må utbedres på generator innen kort tid. En balanse mellom diskonterte investeringskostnader og økende sviktkostnader gir den beste lønnsomheten for generatorrevisjon med et resultat på -3323 kkr i tiltaksår 6 (2021).

Litjossen kraftverk og Innerdalsmagasinet har stor kapasitet for lagring av vann. Utbedring av tiltak kan derfor gjennomføres i lengre perioder med utilgjengelighet på kraftverket uten flomtap. Å gjennomføre tiltakene samtidig har derfor ingen økonomisk nytteverdi med hensyn på reduksjon av utilgjengelighetskostnader. Utførelse av løsningsalternativene vil derfor være mest lønnsomme i løsningsalternativenes mest lønnsomme tiltaksår. Den totalt mest lønnsomme utbedringen av turbin og generator vil derfor være med *reinvestering turbin* i år 5 (2020) og *generatorrevisjon* i år 6 (2021).

For å belyse usikkerheten av endringer i grunndataene benyttet i analysen, er det gjennomført en følsomhetsanalyse på investeringskostnader, virkningsgrad, kraftpris og elsertifikater. En endring i investeringskostnadene gir størst påvirkning på lønnsomheten av tiltakene. En 10 % økning av investeringskostnadene for tiltaket *reinvestering turbin* medfører at tiltaket *rehabilitering turbin* (-2801 kkr) blir mer lønnsom å utføre enn *reinvestering turbin* (-2912 kkr). De resterende parameterne har ikke en så stor påvirkning på resultatene som investeringskostnadene, og innenfor en endring av parameterne på $\pm 20\%$ vil ikke de resterende parameterne endre resultatet til fordel *rehabilitering turbin* slik som investeringskostnadene gjør.

Det er utarbeidet en risikovurdering av personsikkerheten for hendelsene *brann i kabler og lysbue i koblingsanlegg*. Målet med å analysere disse hendelsene var for å vurdere om tiltak for utbedring av kontrollanlegget bør fremskyndes på grunn av høy risiko for personsikkerheten i kraftstasjonen. Det er mulig å gjennomføre sannsynlighets- og konsekvensreducerende tiltak for begge hendelsene, men dagens risiko er vurdert til akseptabel og det er ikke nødvendig å fremskynde tiltak for utbedring av kontrollanlegg.

Abstract

Large sums are annually invested in maintenance, rehabilitation and reinvestment to maintain operations of Norway's many hydroelectric plants. With time and use, the components ages and the probability of failure increases. A failure event can cause large consequences and costs for the power plant owner and the risk should therefore be included in the calculations of profitability in order to get a better decision basis when the economic utility value is analyzed.

The purpose of this report has been to perform a technical-economic analysis of rehabilitation and reinvestment measures for Litjfossen hydroelectric plant and economic utility values are calculated for the various alternatives as a foundation for a better decision making in the process of evaluating the alternative measures.

Litjfossen is a conventional hydroelectric plant of 75 MW operated and partially owned by the electric utility TrønderEnergi.

A literature study of relevant reports describing analysis models and analysis tools are used as a foundation for the composition and structure of this report. Furthermore, information and reports on construction documentation, condition reports, production data, and investment cost obtained from TrønderEnergi forms the basis of the analysis presented.

Establishment of typical damage types and remedial action based on data from TrønderEnergi forms the first part of the analysis. The most relevant damage types with poor technical condition are further used for calculation of failure probability. The failure probabilities are calculated in the Excel tool *estimation of failure probability* based on information about age, design and technical condition together with lifetime curves of the different damage types.

Failure probability, multiplied with failure costs, create the risk associated with the breakdown of the relevant component. The economic utility value is calculated for the various alternatives with the Excel tool *NPV-calculation* based on the failure probability and failure costs. The Excel tool deals with all relevant income and costs and in the profitability calculations, the efficiency increase, green certificates, investment costs and risk related to failure are all included. An analysis period of 30 years is used in the profitability calculations. The relevant measures applied in this analysis are *reinvestment turbine*, *rehabilitation turbine* and *generator rehabilitation*.

The measure *reinvestment turbine* includes a new runner, new guide vanes on the guide apparatus and full rehabilitation of the remaining turbine components. New runner (+0.8 %) and new guide vanes with end seals (+0.5 %) gives an extra efficiency increase of 1.3 %. Discounting of investment costs provides larger profit than additional revenues through increased efficiency. Postponing the measure is therefore a more profitable alternative. The opportunity to get support through the green certificate scheme forfeits after the 5th year of measure. The loss of additional revenue through the green certificate scheme is decisive and reduces the profitability of both alternatives *reinvestment turbine* and *rehabilitation turbine* significantly. *Reinvestment turbine* is therefore most profitable in year 5 (2020) with a net profit of -1836 kkr.

Rehabilitation turbine includes full rehabilitation of turbine components and new guide vanes with end seals (+0.5 %). Discounting of investment costs and lower failure costs makes this measure more profitable to postpone. As with *reinvestment turbine*, the loss of electricity certificate sales also affects the measure *rehabilitation turbine*. The most profitable year for *rehabilitation turbine* is therefore year 5 (2020) with a net profit of – 2801 kkr.

The measure *generator rehabilitation* includes a change of isolation on the rotor windings and slot wedges on the rotor and stator respectively. Other necessary maintenance on the generator is also included in the same measure. The remaining lifetime of damage type *degradation of isolation on rotor windings* is calculated to be 10.0 years. The poor technical condition of the rotor poles is the main reason why measures need to be taken on the generator within short time. A balance between discounted investment costs and increasing failure costs provides the best profitability for *generator rehabilitation* in year 6 (2021) with a net profit of -3323 kkr.

Litjossen hydroelectric plant and Innerdalsmagasinet has a large capacity for storing water. Measures resulting in unavailability of the hydroelectric plant can therefore be carried out for extended periods of time without losing water. It is therefore no economic benefit to conduct the measures simultaneously in terms of reducing the unavailability costs. Execution of measures will therefore be most profitable in the measures most profitable years. The total most profitable measure of turbine and generator together will therefore be *reinvestment turbine* in year 5 (2020) and *generator rehabilitation* in year 6 (2021).

A sensitivity analysis is conducted on the investment cost, efficiency, power price and electricity certificate in order to illustrate the uncertainty of changes in the basic data set used in the analysis. A change in the investment costs provides the greatest impact on the profitability of the measures. A 10 % increase in the investment costs for the measure *reinvestment turbine* means that the measure *rehabilitation turbine* (-2801 kkr) becomes more profitable than *reinvestment turbine* (-2912 kkr). The remaining parameters does not have the same impact on the profitability as the investment costs and a change in the parameters of ± 20 % will not change the outcome in favor the measure *rehabilitation turbine* like investment costs do.

A risk assessment of the safety of persons is prepared for the events *fire in cables* and *arc in switching equipment*. The objective of analyzing these events was to assess whether measures for improving the control system should be brought forward due to high risk to personal safety in the hydroelectric plant. It is possible to carry out probability and consequence reducing measures for both events, but today's risk is assessed as acceptable and there is no need expedite measures for improving the control system.

Innholdsfortegnelse

Oppgavebeskrivelse	<i>i</i>
Forord	<i>ii</i>
Sammendrag	<i>iii</i>
Abstract	<i>v</i>
Innholdsfortegnelse	<i>vii</i>
Figurliste	<i>xi</i>
Tabelliste	<i>xiii</i>
Forkortelser	<i>xv</i>
Definisjoner og forklaringer	<i>xvi</i>
1 Innledning	<i>1</i>
2 Bakgrunn	<i>2</i>
2.1 Kraftverkene i Orkla-vassdraget	<i>2</i>
2.2 Litjossen kraftverk	<i>3</i>
3 Tidligere litteratur	<i>6</i>
3.1 Grunnleggende rapporter	<i>6</i>
3.1.1 Tilstandskontrollhåndbøker innen drift og vedlikehold av kraftproduksjon.....	<i>6</i>
3.1.2 Sviktmodell for vannkraftverk: skadetyper og tilstandskriterier.....	<i>6</i>
3.1.3 Modell for teknisk-økonomisk analyse av vedlikehold og reinvesteringer innen vannkraft.....	<i>6</i>
3.1.4 User’s guide to optimal maintenance tool box version 3	<i>6</i>
3.2 Teknisk-økonomiske rapporter	<i>7</i>
3.2.1 Teknisk-økonomisk analyse av reinvesteringer i vannkraftverk	<i>7</i>
3.2.2 Teknisk-økonomisk analyse av rehabilitering og modifikasjon	<i>7</i>
4 Metode og teorigrunnlag	<i>8</i>
4.1 Generell sviktmodell for vannkraftverk	<i>8</i>
4.2 Teknisk tilstand, skadetyper og tilstandskriterier	<i>9</i>
4.3 Levetidskurver	<i>11</i>
4.4 Konsekvenser av svikt	<i>12</i>
4.5 Restlevetidberegninger	<i>12</i>
4.6 Vedlikeholdskalkyle	<i>14</i>
5 Teknisk teori	<i>15</i>
5.1 Mekanisk- og hydraulisk balanse	<i>15</i>
5.1.1 Turtallsfrekvens.....	<i>15</i>
5.1.2 Løpeskovlfrekvensen.....	<i>15</i>
5.1.3 Ledeskovlfrekvensen	<i>16</i>
5.1.4 Sugerørsvirvelfrekvensen	<i>17</i>

5.2	Aksiell, radiell og tangentiell retning	18
5.3	Olje- og gassanalyse transformatorer	19
6	Tilstandsbeskrivelse	20
6.1	Dokumentbeskrivelse	20
6.1.1	Norconsult	20
6.1.2	TrønderEnergi	21
6.1.3	ABB	21
6.2	Vannvei	21
6.2.1	Øvre vannvei	21
6.2.2	Kuleventil	22
6.2.3	Turbinspiral	23
6.2.4	Sugerør	23
6.3	Turbin	24
6.3.1	Stagring og stagsøyler	24
6.3.2	Ledeapparat	24
6.3.3	Sugerørskonus	25
6.3.4	Løpehjul	26
6.3.5	Turbinregulator	28
6.3.6	Ventilstyring	29
6.4	Akselstreng og lager	30
6.5	Generator	32
6.5.1	Generatorkjølere	35
6.5.2	Bremser og bremsesystem	35
6.5.3	Børsteavsug	36
6.6	Transformatorer	37
6.6.1	Krafttransformator	37
6.6.2	Stasjonstransformatorer	39
6.6.3	Magnetiseringstransformator	40
6.7	Kontrollanlegg	41
6.7.1	Spenningsregulator	42
6.8	Hjelpesystemer	43
6.8.1	Batterianlegg	43
6.8.2	Dieselaggregat	44
6.9	Annet utstyr	45
6.9.1	Lenseanlegg	45
6.9.2	Redningsutstyr	45
6.10	Kraftkabel	46
6.11	Bryteranlegg 132 kV	47
7	Analyse	48
7.1	Tilstandsbeskrivelse	48
7.1.1	Turbin	48
7.1.2	Generator	50
7.2	Tiltak	53
7.2.1	Turbin	53

7.2.2	Generator	55
7.2.3	Annet	56
7.3	Alternativer	57
7.4	Forutsetninger for beregninger	59
7.4.1	Turbin	59
7.4.2	Generator	61
7.5	Kostnader	63
7.5.1	Turbin	63
7.5.2	Generator	64
7.5.3	Utilgjengelighetskostnader	65
7.5.4	Korrigerings for tidlige svikthendelser	66
7.5.5	Skatter og avgifter	66
7.6	Kostnader ved svikt	67
7.6.1	Skovlbrudd løpehjul	67
7.6.2	Kortslutning polspole	68
7.6.3	Gjennomslag statorvikling	68
7.7	Inntekter	70
7.7.1	Kraftpris	70
7.7.2	Elsertifikater	70
7.7.3	Virkningsgradsøkning turbin	71
7.7.4	Redusert sviktsannsynlighet	73
7.8	Resultat av sviktsannsynlighetsberegninger	74
7.8.1	Reinvestering turbin	74
7.8.2	Rehabilitering turbin	74
7.8.3	Rehabilitering polspoler	75
7.8.4	Rehabilitering sporkiler	75
7.9	Beregnende alternativer	76
7.9.1	Reinvestering turbin	76
7.9.2	Rehabilitering turbin	77
7.9.3	Revisjon generator	78
7.9.4	Felles	78
7.10	Resultater	79
7.10.1	Reinvestering turbin	80
7.10.2	Rehabilitering turbin	82
7.10.3	Revisjon generator	84
7.10.4	Felles	86
7.11	Følsomhetsanalyse	87
7.11.1	Reinvestering turbin år 5	88
7.11.2	Rehabilitering turbin år 5	89
7.11.3	Revisjon generator år 6	90
8	Personikkerhet	91
8.1	ROS- og RCM-analyser	91
8.1.1	Risiko- og sårbarhetsanalyse	91
8.1.2	Reliability centered maintenance	91
8.2	Forskrift om risiko- og sårbarhetsanalyse	92

8.3	Sannsynlighet, konsekvens og risiko.....	92
8.4	ROS TrønderEnergi	93
8.5	RCM TrønderEnergi	93
8.6	Brann i kabler	95
8.7	Lysbueeksplosjon/brann i koblingsanlegget	98
9	<i>Diskusjon</i>	<i>101</i>
10	<i>Konklusjon.....</i>	<i>106</i>
11	<i>Videre arbeid.....</i>	<i>108</i>
12	<i>Referanser.....</i>	<i>109</i>

Figurliste

Figur 1: Oversikt over kraftverkene i Orkla-vassdraget. [49]	2
Figur 2: Oversikt over vannføringen i Orkla-vassdraget. [4]	3
Figur 3: Illustrasjon av vannveien til Litjossen kraftverk. [6].....	3
Figur 4: Viser vannveiene og oppdemningene forbundet med Litjossen kraftverk. [8]	4
Figur 5: Viser vannoverføringen fra Øvre Dølvad til Inna. Den svarte sirkelen markerer inntaket. [8] ..	5
Figur 6: Generell sviktmodell for vannkraftverk. [11]	8
Figur 7: Et eksempel på en sviktmodell for et løpehjul i vannkraftverk.....	9
Figur 8: Illustrasjon av en levetidskurve. [11]	11
Figur 9: Et eksempel på et hendelsestre for en oljekjøler på en transformator. [11]	12
Figur 10: Restlevetidsberegninger på skadetype kavitasjon for løpehjulet i Litjossen kraftverk.	13
Figur 11: Viser resultatarket av Excelverktøyet <i>vedlikeholdskalkyle</i>	14
Figur 12: Trykkpulsasjoner på grunn av ledeskovlfrekvensen. [18]	16
Figur 13: Sugerørsvirvel ved lav-, normal-, høy delast og fullast. [18].....	17
Figur 14: Orientering av retningene til de ulike aksebegrepene.....	18
Figur 15: Kuleventil avbildet i turbinkjelleren.	22
Figur 16: Ventil for injektor til venstre og tømmeventil trykksjakt til høyre.....	23
Figur 17: Stagring og stagsøyler i bildet til venstre og ledeskovel med rivning i bildet til høyre.....	24
Figur 18: Snitt av et ledeapparat [25].....	25
Figur 19: Illustrasjon av sugerør på en Francisturbin. [25].....	26
Figur 20: Bilde av en ledeskovel med små kavitasjonsskader.....	27
Figur 21: Ventilstyrepult til venstre og rørføringer ventilstyring til høyre.....	29
Figur 22: Viser akselstrengen mellom turbin og rotor med vibrasjonssensorer.....	32
Figur 23: Generatorkjøler til venstre og bremsetavle generator til høyre.....	35
Figur 24: Børsteavsug og børstetilkobling i generatortoppen.	36
Figur 25: Krafttransformatoren til Litjossen kraftverk.	37
Figur 26: Magnetiseringstransformator for Litjossen kraftverk.....	40
Figur 27: Spenningsregulatoren i Litjossen kraftverk.....	42
Figur 28: Viser 12 av de totalt 36 batteripakkene per rom.....	43
Figur 29: Diesellaggregat ved inngangen til adkomsttunnelen.....	44
Figur 30: Rørføringer for lenseanlegg ut fra lensekum.	45
Figur 31: Overføringstrasèer mellom generator og 132 kV koblingsanlegg.	46
Figur 32: Bilde av koblingsanlegget til Litjossen kraftverk. Nærmeste bryterfelt er mot Ulset.....	47
Figur 33: Reinvestering turbin og vedlikehold turbin.....	57
Figur 34: Rehabilitering turbin og vedlikehold turbin.	57
Figur 35: Rehabilitering turbin og reinvestering turbin.	58
Figur 36: Reinvestering turbin og rehabilitering turbin.	58
Figur 37: Generatorrevisjoner.	58
Figur 38: Reinvestering/Generatorrevisjon og Vedlikehold/Generatorrevisjon.....	58
Figur 39: Rehabilitering/Generatorrevisjon og Vedlikehold/Generatorrevisjon.	58
Figur 40: Rehabilitering/Generatorrevisjon og Reinvestering/Generatorrevisjon.	58
Figur 41: Reinvestering/Generatorrevisjon og Rehabilitering/Generatorrevisjon.	58
Figur 42: Sviktmodell for løpehjul.	59
Figur 43: Sviktmodell for polspoler.	61
Figur 44: Sviktmodell for løse sporkiler.....	62
Figur 45: Svikthendelse inntreffer før planlagt utbedring av utstyret.	66
Figur 46: Elsertifikatpris mellom årene 2010 og 2015. [36].....	71

Figur 47: Virkningsgradsmålinger utført i 1983, 2004 og potensiell ny virkningsgrad (rød strek).....	72
Figur 48: Beregnede alternativer for reinvestering turbin.....	76
Figur 49: Ulike tidsintervaller for rehabilitering turbin.....	77
Figur 50: Beregnede alternativer for revisjon generator.....	78
Figur 51: Reinvestering turbin år 5, vedlikehold år 25 og generatorrevisjon år 6 og 26.....	78
Figur 52: Rehabilitering turbin år 5, vedlikehold år 25 og generatorrevisjon år 6 og 26.....	78
Figur 53: Reinvestering turbin år 6, vedlikehold år 26 og generatorrevisjon år 6 og 26.....	78
Figur 54: Resultat og sviktsannsynlighet presentert for tiltaket <i>reinvestering turbin</i>	81
Figur 55: Viser total sviktsannsynlighet for den enkelte skadetype for en hel analyseperiode.....	81
Figur 56: Resultat og sviktsannsynlighet presentert for tiltaket rehabilitering turbin.....	83
Figur 57: Viser total sviktsannsynlighet for den enkelte skadetype for en hel analyseperiode.....	83
Figur 58: Resultat og sviktsannsynlighet presentert for tiltaket revisjon generator.....	85
Figur 59: Viser total sviktsannsynlighet for den enkelte skadetype for en hel analyseperiode.....	85
Figur 60: Følsomhetsanalyse reinvestering turbin år 5.....	88
Figur 61: Følsomhetsanalyse rehabilitering turbin år 5.....	89
Figur 62: Følsomhetsanalyse generatorrevisjon år 6.....	90
Figur 63: Beslutningslogikk for Litjfossen kraftverk.....	94
Figur 64: Flukthette og veggmonteringsenhet. [46].....	96
Figur 65: Hendelsestre for personsikkerhet ved brann i kabelanlegg.....	97
Figur 66: Risikomatrix ved brann i kabelanlegg.....	97
Figur 67: Potensielle skader ved eksponering av lysbue.....	98
Figur 68: Hendelsestre for personsikkerhet ved lysbue i koblingsanlegg.....	100
Figur 69: Risikomatrix ved lysbue i koblingsanlegg.....	100
Vedlegg:	
Figur 70: Sviktkostnader som påløper ved svikt.....	21
Figur 71: Økonomiske grunnlagsdata.....	22
Figur 72: Viser årlig kraft- og elsertifikatpris og kvalifisert produsert effekt for elsertifikater (GWh).....	22
Figur 73: Tekniske grunnlagsdata - virkningsgradsøkning.....	22
Figur 74: Årlig sannsynlighet for svikt for hver skadetype gjennom hele analyseperioden.....	23
Figur 75: Kostnader knyttet til tiltaket.....	23
Figur 76: Utilgjengelighetskostnader under tiltak.....	24
Figur 77: Inntekter fra virkningsgradsøkning.....	24
Figur 78: Negativ inntekt knyttet til risiko for svikt.....	24
Figur 79: Inntekter knyttet til salg av elsertifikater.....	24
Figur 80: Inneholder en sammenstilling av resultatet i analysen.....	25

Tabelliste

Tabell 1: Beskrivelse av tilstandskarakterene i henhold til tilstandskontrollhåndbøkene.....	10
Tabell 2: Tilstandskriterier for skadetyper på Francis- og pumpe-turbiner.	10
Tabell 3: Ulike tester ved analyse av transformatorolje. [20] [21]	19
Tabell 4: Norconsults tilstandskriterier.	20
Tabell 5: Tilstandskarakter kuleventil.....	23
Tabell 6: Tilstandskarakter turbin spiral.....	23
Tabell 7: Tilstandskarakter sugerør.	24
Tabell 8: Tilstandskarakter staging og stagsøyler.	24
Tabell 9: Tilstandskarakter ledeapparat.	25
Tabell 10: Oppsummering av tilstandskarakterene gitt på løpehjulet av Norconsult	26
Tabell 11: Tilstand på skadetyperne til løpehjulet i Litjossen kraftverk.	28
Tabell 12: Oppsummering av tilstandsrapportene for akselstreng og lager utført av Norconsult.	30
Tabell 13: Oppsummering av vibrasjonsrapportene for generator utført av Norconsult.	32
Tabell 14: Tilstandskarakterer fra tilstandskontrollen på rotor.	34
Tabell 15: Tilstandskarakterer fra tilstandskontrollen på stator.....	34
Tabell 16: Tilstandskarakterer fra tilstandskontrollen på statorvikling.	34
Tabell 17: Gassanalyser utført på krafttransformatoren i Litjossen kraftverk. [27] [28].....	38
Tabell 18: Oljeanalyser utført på krafttransformatoren T1 i Litjossen kraftverk. [27] [28].....	38
Tabell 19: Oppsummering av tilstanden til turbinkomponenter.	48
Tabell 20: Oppsummering av tilstanden til stator.....	50
Tabell 21: Oppsummering av tilstanden til rotor.	51
Tabell 22: Tiltak for turbinkomponenter ved reinvestering.....	53
Tabell 23: Tiltak for turbinkomponenter ved rehabilitering.	54
Tabell 24: Tiltak stator.....	55
Tabell 25: Tiltak rotor.	55
Tabell 26: Tiltak annet utstyr.....	56
Tabell 27: Teknisk levetid før nytt utbedringstiltak bør iverksettes.	57
Tabell 28: Levetidskurver løpehjul.	60
Tabell 29: Teknisk tilstand løpehjul.....	60
Tabell 30: Levetidskurver for polspoler.....	61
Tabell 31: Teknisk tilstand polspole.	61
Tabell 32: Levetidskurver for løse sporkiler.	62
Tabell 33: Teknisk tilstand løse sporkiler.	62
Tabell 34: Kostnader knyttet til tiltaket <i>rehabilitering turbin</i>	63
Tabell 35: Kostnader knyttet til tiltaket <i>reinvestering turbin</i>	63
Tabell 36: Kostnader knyttet til rehabilitering av polspoler på rotor.	64
Tabell 37: Kostnader knyttet til rehabilitering av sporkiler på stator.	64
Tabell 38: Utilgjengelighetskostnader - <i>worst case</i> scenario.	65
Tabell 39: Scenario 1 - Havari løpehjul.....	67
Tabell 40: Scenario 2 - Havari løpehjul med sekundære skader.	67
Tabell 41: Sviktkostnader ved kortslutning i polespoler.	68
Tabell 42: Sviktkostnader ved gjennomslag utenfor sporet.	68
Tabell 43: Sviktkostnader ved gjennomslag i sporet.....	69
Tabell 44: Sviktkostnader ved gjennomslag med følgeskader.	69
Tabell 45: Gjennomsnittlig kraftpris for region Trondheim 2014.	70
Tabell 46: Gjennomsnittspris per elsertifikat perioden 2010-2015.	70

Tabell 47: Forventet restlevetid for skadetyperne på løpehjulet for <i>reinvestering turbin</i>	74
Tabell 48: Forventet restlevetid for skadetyperne på løpehjulet for <i>rehabilitering turbin</i>	74
Tabell 49: Forventet restlevetid for skadetype <i>nedbrytning av vindingsisolasjon</i> på polsporer rotor.	75
Tabell 50: Forventet restlevetid for skadetype <i>løse sporkiler</i> på stator.	75
Tabell 53: Kostnader og inntekter fra analysen for tiltaket <i>reinvestering turbin</i>	80
Tabell 54: Kostnader og inntekter fra analysen for tiltaket <i>rehabilitering turbin</i>	82
Tabell 55: Kostnader og inntekter fra analysen for tiltaket <i>revisjon generator</i>	84
Tabell 56: Resultat fra analyse av fellesalternativer.	86
Tabell 57: Parameterverdier for reinvestering turbin år 5.	88
Tabell 58: Parameterverdier for rehabilitering turbin år 5.	89
Tabell 59: Parameterverdi for revisjon generator år 6.	90
Tabell 60: Oppsett av TrønderEnergis ROS-analyse.	93
Tabell 61: Kriterier for personsikkerhet.	94
Tabell 62: ROS-analyse av lysbueeksplosjon i koblingsanlegg.	99
Vedlegg:	
Tabell 63: Produksjonsdata og kjøremønster for aggregat i Litjossen kraftverk.	2
Tabell 64: Tekniske data for Litjossen kraftverk. [5]	3
Tabell 65: Oppsummering av økonomiske nøkkeldata.	65

Forkortelser

DBPC	D itertiary B utyl P ara- C resol
FoU	F orskning- og U tviklingsprogram
HRV	H øyeste R egulerte V annstand
KBO	K raftforsyningens B eredskaps O rganisasjon
KVO	K raft V erkene i O rkla
LRV	L aveste R egulerte V annstand
MRL	Forventet restlevetid (M ean R esidual L ifetime)
MTTF	M ean T ime T o F ailure
NEBB	N orsk E lektrisk & B rown B overi
NV	N å V erdi
OFW	F orced O il- W ater – Regulert trykkolje med vannkjøling
RCM	R eliability C entered M aintenance
REN	R asjonell E lektrisk N ettvirksomhet
ROS	R isiko O g S årbarhetsanalyse
SRV	S tatsens R äddnings V erk
TEK	T rønder E nergi K raft A S
TK	T ilstands K arakter

Definisjoner og forklaringer

Bakelitt:

Plasttypen bakelitt er en av de første plasttypene som ble oppfunnet. Bakelitt har blitt brukt som elektrisk isolasjon det siste århundret, men har i den senere tid måtte vike for nyere plasttyper med bedre egenskaper og billigere produksjon.

Brutto Fallhøyde:

Høyeste regulerte vannstand i inntaksmagasinet ned til normal vannstand i utløpet.

Effektiv Fallhøyde:

Fallhøyden minus falltapene. Vil alltid være mindre enn fallhøyden.

Fallhøyde:

Den loddrette avstanden mellom vannivået i inntak og avløp for et vannkraftverk.

Funksjonssikre kabler:

Kabler designet for å motstå påkjenninger ved brann i en viss periode for å sikre drift av nødvendige styre- og sikkerhetssystemer.

Kromatografi:

Benyttes innenfor analytisk kjemi for å separere kjemiske komponenter i gasser og løsninger.

Omdreiningshulrommet:

Omdreiningshulerommet er definert som området mellom lede- og løpeskivene.

Orbit:

Ved å benytte måleutstyr for å måle akselens bevegelse i et plan som ligger vinkelrett på turbinakselens lengderetning, kan et bilde av akselens rotasjonsmønster plottes. Denne typen avbildning av sentreringen av akselen kalles orbit-analyse. Ideelt sett skal orbiten danne en så liten og rund sirkel som mulig. Dette viser at sentreringen av akselen er god.

Penetrant kontroll (PT):

Overflatekontroll av ikke magnetiske (rustfrie) materialer, og maskinerte karbonstålprodukter. Detekterer overflatefeil, som sprekker, kantsår, porer, ol. [1]

1 Innledning

Befolkningen i Norge visste tidlig å benytte seg av vannfallressursene i dette landet. Vannfallressursene er både store og godt spredt utover Norge. Elektrifiseringen av Norge begynte mot slutten av 1800-tallet og utbygningen av nye vannkraftverk har siden den tid gått jevnt, med to intense utbygningsperioder i periodene 1910-1925 og 1960-1985. Norge kan i dag dekke hele sitt elektriske energibehov gjennom fornybar energiproduksjon. Nær all denne kraftproduksjonen kommer fra vannkraft. Per 01.01.14 ble ca. 99 % av Norges kraftproduksjon produsert av vannkraft fordelt på 1476 vannkraftverk [2]. Mange av disse vannkraftverkene er av eldre opprinnelse og det kreves store investeringer årlig for å opprettholde driften av dem. Komponentene aldres med tiden og sannsynligheten for svikt på komponentene øker. En svikthendelse kan medføre store konsekvenser og kostnader for kraftverkseier i form av skader på utstyr og utilgjengelighetstid på kraftverket. Denne risikoen bør derfor medberegnes i lønnsomhetsberegningene. Denne rapporten skal undersøke lønnsomheten ved ulike rehabiliteringstiltak for turbin og generator i et 33-år gammelt kraftverk.

Kraftverket som skal analyseres i dette prosjektet heter Litjfossen kraftverk. Litjfossen kraftverk er eid av *kraftverkene i Orkla* og er driftet av TrønderEnergi. Kraftverket er ett av fem kraftverk i Orklavassdraget og benytter seg av vann fra innerdalsmagasinet til produksjon av elektrisk energi. Kraftverket ble bygd og satt i drift i 1982 og behovet for rehabilitering er økende. TrønderEnergi er interessert i å undersøke hvilke løsningsalternativer som foreligger og hvordan lønnsomheten til de ulike løsningsalternativene er.

Rapporten settes opp med en oversikt over den tekniske tilstanden til hovedkomponentene i Litjfossen kraftverk. Med grunnlag i den tekniske tilstanden på hovedkomponentene benyttes et SINTEF-utviklet beregningsprogram for å beregne ut årlige sviktsannsynligheter og restlevetid på komponentene. Etter denne tilnærmingen lettes prosessen med å utvikle gode løsningsalternativer for videre økonomiske beregninger og analyse. De mest aktuelle løsningsalternativene beregnes og analyseres i et SINTEF-utviklet nåverdiprogram der lønnsomheten av de ulike løsningsalternativene beregnes. Lønnsomhetsberegningene inkluderer inntekter (virkningsgradsøkning, elsertifikater) og kostnader (sviktkostnader, investeringskostnader, ol.) for beregning av netto nåverdi. Ved å benytte nåverdiberegning kan lønnsomheten til løsningsalternativene sammenlignes.

Rapporten avsluttes med å se på følsomheten av ulike parameterne (kraftpris, elsertifikater, virkningsgradsøkning og investeringskostnader) benyttet i beregningene av løsningsalternativene. Dette blir omtalt som følsomhetsanalyse i rapporten. En følsomhetsanalyse bedrer forståelsen på hvordan endringer i parameterverdiene forandrer lønnsomheten på løsningsalternativene.

Målet med en teknisk-økonomisk analyse er å gjennomføre en systematisk og målrettet analyse av løsningsalternativene som ønskes vurdert. Ønsket er å få et bedre beslutningsgrunnlag for de utbedringstiltakene som vurderes. Denne rapporten viser en fremgangsmåte på hvordan dette kan gjøres.

2 Bakgrunn

Kapitlet gir en kort bakgrunn på kraftverket som skal analyseres i denne rapporten. Bakgrunnen er hentet fra fordypningsoppgaven utarbeidet høsten 2014 med navn *Teknisk-økonomisk analyse av reinvesteringsbehov i vannkraftverk* [3].

2.1 Kraftverkene i Orkla-vassdraget

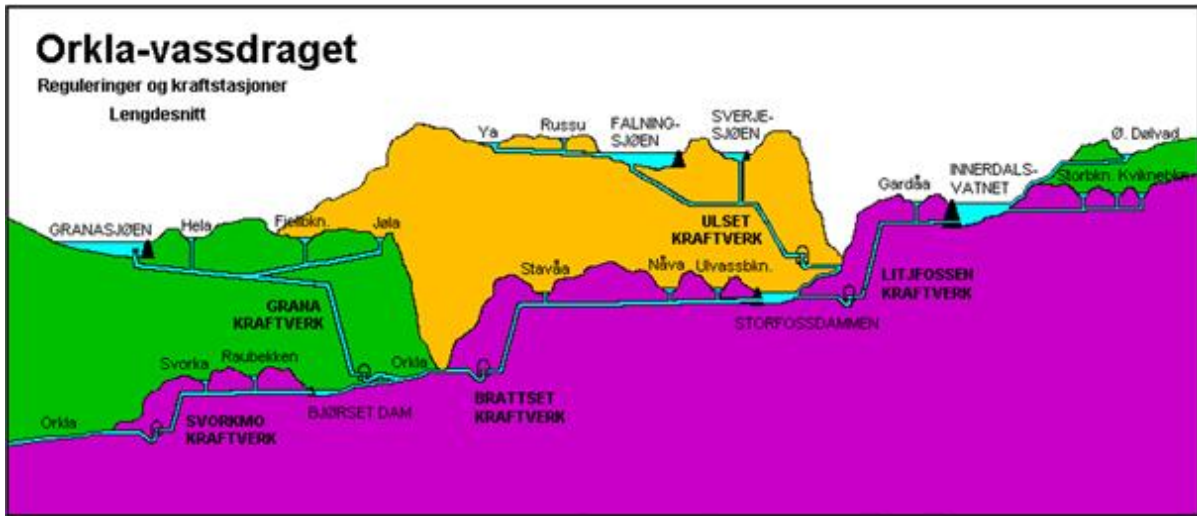
Litjossen kraftverk er ett av fem vannkraftverk som utnytter vannføringen i Orkla-vassdraget med bielver til produksjon av elektrisk energi. Disse fem kraftverkene i Orkla-vassdraget eies av kraftverkene i Orkla, som igjen eies av Statkraft 48,6%, TrønderEnergi kraft 35%, Eidsiva 12% og Nord Østerdal kraftlag 4,4%. Kraftverkene er lokalisert i Hedmark og Sør-Trøndelag fylke. Nærmere bestemt befinner Ulset- og Litjossen kraftverk seg nord i Tynset kommune, mens Brattset- og Grana kraftverk er utbygd i Rennebu kommune. Svorkmo kraftverk er utbygd i Orkdal kommune. Figur 1 viser plasseringene av kraftverkene inntegnet i et oversiktskart over Norge.



Figur 1: Oversikt over kraftverkene i Orkla-vassdraget. [49]

Øverst av kraftverkene i Orkla-vassdraget ligger Ulset kraftverk. For Ulset kraftverk er det utbygd to reguleringsdammer, Falningssjøen og Sverjesjøen, der Falningssjøen er inntaks- og hovedmagasin. Litjossen kraftverk bruker vann fra Innerdalsmagasinet. Utløpsvannet fra Ulset- og Litjossen kraftverk blir demt opp i Storfosdammen, der inntakstunnelen til Brattset kraftstasjon begynner. Lenger ned i vassdraget er Grana kraftverk bygd og installert. Grana kraftverk benytter fallet fra den oppdemte Granasjøen. Det siste kraftverket som utgjør kraftverkene i Orkla vassdraget, er Svorkmo kraftverk.

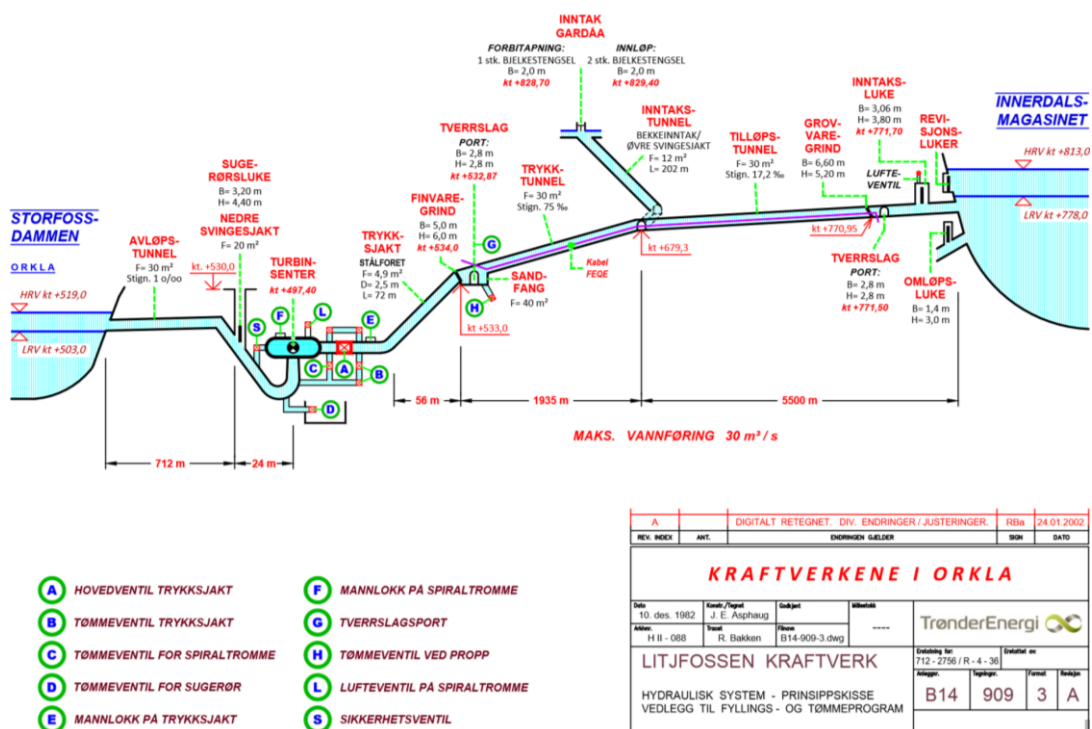
Svorkmo kraftverk er et elvekraftverk som ikke har noe eget magasin utover et mindre inntaksmagasin. En fullstendig oversikt over vannføringen i Orkla vassdraget er vist i Figur 2.



Figur 2: Oversikt over vannføringen i Orkla-vassdraget. [4]

2.2 Litjfosse kraftverk

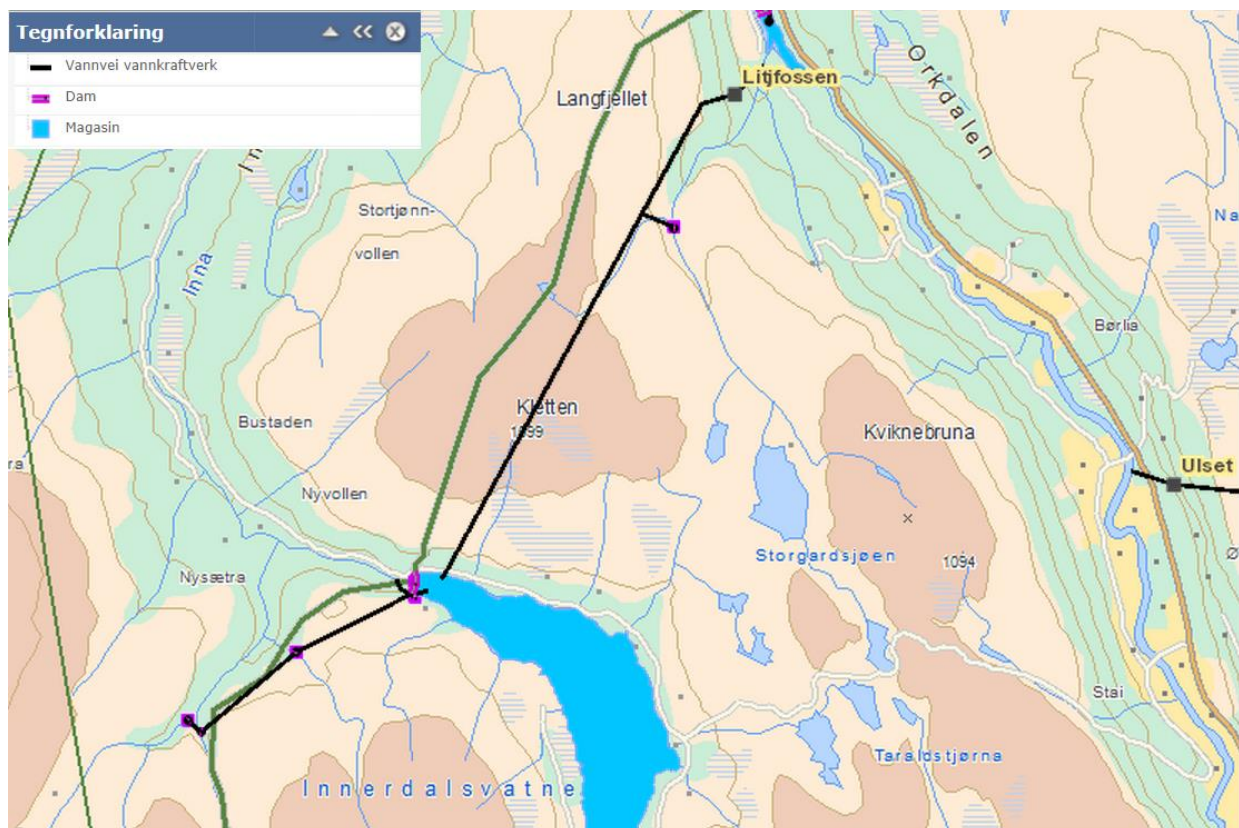
Utbyggingen av Litjfosse kraftverk startet i 1979 og kraftverket ble satt i drift i 1982. TrønderEnergi har ansvar for drift og vedlikehold av kraftverket. Kraftverket har siden oppstarten i 1982 blitt fjernstyrt og overvåket fra produksjonssentralen i Berkåk. Kraftverket har installert en francisturbin på 75 MW som i gjennomsnitt har en årlig driftstid på 2 443 timer. Den årlige middelproduksjonen er på 160 GWh. Aggregatet utnytter en brutto fallhøyde på 288,5 m fra Innerdalsvannet i gjennom en råsprenget tilløpstunnel på ca. 7,5 km. Den maksimale vannføringsevnen i tiløpstunnelen er 30 m³/s. Et illustrasjonsbilde over vannveien fra Innerdalsmagasinet til Storfossdammen er vist Figur 3. [5] Tekniske data for Litjfosse kraftverk er oppgitt i Vedlegg 3.



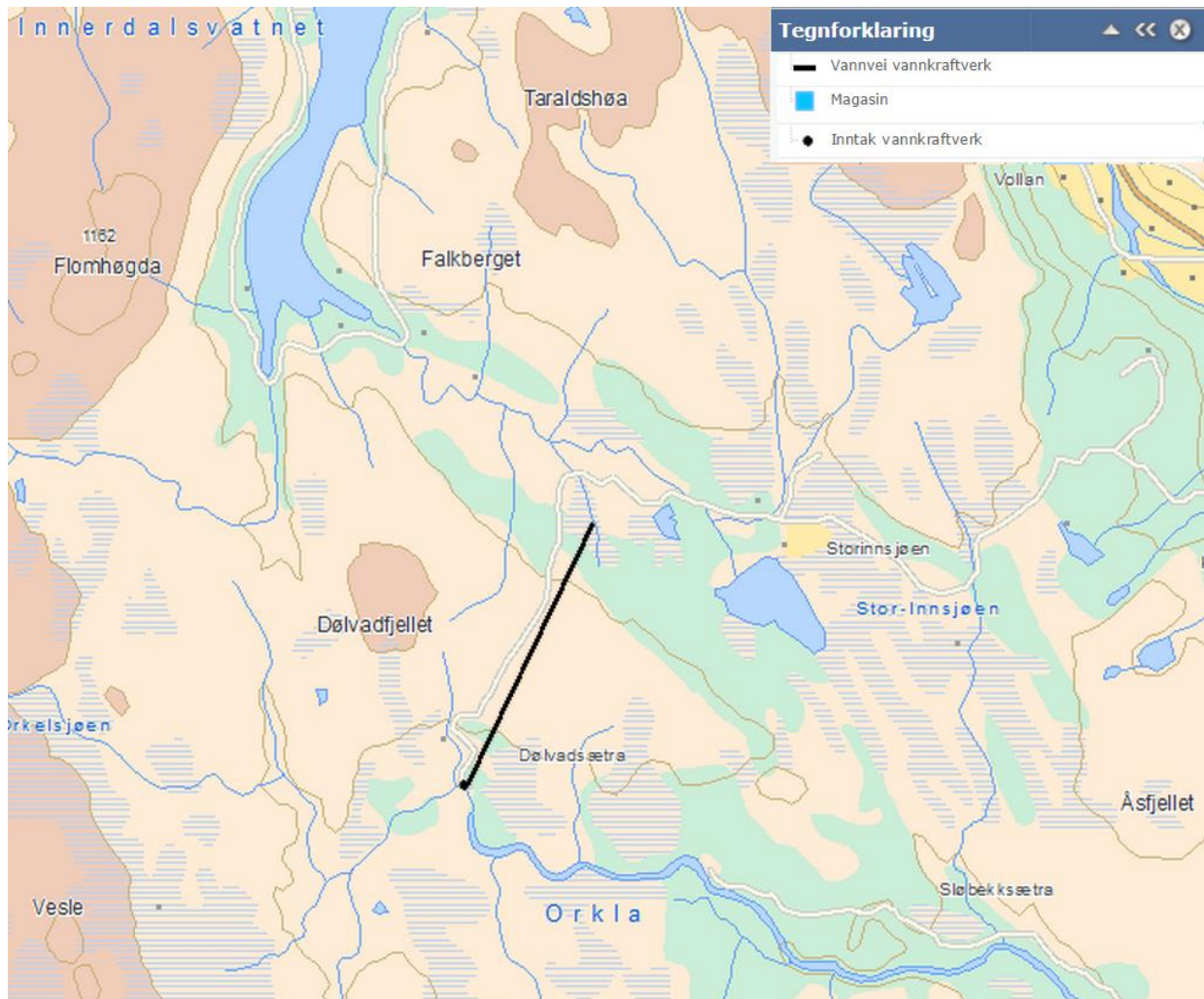
Figur 3: Illustrasjon av vannveien til Litjfosse kraftverk. [6]

Innerdalsmagasinet er et kunstig oppdemt magasin som rommer ca. 153 millioner kubikkmeter med vann. Dette gir en magasinkapasitet på 239 GWh. Demningen er konstruert som en fyllingsdam og vannivået i magasinet kan reguleres mellom kotene 778 m og 813 m. Undervannsnivået varierer med hvordan Storfosdammen blir regulert. Storfosdammen kan reguleres mellom kotene 503 m og 519 m. Fallhøyden vil variere etter hvordan magasinene blir regulert. Differansen mellom vannivået i Innerdalsmagasinet og vannivået i Storfosdammen utgjør fallhøyden. [5]

Vann fra elvene Næringåa, Kviknebekken og Storbekken føres over via tunnel til Innerdalsvannet. I tillegg blir det overført vann fra Øvre Dølva til elven Inna ved hjelp av en dam og tunnel. Elven Inna renner naturlig ned i Innerdalsvannet. Tilløpstunnelen til Litjossen kraftverk får også tilført vann i gjennom en tunnel forbundet med Gardåa. Det totale tilsigsfeltet for Litjossen kraftverk er 383,3 km² [7]. Kartene under (Figur 4 og Figur 5) viser de utsprengte vannveiene og oppdemningene til Litjossen kraftverk. Vannveiene og demningene er markert med henholdsvis fargene svart og lilla i kartet.



Figur 4: Viser vannveiene og oppdemningene forbundet med Litjossen kraftverk. [8]



Figur 5: Viser vannoverføringen fra Øvre Dølvad til Inna. Den svarte sirkelen markerer inntaket. [8]

3 Tidligere litteratur

3.1 Grunnleggende rapporter

En kort oppsummering av relevante rapporter for emnet teknisk-økonomiske analyser er beskrevet under. Noe av oppsummeringen er hentet fra rapporten *Teknisk-økonomisk analyse av reinvesteringsbehov i vannkraftverk høsten 2014* [3].

3.1.1 Tilstandskontrollhåndbøker innen drift og vedlikehold av kraftproduksjon

Håndbøkene opprinnelse innen drift og vedlikehold av kraftproduksjon startet i 1990 gjennom et FoU-prosjekt kalt *Tilstandskontroll av vannkraftverk*. Prosjektet var et samarbeid mellom 15 kraftselskap, ABB, Kværner, Vassdagsregulantenens Forening og Nybro-Bjerck. Målsetningen med prosjektet var å utvikle et system for tilstandskontroll der både bruker- og leverandørfaringer utnyttes. Håndbøkene er utviklet for ulike anleggskomponenter i vannkraftverk, som blant annet turbin, generator, kontrollanlegg og vannvei. Siden 1990 har håndbøkene blitt videreutviklet og oppdatert jevnlig. Håndbøkene er i dag tilgjengelig på papir, PDF-format, Wiki-løsning og er finansiert via abonnementsløsning. [9]

3.1.2 Sviktmodell for vannkraftverk: skadetyper og tilstandskriterier

Sviktmodell for vannkraftverk: skadetyper og tilstandskriterier [10] er en rapport utarbeidet av SINTEF som en av flere rapporter i det avsluttede prosjektet *Verdiskapende vedlikehold innen kraftproduksjon*. Innholdet i rapporten representerer en videre systematisering og bearbeiding av Energi Norges tilstandskontrollhåndbøker for tilstandskontroll av vannkraftturbiner og –generatorer. Rapporten inneholder en samling av kunnskap og erfaring om ulike konstruksjonsløsninger og skadetyper på turbiner og generatorer, i tillegg til koblingen mellom skadetyper og konstruksjonsløsninger. Innholdet representerer et viktig steg videre for standardisering og systematisering av informasjon av teknisk tilstand, konstruksjonsløsninger og skadetyper. Denne typen informasjon skal tjene som underlag for etablering av levetidskurver for turbin- og generatorkomponenter basert på ekspertvurderinger.

3.1.3 Modell for teknisk-økonomisk analyse av vedlikehold og reinvesteringer innen vannkraft

Rapporten *modell for teknisk-økonomisk analyse av vedlikehold og reinvesteringer innen vannkraft* [11] er utarbeidet av SINTEF Energi for oppdragsgiver Energi Norge. Hensikten med rapporten er å presentere en modell for gjennomføring av teknisk-økonomisk analyse for vedlikehold- og reinvesteringsprosjekter innen vannkraftverk. Modellen gir et rammeverk for utforming og implementering av ulike prosesser i en teknisk-økonomisk analyse. Det er utarbeidet fire hovedprosesser i rapporten; *Fastsette analyseomfang*, *Fastsette datagrunnlag*, *Estimere risiko og nytteverdier* og *Sammenstille resultater*. Som en avsluttende del i rapporten er etterarbeidsprosessene *Kvalitetssikre analysen*, *Utføre etteranalyse* og *Arkivere resultater* beskrevet.

3.1.4 User's guide to optimal maintenance tool box version 3

User's guide to optimal maintenance tool box er en brukerveiledning for Excelverktøyene brukt i optimalt vedlikehold. Rapporten er utviklet av SINTEF og gir veiledning i bruk av Excelverktøyene; *Estimation of failure probability* (Estimering sviktsannsynlighet), *NPV-calculations* (Vedlikeholdskalkyle), *Qualitative model making* (Kvalitativ modelletablering) og *Qualitative project evaluation* (Kvalitativ prosjektvurdering). De to sistnevnte verktøyene er ikke benyttet i denne masteroppgaven. [12] [13]

3.2 Teknisk-økonomiske rapporter

Et kort sammendrag av tidligere gjennomførte teknisk-økonomiske rapporter ved NTNU er beskrevet under. Begge rapportene er basert på reelle rehabiliteringsplaner utarbeidet i samarbeid med kraftselskaper. Sammendrag av rapportene ble utarbeidet i *Teknisk-økonomisk analyse av reinvesteringsbehov i vannkraftverk* høsten 2014 [3].

3.2.1 Teknisk-økonomisk analyse av reinvesteringer i vannkraftverk

Teknisk-økonomisk analyse av reinvesteringer i vannkraftverk er et sluttresultat av en masteroppgave skrevet av Sigurd Fosby Livgard ved NTNU våren 2013. Hensikten med oppgaven var å gjennomføre en teknisk-økonomisk analyse av reinvesteringer i Nedre Fiskumfoss kraftverk. De mest relevante skadetyper for stator, rotor og løpehjul med høy konsekvens ble brukt i analysen. Sviktsannsynlighetene er videre blitt utregnet ved bruk av SINTEFs excelverktøy *Estimering sviktsannsynlighet*. Med utgangspunkt i skadetyper og sviktsannsynligheter før og etter rehabilitering, er kostnad for svikt beregnet ved hjelp av SINTEFs excelverktøy *Vedlikeholdskalkyle*. Det ble vurdert 7 alternativer for rehabilitering med formål å sikre fremtidig drift i 20 år med normalt vedlikehold etter endt rehabilitering. [13]

3.2.2 Teknisk-økonomisk analyse av rehabilitering og modifikasjon

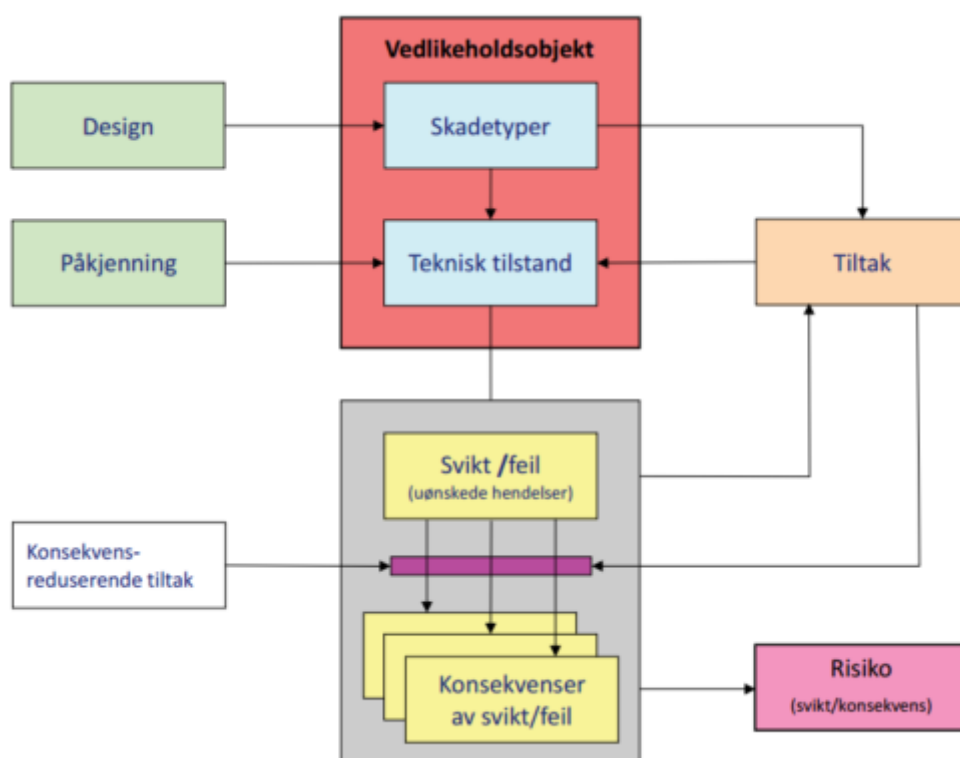
Teknisk-økonomisk analyse av rehabilitering og modifikasjon er et sluttresultat av en masteroppgave skrevet av Trond Sliper ved NTNU våren 2012. Oppgaven omhandlet en stor revisjon av Kvittingen kraftverk, et kraftverk eid og driftet av BKK. Formålet med oppgaven var å utarbeide omfanget av revisjon og sikre videre drift av kraftverket, med normalt vedlikehold, i minst 20 år etter revisjonens ferdigstillelse. Rapporten inneholder en tilstandsbeskrivelse av anleggskomponentene i kraftstasjonen som benyttes som grunnlag for den økonomiske analysen basert på excelverktøyene *estimering sviktsannsynlighet* og *vedlikeholdskalkyle* utarbeidet av SINTEF. Det er også sett på muligheten for effektøkning ved å identifisere flaskehalsen i energikjeden. [14]

4 Metode og teorigrunnlag

Dette kapitlet skal gi en innføring i metodene og verktøyene som benyttes i en teknisk-økonomisk analyse. Metodene og verktøyene er benyttet i analysen av løsningsalternativene for Litjossen kraftverk.

4.1 Generell sviktmodell for vannkraftverk

Den generelle sviktmodellen for vannkraftverk er illustrert i Figur 6. Sviktmodellen er en modell utviklet for å grafisk fremstille sammenhengen mellom skadetyper, teknisk tilstand, sannsynlighet for svikt, konsekvenser for svikt og tilhørende risiko for komponenter. *Vedlikeholdsobjektet* (komponenten) i modellen består av blokkene *Skadetyper* og *Teknisk tilstand*. Blokken *Design*, altså designet på selve komponenten har en relevans for hvilke skadetyper som er aktuelle for komponenten. Ulikt design kan bety konstruksjons- og materiellforskjeller, ytelse- og spenningsforskjeller, også videre. To komponenter kan ha samme formål, men allikevel ha ulikt design og ulike skadetyper.



Figur 6: Generell sviktmodell for vannkraftverk. [11]

Den tekniske tilstanden på komponenten svekkes ved å bli utsatt for ulike påkjenninger, illustrert gjennom blokken *Påkjenning*. Påkjenningene kan være i form av en ytre påkjenning (overspenninger, fremmedlegemer, el.), påkjenning over en lengre periode (aldring) eller driftsbetingende påkjenning (kjøremønstre).

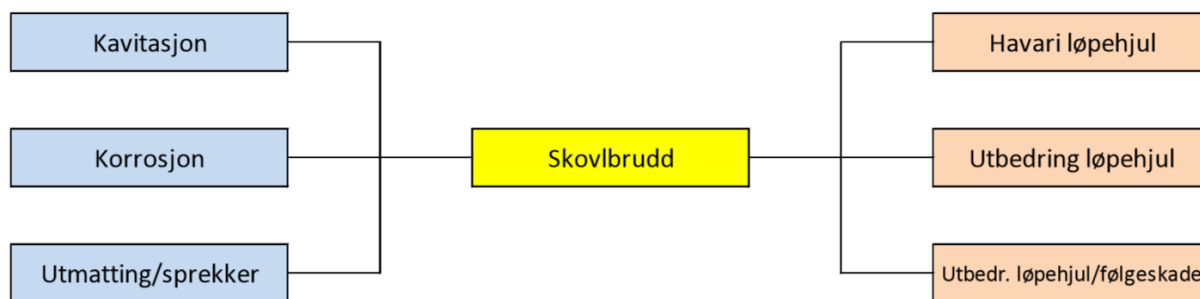
Når en komponent svikter og ikke lenger opprettholder en krevd funksjon, vil komponenten ha en feil. I sviktmodellen flytter man seg da fra *Vedlikeholdsobjekt* og *Teknisk tilstand* til *Uønskede hendelser* og *Svikt/feil*. Hvilke konsekvenser en svikt/feil medfører beskrives i blokken(e) *konsekvenser av svikt/feil*. For å begrense utfallet og konsekvensene av en svikt/feil i vannkraftverk, finnes det ofte barrierer (mekaniske- og elektriske barrierer, vern ol.) for dette som illustreres i sviktmodellen som *konsekvens-reducerende tiltak*. Konsekvensene av en svikt kan være alt fra mindre alvorlige til svært alvorlige hendelser. Ofte vil sannsynligheten for en svikt være mindre på de komponentene med alvorlige

konsekvenser sammenlignet med de komponentene med mindre alvorlige konsekvenser. Grunnen til det er at risikoen ønskes å være så lav som mulig. Blokken *Risiko* danner risikoen (konsekvens * sannsynlighet) for en uønsket hendelse.

Det utføres et *Tiltak* ved å utbedre en svikt/feil slik at komponenten blir operativ igjen. Et tiltak kan også være vedlikeholdsarbeid og reinvesteringer før svikt/feil har oppstått. Det kan også gjøres tiltak for å redusere konsekvensene ved en eventuell svikt. Dette er illustrert med en pil fra *Tiltak* til *Konsekvens-reducerende tiltak*.

Pilen fra *Skadetyper* til *Tiltak* illustrerer at aktuelle tiltak for den enkelte komponent er avhengig av skadetyperne.

Et eksempel på en sviktmodell i et vannkraftverk er illustrert i Figur 7. Modellen under viser til venstre tre skadetyper som alle resulterer til skovlbrudd (gul blokk) ved svikt/feil. Konsekvensene av et skovlbrudd på løpehjulet er vist i de tre blokkene til høyre. Konsekvenser av en svikt/feil kan innebære kostnader, personsikkerhet, skade på ytre miljø og omdømmetap.



Figur 7: Et eksempel på en sviktmodell for et løpehjul i vannkraftverk.

4.2 Teknisk tilstand, skadetyper og tilstandskriterier

Ordet *skadetype* brukes som en samlebetegnelse på en eller flere typer skader. En skade er en fysisk tilstand som oppstår som et resultat av en ytre påkjenning [15]. En påkjenning på komponenten kan være av en langvarig- eller momentant faktor. I takt med degraderingen av den tekniske tilstanden til en komponent, øker også sannsynligheten for en svikt/feil. En slik svikt/feil kan få konsekvenser for økonomi, leveringssikkerhet, omdømme, personsikkert og ytre miljø. [11]

En komponent kan være utsatt for flere ulike skadetyper. Den tekniske tilstanden til komponenten svekkes ved aldring, kjøremønster og ytre påkjenninger.

Ved å benytte tilstandskontrollmetodene i Energi Norges *Håndbøker for tilstandskontroll av vannkraftanlegg* kan man overvåke og gi diagnostisering av anleggets tilstand. Flere store aktører innen vannkraftbransjen har vært involvert i utvikling av tilstandskontrollhåndbøkene. Tilstandskontrollhåndbøkene anvender en etablert systematikk for tilstandsangivelse. Resultatene fra målinger og inspeksjoner skal resultere i en klassifisert indikasjon på tilstanden til komponentene. Vurderingen av tilstanden på komponentene baseres på en karakterskala fra 1 til 4. I tillegg er det i rapporten *Sviktmodell for vannkraftverk: skadetyper og tilstandskriterier* [10] vist seg hensiktsmessig å innføre en karakter 5. Dette er for å skille mellom en kritisk tilstand og en tilstand der enheten allerede har sviktet, altså en feil. Se Tabell 1 for beskrivelse av de ulike tilstandskarakterene.

Tabell 1: Beskrivelse av tilstandskarakterene i henhold til tilstandskontrollhåndbøkene.

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

For å kunne fastsette en tilstandskarakter for den enkelte skadetype, har rapporten *Sviktmmodell for vannkraftverk: skadetyper og tilstandskriterier* utarbeidet tilstandskriterier for hver enkelt komponent og dens skadetyper. Tabell 2 viser et utdrag fra rapporten for noen av tilstandskriteriene på Francis og pumpeturbiner. Tabellene har i rapporten også en kommentarkolonne med ekstra informasjon om skadetyperne, men det er utelatt her.

Tabell 2: Tilstandskriterier for skadetyper på Francis- og pumpeturbiner.

Skadetyper	Karakter 2	Karakter 3	Karakter 4	Karakter 5
S1 Hamring	Mindre partier av skovlene har en matt overflate.	Groper, ru overflate	Kritiske sprekker i løpehjulsskovlene.	Skovlbrudd
S2 Kavitasjon	Mindre partier av skovlene har en matt overflate.	Ru overflate. Øvre grense til karakter 3 tilsvarer IEC 60609-1, øvre grense.	Betydelige kavitasjonsskader. Øvre grense til karakter 4 tilsvarer 2 x IEC 60609-1, øvre grense. Kritiske sprekker i løpehjulsskovlene som konsekvens av kavitasjonsskadene, se S5.	Skovlbrudd. En stor del av godset er tæret opp på grunn av kavitasjon. Skader over karakter 4, dvs. over 2 x IEC 60609-1, øvre grense.
S3 Korrosjon	Noen tegn til korrosjon.	Betydelige tæringer; først og fremst på innløp og avløp.	Omfattende korrosjonsskader, deler av godset er bortkorrodert.	Skovlbrudd.

For å bedre nøyaktigheten av tilstandskaraktersettingen er det innført et system som benytter pluss og minus bak tilstandskarakterene. En pluss (+) bak tilstandskarakteren indikerer en god tilstand og en minus (-) bak tilstandskarakteren indikerer en dårlig tilstand. Ingen tegn bak tilstandskarakteren indikerer at tilstanden er i overensstemmelse med tilstandskriteriene for karakteren. Dette betyr at hver karakter kan inneha tre mulige tilstander.

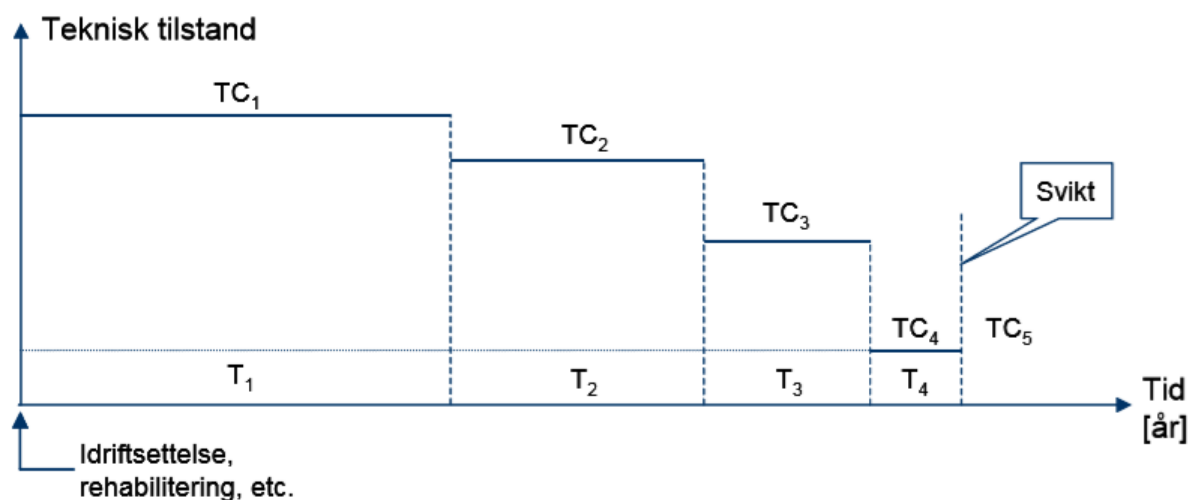
4.3 Levetidskurver

En levetidskurve beskriver levetidsutviklingen i form av forventede varigheter i definerte tilstander fra ny tilstand til feil [11]. Figur 8 viser et eksempel på en levetidskurve. Y-aksen representerer den tekniske tilstanden på komponenten, mens X-aksen representerer tid. En levetidskurve illustrerer derfor den tekniske tilstanden på komponenten som en funksjon av tid. [11]

Levetidskurven er inndelt i fire tilstandsperioder, TC_1 - TC_4 , samt tilstanden TC_5 som representerer feil. Tilstandsperiodene er knyttet opp mot tilstandskarakterene i henhold til tilstandskontrollhåndbøkene beskrevet i Tabell 1, der TC_1 representerer tilstandskarakter 1, TC_2 representerer tilstandskarakter 2 også videre. Overgangen fra tilstandsperiode TC_4 til tilstanden TC_5 vil alltid være når en svikt på komponenten inntreffer. Lengden på tilstandsperiodene kan variere fra flere tiår (TC_1) ned til noen få år eller måneder (TC_4). [11]

Ifølge modellen vil en svikt alltid skje i mellom tilstandsperiode TC_4 og tilstand TC_5 . Allikevel vil ikke sviktsannsynligheten være null i tilstandsperiodene TC_1 - TC_3 . På grunn av viss usikkerhet til estimeringen av den tekniske tilstanden, der kanskje tilstandsvurderingen ble vurdert til tilstandskarakter 2, men at den tekniske tilstanden reelt sett var en tilstandskarakter 4. Tilstandsvurderingen kunne også ha vært korrekt, men at komponenten har vært utsatt for ekstreme påkjenninger som har ført til et raskt sammenbrudd og svikt. [11]

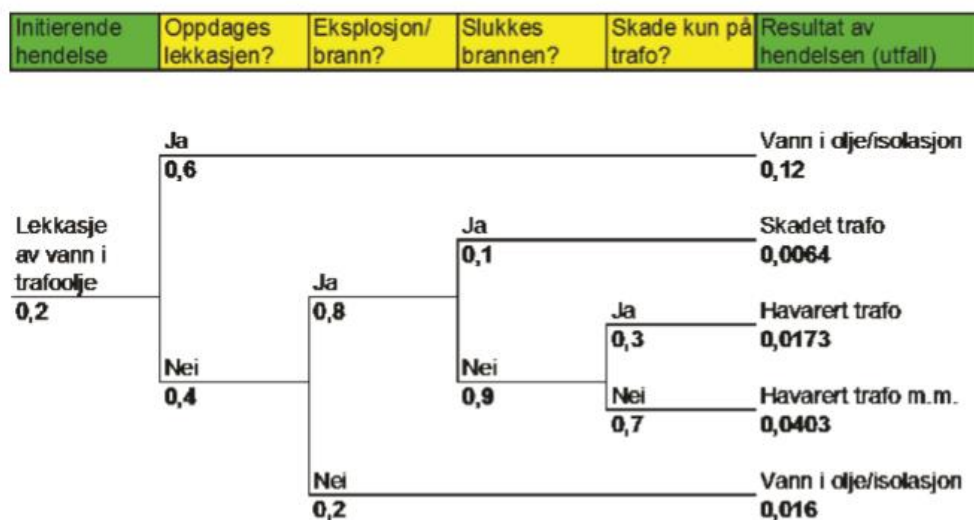
Levetidskurver beskriver levetiden på en skadetype og gitte typer påkjenninger. En komponent kan ha flere skadetyper og hver skadetype kan ha flere levetidskurver gitt ulike sett av påkjenninger. [11]



Figur 8: Illustrasjon av en levetidskurve. [11]

4.4 Konsekvenser av svikt

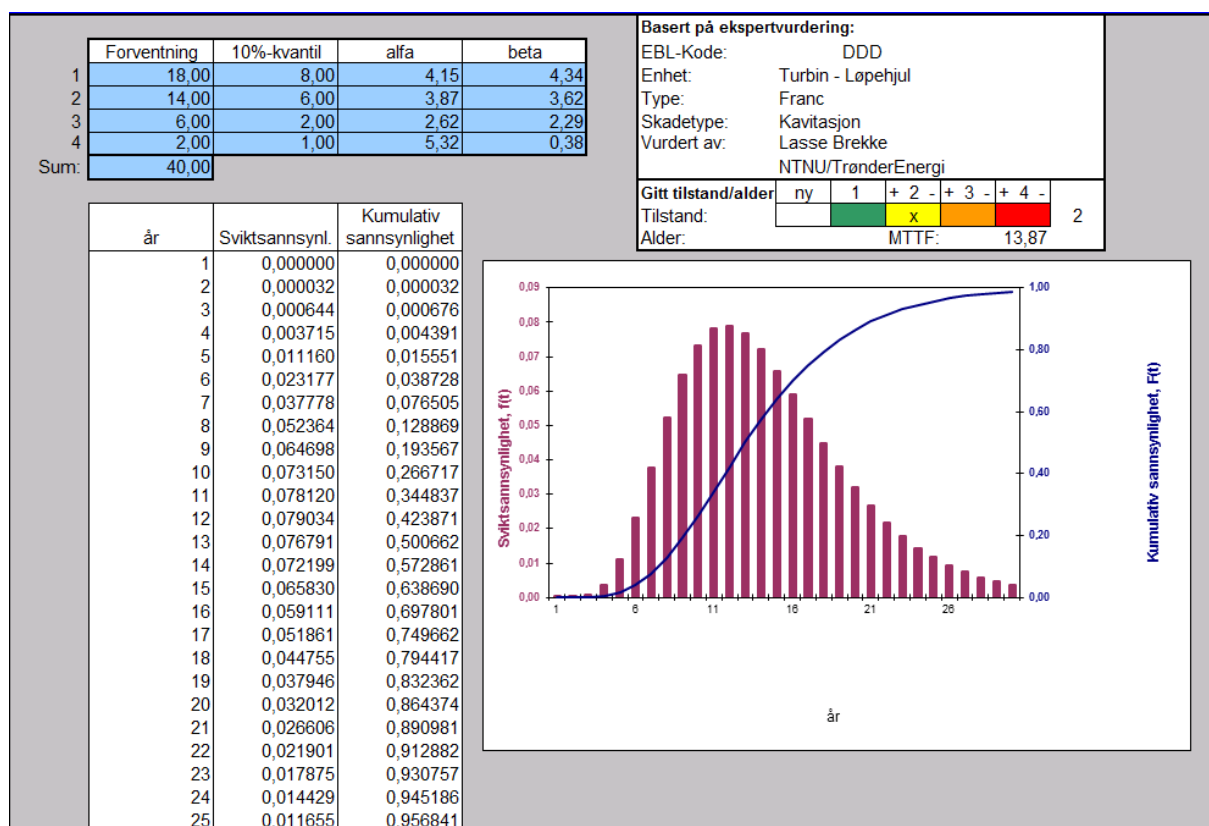
Det kan være hensiktsmessig å se nærmere på konsekvensene ved svikt og bruke tid på å reflektere over hvilke hendelser som er relevante og hvilke sannsynlighet det er for at hendelse(e) inntreffer. Dette kan gjøres ved å sette opp et hendelsestre som vist i Figur 9. Hendelsestreet begynner med en initierende hendelse og deles opp i ulike slutthendelser. Sannsynligheten for en slutthendelse finnes ved å multiplisere de betingede sannsynlighetene igjennom treet med sannsynligheten for den initierende sannsynligheten. Brukeren blir mer oppmerksom og reflektert over ulike hendelser som kan oppstå og hvilken sannsynlighet det er for at disse inntreffer.



Figur 9: Et eksempel på et hendelsestre for en oljekjøler på en transformator. [11]

4.5 Restlevetidberegninger

Ved å vurdere den tekniske tilstanden opp mot tilstandskriteriene utviklet for komponenter i vannkraftverk, kan restlevetidberegninger utføres i Excelverktøyet *Estimering sviktsannsynlighet*. Excel-modellen estimerer årlig- og kumulativ sannsynlighet for svikt der resultatene kan leses ut fra tabeller eller grafisk, se Figur 10.



Figur 10: Restlevetidsberegninger på skadetype kavitasjon for løpehjulet i Litjossen kraftverk.

Det finnes to metoder i Excelverktøyet for å beregne restlevetid; *ekspertvurdering* og *to punkttestimat*. Beregninger med bruk av metoden ekspertvurdering gjennomføres ved at det estimeres lengde (år) for levetiden av hver tilstandspersone T_1 - T_4 på skadetyper. Det estimeres også 10% kvantil. Kvantilen forteller noe om usikkerheten i parameterne brukt for de estimerte tidsperiodene. 10 % kvantilet for hver tidsperiode benyttet sier at det er 10 % sannsynlig at tidsperioden er kortere enn dette, se blå tabell i Figur 10.

Levetiden på skadetyper kan vurderes på egenhånd, men det foreligger også ekspertvurderinger på flere skadetyper vurdert av erfarne fagfolk og tidligere historikk.

Før Excelverktøyet beregner sviktsannsynlighetene må informasjon om tilstanden til skadetyper oppgis. Den tekniske tilstanden til skadetyper oppgis som et tall mellom 1-4, der 1 representerer nytilstand. Beregningsprogrammet tar også hensyn til god tilstand (+) og dårlig tilstand (-). Metoden ekspertvurdering er benyttet i analysen av lønnsomhetsberegningene i denne rapporten.

To punkttestimatet estimerer årlig sviktsannsynlighet ved at man i excelverktøyet oppgir forventet restlevetid på skadetyper og 10 prosent kvantil.

En restlevetidsberegning på skadetyper kavitasjon for løpehjulet i Litjossen kraftverk er vist i Figur 10. Den blå tabellen øverst til venstre viser tidsperiodene (ekspertvurderinger) for hver tilstandspersone og 10 prosent kvantil. Den tekniske tilstanden på skadetyper kavitasjon er vurdert til tilstandskarakter to i denne beregningen vist i rektangelet øverst til høyre. Tilstandskarakteren to er vurdert ut fra visuelle inspeksjoner og vibrasjonsrapporter fra Litjossen kraftverk. Resultatet av beregningene er vist med tall til venstre og som et stolpediagram til høyre. De røde søylene viser årlig sannsynlighet for svikt, mens den blå grafen viser kumulativ sviktsannsynlighet. Beregnet restlevetid på skadetyper er oppgitt ved siden av MTTF. I dette tilfellet er restlevetiden beregnet til 13,87 år.

4.6 Vedlikeholdskalkyle

Excelverktøyet *vedlikeholdskalkyle* er utviklet av SINTEF for lønnsomhetsberegninger av vedlikeholds- og rehabiliteringstiltak med utgangspunkt i skadetypenes sviktsannsynligheter. Programmet kan benyttes for å beregne lønnsomheten av å gjennomføre ulike tiltak nå. Verdiene blir omregnet til nåverdier, slik at de ulike tiltakene kan sammenlignes.

Programmet kan behandle alle relevante inntekter og kostnader knyttet til vedlikeholds- og rehabiliteringstiltak og er spesielt utviklet med mulighet for å beregne økonomisk nytteverdi av å redusere sviktsannsynligheter og tilhørende sviktkostnader [12]. Se Figur 11 for et bilde av Excelverktøyet *vedlikeholdskalkyle*.

Hvordan Excelverktøyet *vedlikeholdskalkyle* er designet og brukes er ikke beskrevet i denne rapporten, men rapporten *User's guide to optimal maintenance tool box – version 3* gir en beskrivelse og brukeropplæring av programmet. Den samme rapporten gir også en brukeropplæring i Excelverktøyet *Estimation failure probability* for beregning av sviktsannsynligheter på skadetyper.

Vedlikeholdskalkyle		Rutine er lagt inn for å eksportere øko											
(alle tall i 1000 kr)													
Tiltak:		Rehabilitering år 2, m/ nye endetetninger											
		Eksporter resultat...											
Inntekter	Nåverdi	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027
Økt virkningsgrad	2648	0	0	208	210	213	215	217	219	221	223	226	228
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet	-231	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unngår/utsetter fremtidige kostnader	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre inntekter	1789	0	0	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155
Sum	4207	0	0	364	366	368	370	372	374	377	379	381	383
Kostnader													
Rehabilitering eksisterende løpehjul	-6842	0	0	-6700	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilgj.het under tiltaket	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vedlikeholdsintroduserte feil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre kostnader	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	-6842	0	0	-6700	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultat	-2636	0	0	-6336	366	368	370	372	374	377	379	381	383
Akkumulert nåverdi		0	0	-5626	-5340	-5069	-4812	-4570	-4340	-4123	-3917	-3722	-3538
Kalkulasjonsrente	6,3 %												
Netto nåverdi pr budsjettkrone	-38,5 %												

Figur 11: Viser resultatarket av Excelverktøyet *vedlikeholdskalkyle*.

5 Teknisk teori

Kapitlet gir støtte til noen av faguttrykkene og testresultatene benyttet senere i rapporten.

5.1 Mekanisk- og hydraulisk balanse

Skader og slitasje på løpehjul og turbin vil forårsake endringer i strømningsretningene på vannet og være årsaken til økt vibrasjonsnivå. Ut fra karakteristikken (styrke, frekvens, lokalitet) på vibrasjonene kan det utføres en diagnostisering av komponentene med en ganske god nøyaktighet.

5.1.1 Turtallsfrekvens

Rotasjonsfrekvensen til et løpehjul, betegnet som *løpehjulsfrekvensen*, er definert som antall omdreininger løpehjulet roterer per sekund. Siden løpehjulet og rotoren vil ha den samme frekvensen og turtallet, blir løpehjulsfrekvensen også betegnet som *turtallsfrekvensen*. Løpehjulsfrekvensen er en av hovedsakelig fire forskjellige trykkpulsasjonsfrekvenser som kan skape høy amplitude. Benevnningen på de tre andre trykkpulsasjonene er løpeskovlfrekvensen, ledeskovlfrekvensen og sugerørsvirvelfrekvens. Disse er nærmere forklart i kommende delkapitler. [16]

Ved installasjon blir løpehjulet installert slik at løpehjulet er i mekanisk balanse og er symmetrisk rundt rotasjonsaksen. En skade på løpehjulet vil høyst sannsynlig medføre usymmetri og dermed mekanisk ubalanse. Dette vil kunne medføre trykkpulsasjoner med høy amplitude.

Løpehjulsfrekvens:

$$f_n = \frac{n}{60} \quad [Hz] \quad (5.1)$$

Der:

$$f_n = \text{løpehjulsfrekvensen} \quad [Hz]$$

$$n = \text{turtall} \quad [o/min]$$

5.1.2 Løpeskovlfrekvensen

Det dannes en impuls hver gang løpehjulsskovelene passerer ledeskovelene på ledeapparatet. Disse impulsene er årsaken til trykkpulsasjoner i turbinen kalt *løpeskovlfrekvensen* eller *produktfrekvensen*. Amplituden på trykkpulsasjonene påvirkes av avstanden mellom ledeapparatet og løpehjulet og vil derfor påvirkes etter hvilken åpning ledeapparatet har. Løpeskovlfrekvensen er mest dominerende i stabile driftsområder og skader på ledeapparatet vil forsterke trykkpulsasjonene. Høye trykkpulsasjoner i løpeskovlfrekvensen kan skape mye støy i turbinsystemet. Løpeskovlfrekvensen kan selv med relativt lave amplituder, forårsake alvorlige skader på turbin på grunn av et stort antall sykluser. [16]

Løpeskovlfrekvensen:

$$f_{l\emptyset} = f_n \times z_{l\emptyset} \quad [Hz] \quad (5.2)$$

Der:

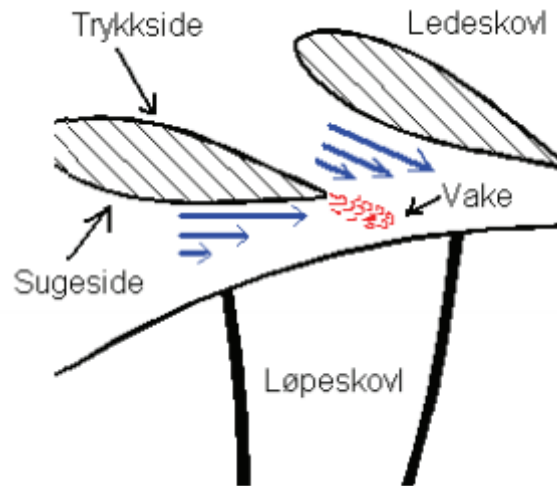
$$f_{l\emptyset} = \text{Løpeskovlfrekvensen} \quad [Hz]$$

$$f_n = \text{Løpehjulsfrekvens} \quad [Hz]$$

$$z_{l\emptyset} = \text{Antall løpeskovler} \quad [\text{Antall}]$$

5.1.3 Ledeskovlfrekvensen

Ledeskovlfrekvensen, også betegnet *bladpasseringsfrekvensen*, oppstår på grunn av inhomogene strømningsfelt i det vannet forflytter seg fra ledeskovlene til løpeskovlene. Ved vannstrømning gjennom ledeskovlene oppstår det trykkforskjeller på hver side av ledeskovlene som forårsaker det inhomogene strømningsfeltet. Det vil si at det oppstår trykk- og hastighetsgradienter i omdreiningshulrommet, betegnet *vake*. Se Figur 12. Hver gang en løpeskovl passerer en vake, oppstår det en trykkpuls. [17]



Figur 12: Trykkpulsasjoner på grunn av ledeskovlfrekvensen. [18]

Trykkpulsasjonene vil bli kraftigere hvis en eller flere løpeskovl(er) er skadet og frekvensen på trykkpulsasjonene vil være gitt av hastigheten den skadde løpeskovlen passerer ledeskovlene med. Slike skader er ikke uvanlig i kraftverk utsatt for mye sanderosjon eller betydelig kavitasjon. [16]

Ledeskovlfrekvensen:

$$f_{le} = f_n \times z_{le} \quad [Hz] \quad (5.3)$$

Der:

f_{le} = Ledeskovlfrekvensen [Hz]

f_n = Løpehjulsfrekvens [Hz]

z_{le} = Antall ledeskovler [Antall]

5.1.4 Sugerørsvirvelfrekvensen

Sugerørsvirvelfrekvensen blir også betegnet som *Rheingangsfrekvensen*. Dette er virvler i sugerøret som oppstår på grunn av mye spinn på vannet ut fra løpehjulet. Virvelen i sugerøret forårsaker en massesvingning som forplanter seg i videre i vannveien. Massesvingningene er også til stede oppstrøms, selv om svingningene er størst i sugerøret. Sugerørsvirvelfrekvensen er alltid til stede under drift, men er vanligvis mest dominerende under del- og overlast. Amplituden på trykkpulsasjonene er størst om trykket på vannet i sugerøret kommer under damptrykk. Resultatet vil være kavitasjon og dannelse av bobler i en virvellignende stråle under løpehjulet, se Figur 13. Amplitudene på trykkpulsasjonene kan bli ekstra høye om virvelstrålen treffer løpehjulets geometri. Sugerørsvirvelfrekvensen er normalt størst ved 50-70 % av bestpunkt på turbinen. [18] [16]



Figur 13: Sugerørsvirvel ved lav-, normal-, høy dellast og fullast. [18]

Sugerørsvirvelfrekvensen ligger normalt innenfor følgende frekvensområde:

Sugerørsvirvelfrekvensen:

$$\frac{f_n}{3,6} < f_r < \frac{f_n}{3} \quad [Hz] \quad (5.4)$$

Der:

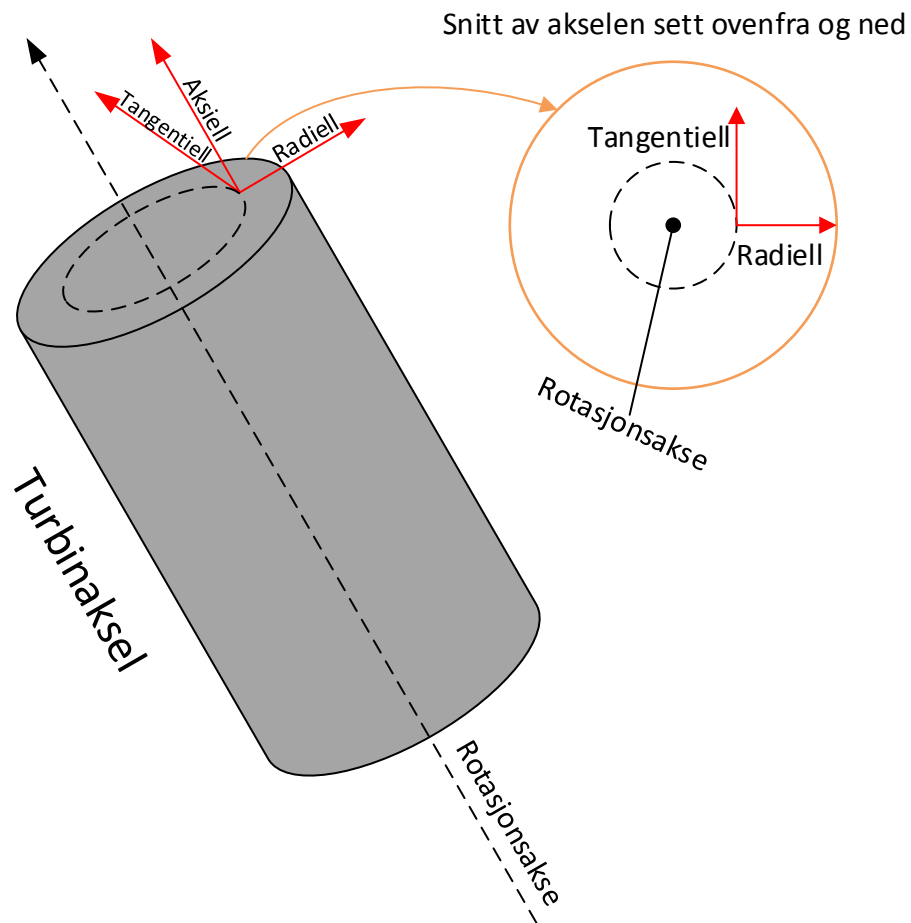
$f_n = \text{Løpehjulsfrekvens}$ [Hz]

$f_r = \text{Sugerørsvirvelfrekvens}$ [Hz]

5.2 Aksiell, radiell og tangentiell retning

Ordlydene aksiell, radiell og tangentiell benyttes for å orientere om hvilken retning i rommet det er snakk om. En illustrasjon viser orienteringen til de overnevnte retningene i Figur 14. Illustrasjonen viser turbinakselen ut fra løpehjulet i tre dimensjoner.

Aksiell retning ligger i parallell med retningen på akselen. Radiell- og tangentiell retning ligger 90 grader på rotasjonsaksen og den aksielle retning. Illustrasjonen til høyre (snitt av aksel) viser orienteringen til radiell og tangentiell retning. Den aksielle retningen i denne illustrasjonen går rett opp og ut av bildet.



Figur 14: Orientering av retningene til de ulike aksebegrepene.

5.3 Olje- og gassanalyse transformatorer

Olje- og gassanalyser av transformatorer er to målemetoder som benyttes for å kontrollere og avdekke den tekniske tilstanden til transformatoren. Denne diagnostiseringen av transformatoren er både pålitelig og billig. Olje- og gassprøver sendes inn til laboratorier hvor disse analyseres.

En spesifikk mengde olje for gassanalyse sendes inn i gasstette glass. I laboratoriet blir gassene fra oljeprøven vakuumekstrahert før det gjennomføres en kromatografi av gassene. Ved å bruke denne metoden kan sammensetningen av gassene indentifiseres og kvantifiseres. En ganske nøyaktig diagnostisering av den tekniske tilstanden til transformatoren kan finnes ut fra sammensetningen av forskjellige gasser og endringen av disse gassene over tid. Gassanalyser gjennomføres ofte med 1-års intervall på litt eldre betydningsfulle transformatorer. [19]

Testing av oljeprøver gjennomføres typisk med 3-års intervall. Oljen fra transformatoren tappes på en liters aluminiumsflaske og sendes inn til laboratoriet for testing. Oljen blir tappet fra aluminiumsflasken og benyttet til flere typer tester. De ulike testene som gjennomføres er forklart i Tabell 3. [3]

Tabell 3: Ulike tester ved analyse av transformatorolje. [20] [21]

Tester for oljeanalyse hovedtransformator	
Gjennomslagsspenning [kV]	Viktig indikator for å avgjøre om oljen er egnet som elektrisk isolasjonsmateriale. Er målt som gjennomslagsspenning i et 2,5 mm gap mellom to halvkuler. Høyere verdi indikerer bedre tilstand.
Høyt vanninnhold [mg/kg]	Medfører rask nedbryting av papirisolasjon og kan indikere høy aldringstakt. Ved å måle vanninnholdet i oljen, kan man estimere vanninnholdet i papirisolasjonen (cellulosekjede).
Nøytralisasjonsverdi [mg KOH/g]	Høy nøytraliseringsverdi (syretall) vil påvirke papirets mekaniske egenskaper ved at cellulosefibre depolymeriseres. Fører til, i likhet med høyt vanninnhold, høy aldringstakt. En lav verdi under 0,06 er tilfredsstillende.
Dielektrisk tapsfaktor	En målemetode for de dielektriske tapene i oljen. Brukes til å fastslå om oljen er forurenset. Er særlig egnet til å fastslå nedbrytning av faste materialer.
Utseende [0 lys – 8 mørk]	Indikerer om oljen er forurenset med vann, uoppløselige sedimenter, kull eller fibre. En lys olje hentyder at oljen er lite forurenset med fremmedpartikler.
Farge [0 lys – 8 mørk]	Kan gi nyttig informasjon ved vurdering av oljens tilstand. En lys olje hentyder at oljen er lite forurenset med fremmedpartikler.
Grenseflatespenning [mN/m]	En målemetode for å bedømme kvaliteten på oljen. Høyere grenseflatespenning indikerer bedre oljekvalitet.
Inhibitorinnhold [%]	Tilsettes for å redusere aldringstakten. Inhibitoren hindrer oksidasjon av oljen. Den forbrukes over tid og oljen vil anta en mørk farge. Ny inhibitor kan tilsettes hvis nivået blir for lavt.

6 Tilstandsbeskrivelse

Hensikten med dette kapitlet er å gi en tilstandsbeskrivelse av hovedkomponentene. Tilstanden til komponentene er beskrevet ut ifra tilstandsrapporter gjennomført av Norconsult, TrønderEnergi og ABB. Tilstandsrapportene består av vibrasjonsmålinger, visuelle kontroller, gass- og oljeanalyser og andre mer spesifikke rapporter. Det er i tillegg gjennomført en befaring av kraftstasjonen den 11. mars 2015 sammen med Kjetil Stene fra TrønderEnergi. Befaringen ble dokumentert med bilder, notater, samt video- og lydopptak av hele befaringen gjennom et actionkamera. Noe av innholdet i dette kapitlet er hentet fra rapporten *Teknisk-økonomisk analyse av reinvesteringsbehov i vannkraftverk* [3].

Dam, demning og utstyr knyttet til Innerdalsmagasinet er utelatt i denne rapporten.

6.1 Dokumentbeskrivelse

For å bedre forståelsen for hvordan tilstandsvurderingene fra Norconsult, TrønderEnergi og ABB er utført, vil en beskrivelse av hvordan tilstandsvurderingene er utarbeidet og hvilke tilstandssystem som ligger til grunn for vurderingene, bli forklart i dette delkapitlet.

6.1.1 Norconsult

Norconsult har utført vibrasjonsmålinger på aggregatet i Litjfossen kraftverk i 2001 [20], 2007 [21] og 2012 [22]. I tillegg har de i 2004 utarbeidet en rapport med navn *Turbinvirkningsgradsmåling* [23] der hensikten var å finne ut om effektiviteten på turbinen var redusert på grunn av slitasje. De har også nylig (2014) utarbeidet en rapport med navn: *Oppgraderingsmulighet med nye løpehjul* [24], som ser på mulighetene for å øke løpehjulets kapasitet.

Norconsult bruker et karaktersystem med karakterene 1-4 ved tilstandsvurdering av komponenter og egenskaper. Karaktersystemet ligner på karaktersystemet brukt i Energi Norges tilstandskontrollhåndbøker. Hver komponent eller egenskap som blir undersøkt i tilstandsvurderingen fordeles en tilstandskarakter som skal reflektere tilstanden til komponenten eller egenskapen. Forskjellen på karaktersystemet til tilstandskontrollhåndbøkene og karaktersystemet til Norconsult, er at Norconsult har valgt å være mer tiltaksrettet i sin beskrivelse av karakterene. Der tilstandskontrollhåndbøkene karakterer direkte rett mot tilstanden på komponentene, er Norconsults karaktersystem rettet mot hva som bør gjøres av tiltak. Med en slik tilnærming vil Norconsult være mer direkte mot oppdragsgiver om hva som bør iverksettes av tiltak for å opprettholde ønsket drift. En beskrivelse av tilstandskriteriene er gitt i Tabell 4.

Tabell 4: Norconsults tilstandskriterier.

Karakter	Betydning
1	Ingen anmerkninger.
2	Avvik fra ny tilstand, men ingen tiltak påkrevet.
3	Planlegge tiltak.
4	Tiltak utføres før videre drift.

Tilstandsrapportene til Norconsult dokumenterer vibrasjonsmålinger for hele lastområdet på aggregatet, fra tomgangskjøring til fullastkøring. Resultatene fra målingene er vurdert i forhold til tidligere erfaringer på over 250 forskjellige vannkraftverk. I begynnelsen på rapportene gis det en kort oppsummering av tiltak som bør gjennomføres, tilstandskarakterer på turbin, generator og akselstreng, samt en kort beskrivelse av tilstanden på komponentene. Videre i rapportene er

grunnlaget for oppsummeringen dokumentert i form av figurer og tabeller med de aktuelle måleresultatene.

6.1.2 TrønderEnergi

TrønderEnergi har utført to visuelle inspeksjoner av turbinsystemet og sugerøret i 2011 og 2013. For de visuelle inspeksjonene er det brukt et tilstandskontrollskjema for Francisturbiner hentet fra Energi Norges tilstandskontrollhåndbøker. Dokumentene er utformet med plass for bilde av komponentene, en kolonne for kommentarer og merknader, og en kolonne for tilstandskarakterer av komponentene. Karakterskalaen strekker seg fra 1 til 6, der 6 indikerer at tilstanden er som nytilstand. Karakterkriteriene er ikke utover det beskrevet i ytterligere detalj, men det antas at karakteren 1 betyr feil på komponenten, eller at tilstanden er så kritisk at sannsynligheten for svikt på komponenten innen kort tid er høy. Begge rapportene er utført av Oddvar Bjerkås. I 2011 var også Viggo Pedersen med.

6.1.3 ABB

ABB har utført gass- og oljeanalyser på transformatoroljen for krafttransformator T1 i Litjefossen kraftverk. De har også utført en visuell tilstandskontroll på krafttransformatoren i 2008. Gass- og oljeanalysene blir innsendt til ABB sitt laboratoriet der spesialister på dette fagområdet analyserer oljen. Analysene gir en oversikt over oljekvaliteten der de ulike verdiene av forurensing i oljen blir oppgitt i tabeller. Ut ifra målerverdiene kan ABB gi en indikering på hvordan tilstanden til transformatoren er. Rapportene blir levert med et bilde av et trafikklys. Lysene på trafikklyset skal indikere tilstanden på transformatoren, der grønt lys betyr at tilstanden er god. Gult lys betyr at tiltak bør iverksettes og rødt lys betyr at tiltak må iverksettes for å kunne opprettholde langvarig drift av transformatoren.

6.2 Vannvei

Vannveien består av en øvre- og en nedre vannvei. Den øvre vannveien representerer vannveien før trykksjakten, mens nedre vannvei representerer vannveien etter trykksjakten. Det foreligger ingen tilstandsbeskrivelse av utstyret i øvre vannvei. I nedre vannvei ble det gjennomført visuell inspeksjon av TrønderEnergi i 2011 og 2013

Felles for komponentene i nedre vannvei er at det må gjennomføres visuell inspeksjon av tilstanden på overflatebehandlingen og vurdere om det kreves tiltak for å kunne opprettholde en godkjent kvalitet på overflatebehandlingen i en lenger tidsperiode etter utbedringene. Ett av målene for en reinvestering er å utbedre tilstanden på komponentene slik at komponentene samlet sett får en utvidet levetid uten behov for ny rehabilitering og/eller reinvestering innen en viss tidsperiode. Et eksempel på denne tidsperioden kan være at mekanisk oppgradering forventes å vare i 20 år før nytt vedlikehold eller nye reinvesteringer er nødvendig. Det kan være økonomisk hensiktsmessig å gjennomføre overflatebehandling på komponentene under den samme rehabiliteringsperioden. Allikevel, om komponentene har en god overflatebehandling som vurderes til å kunne tåle påkjenningene og vare ut den samme tidsperioden, er det ingen grunn i å gjennomføre ny overflatebehandling. Det bør derfor fullføres en visuell inspeksjon tett opptil rehabiliteringstidspunktet for en vurdering om det skal gjennomføres tiltak eller ikke.

6.2.1 Øvre vannvei

Øvre vannvei er en råsprengt tunnel på ca. 7,5 km, derav de første 5,5 km er tilløpstunnel og de siste 1,935 km er trykktunnel. Den øvre vannveien består av en inntaksluke, øvre tverrslagsport, grovwaregrind, nedre tverrslagsport, sandfang og finvaregrind. Se Figur 3.

Ved inspeksjon i vannveien må inntaksluken ved Innerdalsmagasinet lukkes for å stenge vanntilførselen i vannveien. Dette gjøres når det er tid for å tømme sandfanget for sand. Det foreligger

ingen tilstandsvurdering av utstyret i den øvre vannveien. Ved neste tømning bør det gjennomføres en visuell inspeksjon av fin- og grovwaregrind. I tillegg bør inntaksluken kontrolleres. Dette er det eneste stengeorganet Litjfossen kraftverk har i den øvre del av vannveien. Samtidig bør tilstanden på overflatebehandlingen i trykksjakten kontrolleres og se om det bør gjøres tiltak for å forbedre tilstanden. Trykksjakten i Litjfossen kraftverk er en stålforet 72 m lang sjakt med en indre diameter på 2,5 m.

6.2.2 Kuleventil

Kuleventilen er kraftstasjonens eneste stengeorgan som kan stenge vanntilførselen ved fullt pådrag i turbinen innen kort tid. Ventilen blir kalt kuleventil siden stengeorganet inne i ventilen ligner en kule. Dette er en kule som er gjennomboret slik at den slipper igjennom vann når ventilen er åpen med relativt små falltap. Når ventilen lukkes, vrir den gjennomborete kulen seg 90 grader og stenger dermed rundt hele omkretsen på ventilen. Ventilen blir styrt av et ventilstyresystem basert på oljetrykk. Det er også installert en egen separat nødstyring av ventilen for nødsituasjoner.

Kuleventilen er av opprinnelig årgang og har vært i drift siden 1982. Kuleventilen ble visuelt inspisert i 2013 og ble vurdert til tilstandskarakter 4 (Tabell 5). Et bilde av kuleventilen er vist i Figur 15.



Figur 15: Kuleventil avbildet i turbinkjelleren.

Det ble inspisert at kuleventilen ikke hadde noen lekkasjer rundt omkretsen på selve ventilen. Overflatebehandlingen på innsiden av kuleventilen var tilfredsstillende. Det er nylig installert avfukter i turbinkjelleren som hjelper til å holde luftfuktigheten nede. Tidligere dannet det seg kondens på utstyret i vannveien, men dette er mer eller mindre borte etter installasjonen av avfukter. Det er observert store korrosjonskader på utsiden av tømmeventil for trykksjakt og ventil for injektor. Dette kan høyst sannsynlig sees i sammenheng med den tidligere høye luftfuktigheten som har gjort ventilene mer utsatt for korrosjonsangrep. Det er innkjøpt ny tømmeventil for trykksjakt og ny ventil for injektor og disse vil bli skiftet i løpet av den kommende tiden (Figur 16). I tillegg er det innkjøpt flere mindre ventiler som planlegges skiftet.



Figur 16: Ventil for injektor til venstre og tømmeventil trykksjakt til høyre.

Tabell 5: Tilstandskarakter kuleventil.

Tilstandskarakter visuell inspeksjon 2013	
Anleggsdel:	Karakter [1-6]
Kuleventil	4

6.2.3 Turbinspiral

Turbinspiralen er den spiralen som omkretser løpehjulet. Turbinspiralen ligner et sneglehus i utformingen og blir ofte bare kalt *sneglehus*. Turbinspiralens oppgave er å fordele vannet på en best mulig måte rundt omkretsen av løpehjulet [25].

Tilstanden til turbinspiralen var tilfredsstillende under den visuelle inspeksjonen i 2013. Malingsoverflatene var i god teknisk tilstand. Ringventilen var angrepet av korrosjon og manglet en bolt. Ringventilen blir byttet fortløpende. Turbinspiralen ble tildelt tilstandskarakter fire under den visuelle inspeksjonen i 2013, se Tabell 6.

Det bør ved en lengre produksjonsstans vurderes om det forsvarlig å sandblåse og tilføye ny overflatebehandling i turbinspiralen. Dette vil avhenge av tilstanden til overflatebehandlingen når rehabiliteringen finner sted. Ønsket med en rehabilitering vil være å sørge for at komponentene vil opprettholde god teknisk tilstand i en lenger tidsperiode uten nye avbrudd for vedlikehold.

Tabell 6: Tilstandskarakter turbinspiral.

Tilstandskarakter visuell inspeksjon 2013	
Anleggsdel:	Karakter [1-6]
Turbinspiral	4

6.2.4 Sugerør

Sugerørets funksjon er, foruten å lede vannet fra løpehjulet og ut til avløpet, å gjenvinne hastighetsenergien ved løpehjulsavløpet [25]. Et godt designet sugerør er meget viktig for turbinvirkningsgraden, spesielt på lavtrykksturbiner. For inspeksjon av sugerøret benyttes en sugerørsluke i enden av sugerøret som kan stenge igjen avløpet.

Det ble under vibrasjonsrapporten utarbeidet av Norconsult i 2012 registrert antydninger til kavitasjon under fullastkjøring. Dette kan skade sugerøret og sugerørskonusen. Det ble allikevel ikke registrert

kavitasjonsskader på sugerøret eller sugerørskonusen under den visuelle inspeksjonen i 2013. Rapporten meldte om ingen synlige mangler og at malingsoverflatene var meget bra. Sugerøret ble tildelt tilstandskarakter fem, se Tabell 7. Det bør vurderes før en rehabilitering om det er forsvarlig å såndblåse og legge ny overflatebehandling. Dette vil avhenge av hvordan tilstanden til malingsoverflatene er ved rehabiliteringstidspunktet.

Tabell 7: Tilstandskarakter sugerør.

Tilstandskarakter visuell inspeksjon 2013	
Anleggsdel:	Karakter [1-6]
Sugerør	5

6.3 Turbin

6.3.1 Staging og stagsøyler

Stagingen og stagsøylene sin oppgave er å overføre vannet fra spiraltrommen til ledeskovlene på en slik måte at de hydrauliske tapene blir lavest mulig.

Stagingen og stagsøylene ble inspisert i 2013 av Oddvar Bjerkås. Tilstanden til stagingen og stagsøylene var tilfredsstillende, men det var noen partier med malingsslitasje. Staging og stagsøylene ble tildelt tilstandskarakter fem, se Tabell 8. Det vil være forsvarlig å sandblåse og tilføye ny maling på stagingen og stagsøylene ved neste rehabiliteringsperiode. Om det skulle være noen skader på stagsøylene utbedres disse ved sveising før overflatebehandling. Bilde av staging og stagsøyler er vist til venstre i Figur 17.

Tabell 8: Tilstandskarakter staging og stagsøyler.

Tilstandskarakter visuell inspeksjon 2013	
Anleggsdel:	Karakter [1-6]
Staging og stagsøyler	5

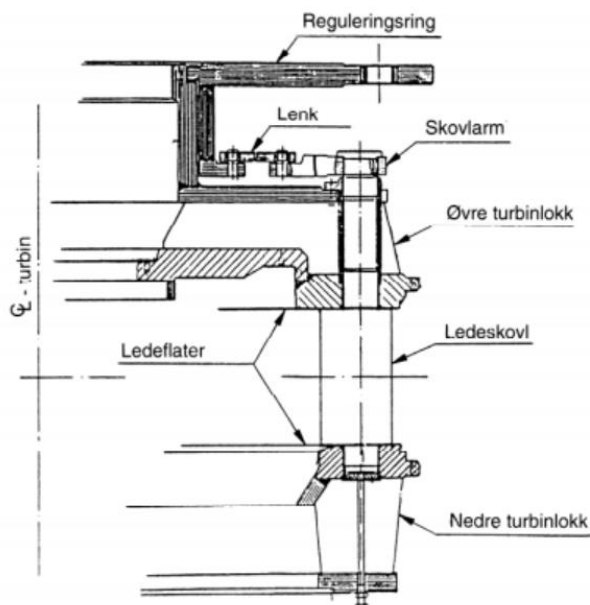


Figur 17: Staging og stagsøyler i bildet til venstre og ledeskovel med rivning i bildet til høyre.

6.3.2 Lededapparat

Lededapparatet er sammensatt av øvre- og nedre turbinlokk, ledeflater og -skovler, skovlarmer og lenker. Oppgaven til lededapparatet er å få vanngjennomstrømningen så jevn som mulig, både i

hastighet og retning. I tillegg fungerer ledeapparatet som en vannføringsregulator, noe som betyr at den kan effektregulere turbinen ved å justere posisjonen på ledeskovlene. Justeringen og posisjonen på ledeskovlene blir styrt av en reguleringsring, som via lenkene og skovlarmene, justerer ledeskovlene. Reguleringsringen er styrt av en hovedservo. Se Figur 18 for et snitt av oppbygningen av ledeapparatet. [25]



Figur 18: Snitt av et ledeapparat [25].

Den generelle tilstanden til ledeapparatet var under den visuelle inspeksjonen i 2013 tilfredsstillende, men det ble registrert rivninger på noen av ledeskovlene mot nedre lokk, se Figur 17 for et bilde av en ledeskovl med rivning tatt under den visuelle inspeksjon i 2011. På ledeskovlene mot øvre lokk var tilstanden tilfredsstillende. Det må vurderes om eksisterende ledeskovler skal rehabiliteres eller byttes med nye. Det er også mulig å frese inn spor til endetetninger på eksisterende ledeskovler.

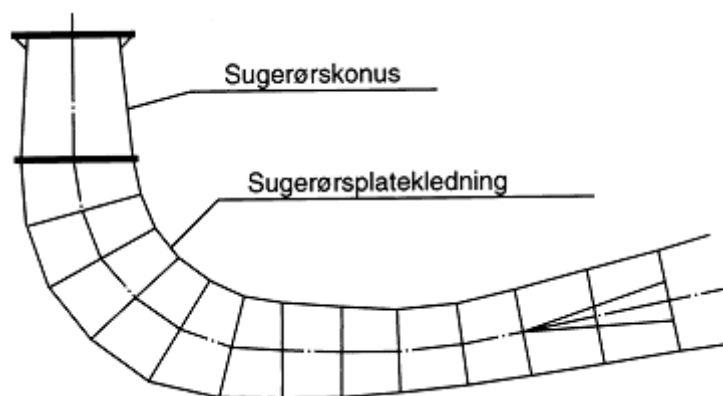
Ledeapparatet ble tildelt tilstandskarakter fem i 2013, se Tabell 9.

Tabell 9: Tilstandskarakter ledeapparat.

Tilstandskarakter visuell inspeksjon 2013	
Anleggsdel:	Karakter [1-6]
Ledeapparat	5

6.3.3 Sugerørskonus

Sugerørskonusen er normalt bygd opp av to deler, en øvre og en nedre konus. I de kraftverk man demonterer løpehjulet nedover vil sugerørskonusen alltid bestå av to deler. Dette gjelder også for Litjfossen kraftverk. Nedre konus er utført som et demonteringstykke og er skrudd fast med flensen til sugerørsplatekledningen, se Figur 19. Øvre konus er designet med to mannlokk for inspeksjon av undersiden av løpehjulet. Ved neste visuelle inspeksjon bør øvre konus sjekkes for kavitasjonsskader på anbefaling av Norconsult. Ved en rehabilitering eller reinvestering av løpehjulet bør sugerørskonusen gjennomgå sandblåsing og ny overflatebehandling før det monteres tilbake.



Figur 19: Illustrasjon av sugerør på en Francisturbin. [25]

6.3.4 Løpehjul

Løpehjulet er den komponenten i et vannkraftverk som omdanner bevegelsesenergien i en vannstrøm om til mekanisk effekt i form av rotasjonsenergi. Dette skjer ved at vann lagret som stillingsenergi blir frigitt og akselererer ned mot løpehjulet på grunn av jordas tyngdekraft. Vannstrømmen treffer løpeskivene og energien omdannes fra bevegelsesenergi til rotasjonsenergi. Rotasjonsenergien blir videre brukt i en generator for produksjon av strøm.

Løpehjulet i Litjefossen kraftverk er en del av et vertikalt Francis-aggregat med en konstruksjonseffekt på 75 MW installert av Kværner. Løpehjulet har vært i drift siden 1982.

Tilstanden til løpehjulet har blitt kontrollert gjennom vibrasjonsrapporter og visuelle inspeksjoner av henholdsvis Norconsult og TrønderEnergi. Norconsult har gjennomført tre vibrasjonsrapporter årene 2001, 2007 og 2012 og TrønderEnergi har gjennomført to visuelle inspeksjoner årene 2011 og 2013. En oppsummering av tilstandskarakterene fra vibrasjonsrapportene utført av Norconsult på løpehjulet er oppgitt i Tabell 10.

Tabell 10: Oppsummering av tilstandskarakterene gitt på løpehjulet av Norconsult

Oppsummering tilstandsvurdering - Turbin			
Komponent/egenskap	Karakter 8. mars 2001	Karakter 19. mars 2007	Karakter 12. desember 2012
Mekanisk balansering	1	1	1
Hydraulisk balansering/skjevtrekk	-	-	2
Løpehjul/ledeskovler	1	1	2

Mekanisk balansering:

Den mekaniske balanseringen har vært god ved alle vibrasjonsmålingene. Det rapporteres om lavt akselkast og lave lagerhusvibrasjoner ved turtallsfrekvensen. Dette indikerer god mekanisk balansering.

Hydraulisk balansering/skjevtrekk:

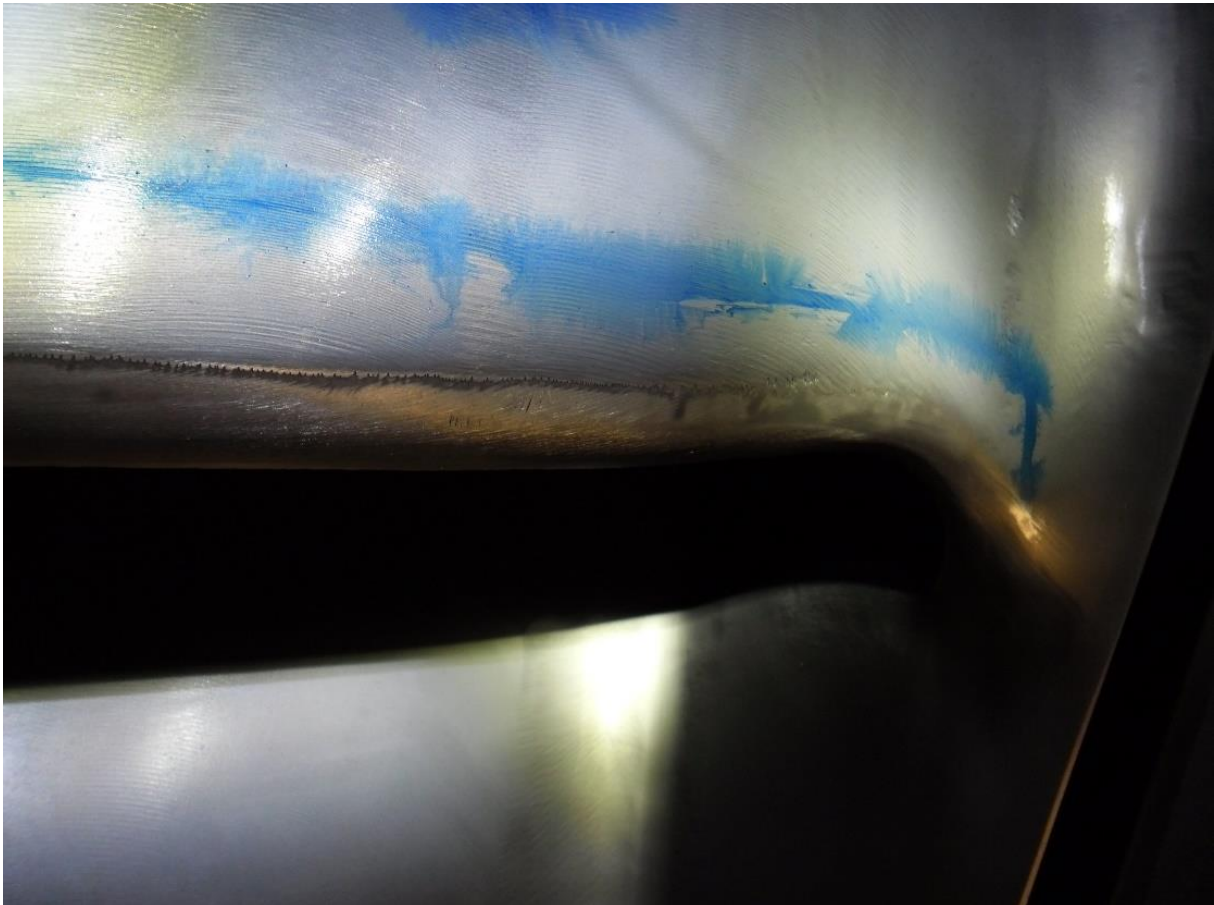
Vibrasjonsnivået ved turtallsfrekvensen er høyt ved høye laster både radielt og tangentielt, men er omtrent uendret siden måleresultatene i 2007. Dette indikerer en dårlig hydraulisk balanseringen av løpehjulet. Dette er allikevel karakteristisk for løpehjul med upresist utlegg av skivene, og lar seg ikke korrigere.

Løpehjul/ledeskovler:

Måleresultatene fra vibrasjonsmålingene i 2001 og 2007 viser at tilstanden var god. *Bladpasseringsfrekvensen* indikerte at vibrasjonene ved både ledeskovl og løpehjulskovl var lave og at tilstanden var god. Tilstanden til lede- og løpehjulskovler var også god i år 2012, men målingene indikerte at det oppsto kavitasjon ved fullast. Rapporten konkluderte med at det kan oppstå kavitasjonskader dersom aggregatet blir kjørt mye på fullast. Antydningene til kavitasjon er grunnen til endring av tilstandskarakter for løpehjul/ledeskovler mellom årene 2007 og 2012.

Visuell inspeksjon:

De visuelle inspeksjonene utført av TrønderEnergi konkluderte med at slitasjen på løpehjulet hadde utviklet seg imellom 2011 og 2013. Figur 20 viser tilstanden til en løpehjulsskovl under den visuelle inspeksjonen i 2011. I 2011 hadde løpehjulet små kavitasjonsskader som vises som den synlige langsgående kanten som ser ut til å miste feste med løpehjulsskovelen. Oddvar Bjerkås ved TrønderEnergi rapporterte om merkbart større slitasje på løpehjulet i 2013 i forhold til tilstanden på løpehjulet i 2011. Det bør derfor antas at slitasjeskadene på løpehjulet har utviklet seg siden forrige visuelle inspeksjon (2013) og at dagens tilstand på løpehjulet er noe dårligere.



Figur 20: Bilde av en ledeskovl med små kavitasjonsskader.

Tilstanden på løpehjulet har vært ganske stabil siden den første vibrasjonsrapporten fra Norconsult i 2001. Allikevel må man medregne at løpehjulet har hatt en degradering under denne tidsperioden. Det er blitt indikert kavitasjon under fullastkjøring og løpehjulet hadde små kavitasjonskader i 2011. Det må antas at kavitasjonsskadene har utviklet seg noe siden 2011. Skadeutviklingen for kavitasjon

akselerer vanligvis etter at groptæringer i metallet oppstår. Som et forebyggende tiltak bør kavitasjonskader utbedres før groptæringer oppstår. [13] [14]

En samlet vurdering av tilstanden til skadetyperne på løpehjulet der Norconsults vibrasjonsrapporter og TrønderEnergis visuelle inspeksjoner ble benyttet som grunnlag, ble gjennomført i rapporten *Teknisk-økonomisk analyse av reinvesteringsbehov i vannkraftverk* [3] høsten 2014. I tillegg var Ole Gunnar Dahlhaug ved vannkraftslaboratoriet NTNU behjelpelig med sine vurderinger av tilstanden på skadetyperne. Tabell 11 utgjør resultatet basert på egne vurderinger med de overnevnte rapporter og synspunkter til grunnlag.

Tabell 11: Tilstand på skadetyperne til løpehjulet i Litjossen kraftverk.

Tilstandskarakterer skadetyper Francis løpehjul				
Skadetyper		Tilstands-karakter	Kriteriet for karakteren	Kommentar
S1	Hamring	2	Mindre partier av skovlene har en matt overflate.	Registrert større slitasje på den del av ledeskovl som vender inn mot løpehjulet. Det kan tyde på at det oppstår noe hamring.
S2	Kavitasjon	2-	Mindre partier av skovlene har en matt overflate.	Løpehjulet har synlige kavitasjonsskader. Norconsult har også registrert antydninger til kavitasjon ved fullastkjøring.
S3	Korrosjon	2	Noen tegn til korrosjon.	Små partier med antydninger til korrosjon.
S4	Sanderosjon	2	Mindre partier av skovlene har en matt overflate.	Partier på ledeskovlene har en matt overflate.
S5	Utmatting/Sprekker	2	Tegn til sprekk-indikasjoner.	Ingen tegn til sprekkdannelse på overflatene, men forventet degradering gitt enhetens alder antas.

6.3.5 Turbinregulator

Turbinregulatorens oppgave er holde turtallet på generatoren konstant, slik at også frekvensen holdes konstant. Lasten på generator er i konstant endring og turbinregulatoren registrer dette. Turbinregulatoren regulerer åpningen på ledeskovlene via en servo og justerer dermed vannstrømningen til løpehjulet. Ved kontinuerlig overvåking av lastpådrag, kan turbinregulatoren regulere ledeskovlene slik at turtallet på rotor, og dermed frekvensen, holder seg konstant.

Turbinregulatoren ble utskiftet med en nyere type i 2001 med navn HPC 650. Turbinregulatoren fungerer tilfredsstillende og det foreligger ingen planer om utskifting av denne.

6.3.6 Ventilstyring

Ventilstyrings oppgave er å åpne og stenge kuleventilen. Ventilstyringen er tilkoblet oljetrykksanlegget og består av en hovedstyring og en nødstyring. Systemet er tilkoblet automatikk, men kan også styres manuelt.

Ventilstyringen er av opprinnelig årgang og er oppbygd med en hovedstyring og en nødstyring. Systemet er gammelt og er skreddersydd for anlegget. Dette gjør det vanskeligere å oppdrive reservedeler, samtidig som kompetansen på lavtrykksanlegg og styrepulter er utgående. Ventilstyringen fungerer i dag tilfredsstillende, men bærer preg av å ha vært i drift siden oppstarten. Rørføringene er utført i rustfritt stål, men skjøtene av rørene er av ikke rustfritt materiale og noen av skjøtene bærer preg av korrosjonsangrep. Tilstanden på innsiden av rørføringene er usikker og dårlige skjøter kan føre til avleiringer på innsiden av rørene som igjen kan medføre at rørene tetter seg. Et resultat av gjentetninger i rørene kan være at kuleventilen bruker lenger tid på åpning og lukking.



Figur 21: Ventilstyrepult til venstre og rørføring ventilstyring til høyre.

Ventilstyringen bør byttes ut ved en reinvestering på turbinkomponenter. En svikt på ventilstyringen medfører et driftsproblem og kan ha konsekvenser for Helse, miljø og sikkerhet. Om en svikt/feil inntreffer på både hovedstyring og nødstyring samtidig, kan en av konsekvensene være at kuleventilen ikke stenger. Dette er en meget alvorlig feil. Kuleventilen er det eneste stengeorganet i vannveien som kan stenge av vanntilførselen under drift innen veldig kort tid. Det å ikke få stengt ned kraftverket ved alvorlige feilsituasjoner kan få store konsekvenser for HMS, avhengig av hvilke feilsituasjoner som oppstår. En feilsituasjon kan for eksempel være urovekkende vibrasjonsnivåer fra generator, som kan få store følgekonskvenser om ikke kraftstasjonen stenges ned umiddelbart.

Et nytt høytrykks oljeanlegg gir standardiserte industrikomponenter og et mye høyere kompetansenivå eksternt. Dette vil redusere vedlikeholdskostnadene og utetiden ved eventuelle feil.

6.4 Akselstreng og lager

Akselstrengens oppgave er å overføre rotasjonsenergien dannet av løpehjulet over til rotoren i generatoren. I generatoren omdannes den mekaniske rotasjonsenergien om til elektrisk energi.

Lagrene, sammen med øvre- og nedre kryss har til oppgave å holde akselstrengen, rotor og løpehjul på plass. Det er viktig at de roterende delene holdes på plass slik at de roterer rundt senterlinjen. Små avvik ut fra senterlinjen kan gi store utslag i vibrasjoner, som igjen vil gi mer slitasje på komponentene. Store avvik kan forårsake større konsekvenser.

Tilstanden til akselstreng og lager har blitt kontrollert gjennom vibrasjonsrapporter av Norconsult i årene 2001, 2007 og 2012. En oppsummering av tilstandskarakterene gitt i vibrasjonsrapportene er oppgitt i Tabell 12.

Tabell 12: Oppsummering av tilstandsrapportene for akselstreng og lager utført av Norconsult.

Oppsummering tilstandsvurderinger - Akselstreng og lager			
Komponent/egenskap	Karakter 8. mars 2001	Karakter 19. mars 2007	Karakter 12. desember 2012
Akseloppretting	-	1	1
Lageroppretting	3	2	3
Innfesting av lagre	1	1	1
Bærelager	1	2	2
Øvre styrelager generator	2	2	3
Nedre styrelager generator	2	2	3
Turbinlager	2	1	2

En oppsummering av de viktigste hendelsene av tilstanden til akselstreng og lager er beskrevet under:

Akseloppretting:

Rettheten på akselstrengen ble ikke målt under kontrollen 8. mars 2001 på grunn av forflytninger i lagrene som gjorde det vanskelig å måle rettheten på akselen. Akselopprettingen i 2007 og 2012 viser gode resultater. Avviket mellom øvre generatorlager og turbinlager var på ca. 31 μm både i 2007 og i 2012.

Lageroppretting:

Vibrasjonsmålingene i 2001 rapporterte om forflytninger på styrelagrene, noe som medførte at akselen ble bøyd ut ca. 0,14 mm under drift. Forflytningene er mest sannsynlig forårsaket av setninger i fjellet. Det ble i 2002 utført lageroppretting for å forbedre problemene. Måleresultatene fra vibrasjonsrapporten i 2007 viser samme måleresultater som verdiene etter lageropprettingen i 2002. Dette var et avvik på 40 μm relativt til en rett linje mellom lagrene ved ca. 60 o/min. Måleresultatene fra 2012 har over fordoblet seg, og indikerte et avvik på 91 μm . Det ble utdelt tilstandskarakter 3 for lageroppretting i 2012.

Innfesting av lagre:

Måleresultatene fra vibrasjonsrapportene i 2001, 2007 og 2012 viser at innfestningen av lagrene er god.

Bærelager:

Tilstanden til bærelageret var tilfredsstillende under vibrasjonsrapporten i 2001. Det ble i 2007 og i 2012 registrert lave vibrasjoner ved både turtallsfrekvensen og bærelagersegmentfrekvensen. Akselen la seg mot oppstrøm side når aggregatet stoppet på grunn av en skjevhet i bærelageret. Avviket var så lite at det hadde ingen praktisk betydning. Bærelagerets tilstand ble vurdert til tilfredsstillende både i 2007 og i 2012.

Øvre styrelager generator:

Belastningene på øvre styrelager var innenfor de verdier som er normalt på denne typen aggregat i 2001, men på grunn av forflytninger på styrelagrene, ble akselen presset over mot siden av lageret. Tilstanden ble forbedret under lageropprettingen i 2002. I år 2007 ble det målt at akselkastet bruker opptil 62 % av tilgjengelig lagerklaring slik at det oppsto resonans mellom roterende deler og oljefilmen i lageret. Fenomenet medførte ingen skadelig belastning på aggregatet. Ved målingene i 2012 ble det avdekket at akselen brukte 70 % av nominell lagerklaring. Vibrasjonsnivået var høyt ved turtallsfrekvensen på fullast. En mulig årsak til vibrasjonsnivåene er magnetisk ubalanse.

Nedre styrelager generator:

Belastningene på nedre styrelager var innenfor de verdier som er normalt på denne typen aggregat i 2001, men på grunn av forflytninger på styrelagrene, ble akselen presset over mot siden av lageret. Under lageropprettingen i 2002 ble det konstatert at lageret hadde blitt *eggeformet* på grunn av setninger i fjellet. Dette, sammen med innflytelse fra øvre styrelager, gjorde at akselen fikk en avlang akselbevegelse. Fenomenet medførte ingen skadelig påvirkning på lageret. Tilstanden til nedre styrelager var ikke tilfredsstillende i 2012 og akselen bruker opptil 40 % av nominell lagerklaring på fullast. Orbiten på akselen er også veldig flatklemmt, som også ble registrert i 2007. Dårlig lageroppretting kan også ha påvirkning på orbiten.

Turbinlager:

Belastningene på turbinlager var innenfor de verdier som er normalt på denne typen aggregat i 2001, men på grunn av forflytninger på styrelagrene, ble akselen presset over mot siden av lageret. Tilstanden ble forbedret under lageropprettingen i 2002. Lavt akselkast og lave lagerhusvibrasjoner i 2007 indikerte god tilstand. Vibrasjonsnivåene radielt og tangentielt ved turtallsfrekvensen var høye ved høye laster i 2012. Vibrasjonsnivåene var høyere enn hva som er vanlig på denne type lager. Det ble antatt at hydraulisk ubalanse var årsaken til vibrasjonene. Temperaturen i lageret var innenfor normalt område og det kan tyde på at lageret takler belastningen bra. Akselen brukte ca. 31 % av nominell lagerklaring.



Figur 22: Viser akselstrengen mellom turbin og rotor med vibrasjonssensorer.

6.5 Generator

Generatorens oppgave er å omdanne mekanisk rotasjonsenergi til elektrisk energi. Rotoren blir fremmedmagnetisert via sleperinger fra en separat likeretter. En roterende magnetisert rotor danner et magnetfelt som inducerer spenning i statorens viklinger. Viklingene er tilknyttet den elektriske kretsen og forsyner nettet med elektrisk energi.

Generatoren i Litjefossen kraftverk er levert av NEBB og har en merkeytelse på 83 MVA. Dette er en vertikal synkrongenerator med en merkespenning på 9,5 kV og en overføringskapasitet på 5044 A. Generatoren har vært i drift siden oppstarten av kraftverket i 1982.

Norconsult har gjennomført tre vibrasjonsrapporter i 2001, 2007 og 2012 på generatoren. En oppsummering av tilstandskarakterene er oppgitt i Tabell 13.

Tabell 13: Oppsummering av vibrasjonsrapportene for generator utført av Norconsult.

Oppsummering tilstandsvurderinger - Generator			
Komponent/egenskap	Karakter 8. mars 2001	Karakter 19. mars 2007	Karakter 12. desember 2012
Mekanisk balansering	2	1	2
Magnetisk balansering	1	1	3
Magnetisk skjevtrekk	1	1	1
Rotor	2	2	-
Stator	2	2	1

En oppsummering av de viktigste hendelsene av tilstanden til generator er beskrevet under:

Mekanisk balansering:

Den mekaniske balanseringen i 2001 var akseptabel og vibrasjonsnivåene ved nedre og øvre generatorlagre er innenfor akseptable verdier. I 2007 ble det kontrollert lave vibrasjonsnivåer ved

turtallsfrekvensen. Dette indikerer tilfredsstillende mekanisk balansering. Det ble registrert moderate nivåer ved turtallsfrekvensen på aggregatet i 2012. Nivåene var allikevel innenfor akseptable verdier og den mekaniske balanseringen var tilfredsstillende.

Magnetisk balansering:

Den magnetiske balanseringen var tilfredsstillende under vibrasjonsmålingene i 2001. Det ble ikke målt noen vesentlig forskjell i akselkastet eller vibrasjonsnivået når generator går fra spenningsløs til spenningsatt. De samme målingene ble gjort i 2007 med de samme resultatene. Under vibrasjonsmålingene i 2012 ble det observert en faseendring mellom tomgang og magnetisering. Den magnetiske ubalansen ble målt til ca. 50 % større enn den mekaniske, men siden den mekaniske- og magnetiske ubalansen lå på forskjellige steder på rotor, motvirket de hverandre til en viss grad. Akselkast og vibrasjonsnivå økte med økende last. Magnetisk balansering ble tildelt tilstandskarakteren tre i 2012.

Magnetisk skjevtrekk:

Det magnetiske skjevtrekket var tilfredsstillende i 2001 og det ble ikke målt noen vesentlig endring av akselens posisjon i generatorlagrene. Dette indikerer en symmetrisk luftspalte mellom rotor og stator. De samme resultatene ble målt under vibrasjonsrapportene i 2007 og 2012.

Rotor:

Det ble i 2001 registrert kneppelyder fra aggregatet like før stans. Årsaken til dette er mest sannsynlig at rotorpolene kryper tilbake i svalehalesporet når sentrifugalkreftene på polene forsvinner ved stans. Fenomenet medførte ingen skadelig belastning på aggregatet. I 2012 ble det observert høyere akselkast og vibrasjoner på rotor. Dette ble forklart med at det mest sannsynlig var en eller flere kortslutninger i polviklingene. Det ble anbefalt at omvikling av rotor ble innlagt i de langsiktige vedlikeholdsplanene til TrønderEnergi.

Stator:

Polpasseringsfrekvensen ga vibrasjonsnivåer som anses som normalt under vibrasjonsmålingene i 2001. Vibrasjonsnivået er økende med økende last. Vibrasjonsmålingene i 2007 og år 2012 ga samme resultat som vibrasjonsmålingene i 2001. Tilstanden på statoren er tilfredsstillende.

Visuell inspeksjon:

Det ble utført en visuell inspeksjon av generatoren i Litjossen kraftverk den 17.06.2013 av Trond Smeplass [26]. Tabell 14, Tabell 15 og Tabell 16 viser henholdsvis tilstandskarakterene for rotor-, stator- og statorviklingskomponenter. Karaktersystemet er basert på tilstandskaraktersystemet til Energi Norges tilstandskontrollhåndbøker. Forkortingene SS, M og DS står for henholdsvis slepetingside, midtparti og driftsside. Den tekniske tilstanden kan variere med lokasjonen på generatoren. Karaktersystemet er derfor oppdelt i tre forskjellige lokasjoner. Slepetingside er øvre del av generator, mot generatortopp. Midtparti er midtpartiet på generatoren. Driftssiden er nedre del av generator, mot turbin og løpehjul.

Den tekniske tilstanden på generatoren er generelt veldig god. Det ble registrert utglidning av vindingsisolasjonen på polspolene. Dette stemmer godt overens med vurderingene til Norconsult om registrert vibrasjonsøkning idet rotoren magnetiseres. Dette skyldes kortslutninger i rotorpolene på rotor. Vindingskortslutninger karakteriseres ikke som en alvorlig feil, men kan skape høye vibrasjonsnivåer som trigger vibrasjonsvernene.

Det ble i tillegg registrert litt overflatesmuss på stator og statorviklingene. Bremsene var tilsmusset og ujevnheter og slitasje på sleperingen ble registrert.

Tabell 14: Tilstandskarakterer fra tilstandskontrollen på rotor.

Tilstandskontroll rotor				
Komponent	Tilstand	SS	M	DS
Overflate	Smuss, olje, børstestøv	1	1	1
Rotor, nav, ring	Passrust	1	-	1
Vindingsisolasjon	Utglidning	3	-	1
Jordisolasjon	Utglidning, skader	1	-	1
Polspoleavstøtning	Fasthet	1	-	1
Feltledninger	Feste og deformasjoner, isolasjon	1	-	-
Dempevikling	Deformasjoner, sprekkdannelser	1	-	1
Ventilasjonsvinger	Fasthet, sprekker, passrust	1	-	1
Sleperinger	Ujevnheter, slitasje	2	-	-
Bremser	Misfarging, deformasjon, lekkasje	-	-	2

Tabell 15: Tilstandskarakterer fra tilstandskontrollen på stator.

Tilstandskontroll stator				
Komponent	Tilstand	SS	M	DS
Overflate	Smuss, olje, børstestøv	1	1	1
Blikkpakke	Buckling	1	1	1
Blikkpakke/boring	Misfarging	1	1	1
Delefuger	Passrust, støv	1	1	1
Armkryst	Sveisebrudd, sprekkdannelser	1		1

Tabell 16: Tilstandskarakterer fra tilstandskontrollen på statorvikling.

Tilstandskontroll statorvikling				
Komponent	Tilstand	SS	M	DS
Overflate	Smuss, olje, børstestøv	2		1
Vikling	Siging	1		1
Spolehodeisolasjon	Porøs, myk, misfarge	1		1
Glimbeskyttelse	Glimspor	1		1
Sporkiler	Fasthet, støv	1	-	1
Avstøtning	Fasthet	1		1
Forbindelser	Generell tilstand	1		

6.5.1 Generatorkjølere

Generatorkjølerne er av typen RCP produsert av Keeprite Unifin. Det er 4 kjølerne som hver har en kjøleeffekt på 235 kW med en slukeevne på 9,4 L vann i sekundet. Kjølerne er produsert i 1981 og har vært i drift siden oppstarten av kraftverket. Generatorkjølerne begynner å nærme seg den forventede levetiden på ca. 40 år og bør utskiftes ved en større revisjon. Venstre bilde i Figur 23 viser en av generatorkjølerne på statoren i Litjfossen kraftverk.



Figur 23: Generatorkjøler til venstre og bremsetavle generator til høyre.

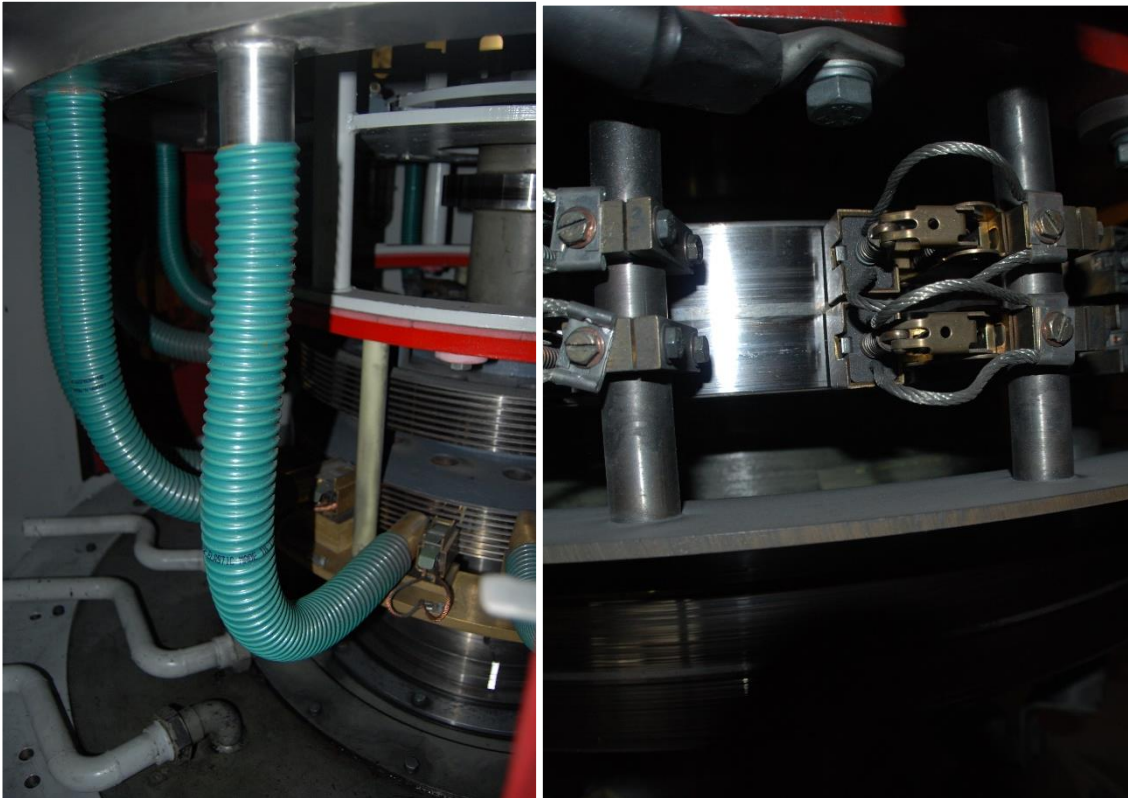
6.5.2 Bremsesystem

Oppgaven til bremsene og bremsesystemet er å bremse rotasjonen på rotor og løpehjul etter at vannstrømningen gjennom turbinen er stengt av.

Bremsesystemet er i fra opprinnelig årgang og i tilsynelatende god tilstand. Ved en rehabilitering bør det allikevel gjøres en vurdering om bremsesystemet bør skiftes ut. Høyre bilde i Figur 23 viser eksisterende bremsetavle.

6.5.3 Børsteavsug

Børsteavsug installert i generatortoppen har til oppgave å fange opp børstestøvet som slites av børstene ved drift. Systemet fungerer som en støvsuger på hver børstekontakt til sleperingen. Venstre bilde i Figur 24 viser et eksempel på et børsteavsug. Plastrørene suger børstestøv ved siden av børstene og fører støvet vekk fra generatortoppen. Resultatet er mindre tilsmussing av børstestøv i generatortoppen. Dette gir fordeler som blant annet mindre renhold, mindre slitasje ol. Høyre bilde i Figur 24 viser en børstetilkobling på sleperingen i Litjfossen kraftverk. Det er her den elektriske overføringen fra fremmedmagnetiseringsutrustningen går over til den roterende rotoren.



Figur 24: Børsteavsug og børstetilkobling i generatortoppen.

Det er ikke installert børsteavsug i Litjfossen kraftverk. Ved en eventuell revisjon på generatoren bør det tas stilling til om det skal installeres børsteavsug i generatortoppen. Investeringen bør veies opp mot fordelene ved å installere et børsteavsug og hvilke positive innvirkninger et børsteavsug har.

6.6 Transformatorer

6.6.1 Krafttransformator

Krafttransformatorens oppgave er å transformere generatorspenningen opp til regionalspenning for å minimere overføringstapene.

Litjossen kraftverk er utstyrt med en 83 MVA krafttransformator (T1) levert av ASEA Per Kure, type TMY 43. Med en merkespenning på 9,5/140,5kV og en strømkapasitet på 5055/341A leverer krafttransformatoren den produserte effekten fra Litjossen kraftverk ut på 132 kV-nettet. Transformatoren benytter OFW til kjøling som er av opprinnelig årgang. Krafttransformatoren har vært i drift siden oppstarten av kraftverket i 1982. Et bilde av krafttransformatoren er vist i Figur 25.



Figur 25: Krafttransformatoren til Litjossen kraftverk.

Tilstanden til krafttransformatoren er blitt vurdert gjennom gass- og oljeanalyser fra laboratoriet til ABB. I tillegg er det utført en visuell inspeksjon av ABB i 2008.

Gassanalyse, oljeprøver og visuelle inspeksjoner er de mest effektive metodene å avdekke tilstanden til krafttransformatorer på. Det gjennomføres derfor årlig gassanalyse og tre-årlig oljeprøve. Resultatet fra de fire siste gassanalysene på krafttransformatoren T1 er oppgitt i Tabell 17.

Tabell 17: Gassanalyser utført på krafttransformatoren i Litjefossen kraftverk. [27] [28]

Gassanalyse krafttransformator T1				
Gasstype	Prøvedato			
	02.04.1014	19.02.2013	16.11.2011	12.01.2011
H ₂ (hydrogen)	<2	2	3	3
O ₂ (oksygen)	24000	23256	20701	21531
N ₂ (nitrogen)	61000	62931	55714	56854
CO (karbonmonoksid)	300	354	425	349
CO ₂ (karbondioksid)	1300	1523	1755	1504
CH ₄ (metan)	2,1	2	2	1
C ₂ H ₄ (eten)	37	36	34	26
C ₂ H ₆ (etan)	<1	<1	1	<1
C ₂ H ₂ (acetylen)	<1	<1	<1	<1
C ₃ H ₈ (propan)	0,93	4	4	4
C ₃ H ₆ (propen)	3,2	3,0	3,0	3,0

Merk: Oppløst gass er oppgitt i [µl/l].

Gassanalysene gir en oversikt over gassnivået i oljen. Ved å følge med på utviklingen av de forskjellige gasstypene kan det gjøres opp en vurdering om tilstanden til transformatoren. En hurtig økning av gassnivå kan være et signal på økt degradering. De ulike gassene dannes av ulike hendelser i transformatoren, for eksempel vil hydrogengass dannes av partielle utladninger. At gassnivåene øker med tiden er helt normalt og det kalles naturlig aldring. Derimot, om en eller flere gasser får en radikal økning, vil dette være tegn på en økt hyppighet av negative hendelser, som igjen gir en hurtig degradering. Ved gassanalyse av oljen er det den absolutt gassutvikling per tidsenhet som er avgjørende for hvordan tilstanden til transformatoren vurderes [29].

Tabell 18 viser resultatene fra de to siste oljeprøvene tappet av hovedtransformatoren i Litjefossen kraftverk.

Tabell 18: Oljeanalyser utført på krafttransformatoren T1 i Litjefossen kraftverk. [27] [28]

Oljeanalyse krafttransformator T1				
Testtype	Benevnelser	Prøvedato		Varselnivåer
		19.02.2013	18.11.2009	
Gjennomslagsverdi	[kV]	85	75	<40
Vanninnhold	[mg/kg]	3,8	4,3	30 v/60 °C
Nøytralisasjonsverdi (syretall)	[mg KOH/g]	0,02	0,01	>0,06
Dielektrisk tapsfaktor		0,01	0,47	>20
Farge/utseende	[0 lys - 8 mørk]	1,5	1,5	>3,5 Uklar
Grenseflatespenning	[mN/m]	34	37	<30
Inhibitor, DBPC	[%]	0,27	0,28	<0,12

Merk: Venstre side av ulikhetstegnene under varselnivåer er referert til test-type. For eksempel: gjennomslagsverdi < 40 for første rad vil være et varselnivå.

ABB gjennomførte i 2008 en visuell kontroll av krafttransformatoren for TrønderEnergi der de avdekket følgende punkter for utbedring: [30]

- Vann- og oljekjølere synes å være i god stand, men utstyret er snart 30 år gammelt og utskifting bør vurderes i løpet av de kommende årene.
- Oljepumper, olje- og vannstrømsvakter synes å være i god stand, men utstyret er snart 30 år gammel og utskifting bør vurderes i løpet av de kommende årene.
- Kontakttermometer og gassvakt har kvikksølvkontakter og bør skiftes.
- Pakningene på transformatoren begynner å bli harde og sprøe, men ingen større lekkasjer som trenger umiddelbar utskifting. Allikevel bør det foretas utskifting innen de kommende årene.
Registrerte lekkasjer:
 - Litt svetting fra øverste oljepumpe.
 - Drypp fra spjeldventil på konservator.
 - Drypp under lokkbolter på LSP side, kommer sannsynligvis fra HSP nullgjennomføring eller uttak fra C/T.
- Tørket og svart silicagel. Dårlig effekt og må skiftes.

I etterkant av den visuelle kontrollen er bare silicagel byttet, mens de andre punktene ikke er utbedret siden kontrollen. Behovet for utbedringer på disse punktene er minst like store i tiden som kommer. Selv om utstyret ser ut til å være i tilsynelatende god tilstand på utsiden, kan situasjonen være en helt annen på innsiden. Kjølerør blir utsatt for både kjemisk og mekanisk tæring og et av rørene kan ryke uten forvarsel. Forvarsel blir ikke gitt siden systemet er oppbygd av enkeltrør og lekkasjer vil medføre at olje og vann kommer i kontakt. Oljetrykket skal være høyere enn vanntrykket, slik at vann normalt ikke skal trenge inn i transformatoren. Allikevel kan det være muligheter for at vannmolekyler diffunderer over i oljen og forårsaker høyere vannnivå i oljen/isolasjonen i krafttransformatoren. Vann i oljen vil forårsake raskere nedbrytning av papirisolasjonen og kan i verste fall forårsake gjennomslag i isolasjonen.

Erfaringer ABB innehar har vist at vannkjølesystem bør skiftes etter ca. 30 år. Det bør derfor gjennomføres en inspeksjon for å sjekke hvordan tilstanden er eller eventuelt gjøre et bytte av kjølesystem innen rimelig tid.

Krafttransformatoren står i et veldig godt klima innendørs og både gassanalyse og oljeprøver viser at tilstanden til krafttransformatoren er god. Det vil ikke være nødvendig å tenke på utskifting av krafttransformatoren i denne omgang. Krafttransformatorer i godt klima med lave driftstemperaturer kan fint vare i over 50 år. Oppfølging av tilstanden vil være viktig, både med visuelle inspeksjoner og analyser av oljen, samt normalt vedlikehold. Det bør byttes inhibitorvæske om nivået blir for lavt.

6.6.2 Stasjonstransformatorer

Oppgaven til stasjonstransformatorene er å forsyne hele kraftstasjonen med elektrisk energi, både ved produksjon og stans av aggregatet. Ved drift forsynes stasjonen gjennom ST1 og ved stans forsynes stasjonen fra det lokale 22 kV-nettet gjennom ST2. I tillegg til det lokale 22 kV-nettet er det muligheter å forsyne stasjonen fra diesellaggregat og batterianlegg. Se enlinjeskjema av kraftstasjonen i Vedlegg 1

Stasjonstransformatorene, ST1 og ST2, er produsert i 1982 av Trafo-Union (nå Siemens). Transformatorene er av typen GEAFOL tørrisolerte transformatorer. Transformatorene er plassert i *båser* med god ventilasjon i et veldig bra innklima. Transformatorene ser ut til å være i tilsynelatende god tilstand. Typisk levetid på tørrisolerte transformatorer er 15-25 år, men belastningsgraden transformatorene har hatt siden oppstarten av kraftverket er essensiell for hva man kan forvente av levetid på transformatorene. Transformatorene er nesten vedlikeholdsfrie og tilstandsvurdering er

vanskelig å utføre. Tilstandsvurdering og forebyggende vedlikehold består av visuell inspeksjon, infrarød fotografering (termisk kamera) og rengjøring. Konsekvensene ved et havari på en av stasjonstransformatorene er lavere sammenlignet med magnetiseringstransformatoren. Dette kan sees i sammenheng med at tilgjengeligheten på nye og brukte stasjonstransformatorene er høyere enn for magnetiseringstransformatorene på grunn av normale spenningsnivåer på primær- og sekundærsiden. Risikoen er derfor lavere for stasjonstransformatorene sammenlignet med magnetiseringstransformatoren. [31] [32]

6.6.3 Magnetiseringstransformator

Magnetiseringstransformatorens oppgave er å transformere generatorspenningen ned og forsyne spenningsregulatoren med riktig spenning.

Magnetiseringstransformatoren er av type GEAFOL TGAJ5941D produsert av Trafo-Union. Transformatoren er på 650 kVA med en merkespenning på 9,5/0,43 kV. I likhet med stasjonstransformatorene er magnetiseringstransformatoren også fra opprinnelig årgang (1982). Magnetiseringstransformatoren står plassert i *bås* ved siden av stasjonstransformatorene i et veldig bra innelukkede klima. Tilstanden til magnetiseringstransformatoren ser tilsynelatende god ut. Allikevel er transformatoren over 30 år, og tørrisolerte transformatorer har dårligere driftssikkerhet enn oljeisolerte transformatorer. Sannsynligheten for en svikt av transformatoren er tilstede. Typisk levetid på tørrisolerte transformatorer er 15-25 år. Konsekvensen av en svikt kan være utilgjengelighet av kraftverket over en lengre periode, siden ny leveranse av transformator kan ta opptil 4-5 måneder. Magnetiseringstransformatoren er spesialdesignet for Litjfossen kraftverk og det kan være vanskelig å skaffe til veie en reservetransformator innen kort tid. Selv om driftstiden på transformatoren er lav, bør det gjøres en vurdering om forventet levetid på magnetiseringstransformatoren og vurdere om risikoen er akseptabel. Figur 26 viser et bilde av den tørrisolerte magnetiseringstransformatoren. [31] [32]



Figur 26: Magnetiseringstransformator for Litjfossen kraftverk.

6.7 Kontrollanlegg

Kontrollanlegget er selve *hjernen* i vannkraftverket. Kontrollanlegget styrer, overvåker og utkobler viktige systemer og utstyr i kraftverket. Litjossen kraftverk er fjernstyrt og overvåket fra produksjonscenteret i Berkåk.

Kontrollanlegget i Litjossen kraftverk er levert av NEBB. Anlegget har vært i drift siden 1982 og fungerer tilfredsstillende med noen få unntak.

Fjernstyringen av kontrollanlegget fungerer dårlig og det finnes få/ingen reservedeler å få tak i. I tillegg er det manglende kunnskap på enheten både internt og eksternt. TrønderEnergi har byttet denne type fjernstyring i flere kraftverk allerede og Litjossen kraftverk er ett av tre kraftverk som det gjenstår å få skiftet fjernstyringen. Dette blir gjort fortløpende. Om fjernstyringen havarer før utskiftningen må stasjonen driftes lokalt.

Temperaturovervåkningen av generatoren er ødelagt på grunn av varmgang i enheten. Enheten er av typen monotemp. Det er ingen reservedeler å få tak i for å utbedre temperaturovervåkningen, slik at denne må byttes ut. Det er for øvrig kun fjernavlesningstemperaturovervåkningen som er berørt. Kontrollanlegget vil fortsatt trippe ved høye varselnivå på *temperatur generator* og skåne generatoren mot for høye temperaturer.

Kontrollsystemet er relebasert og ved feil i systemet kreves det nye kontaktsett. De gamle releene har hjelpekontakter med mange tilkoblinger. Disse viser seg å være vanskelig å erstatte, da nye hjelpekontakter ikke leveres med like mange tilkoblingsmuligheter. Et gammelt rele må derfor ofte erstattes med flere nye, og dette skaper flere ulemper, blant annet plass- og systematikkproblemer.

Helhetlig fungerer kontrollanlegget bra, men det er over 30-år gammelt og vurderinger om utskifting er med i langtidsplanene.

6.7.1 Spenningsregulator

Spenningsregulatoren (magnetiseringsutrustning) måler kontinuerlig spenningen på generatoren og registrerer forskjell i spenningsfallet ved varierende last. Spenningsregulatoren kompenserer ved å justere magnetiseringsstrømmen til rotoren og på den måten også regulere magnetfeltet i generatoren slik at generatorspenningen endres. En spenningsregulator stabiliserer derfor spenningen fra generatoren selv om belastningen på nettet varierer. Spenningsregulatorer av nyere årgang er i stand til å regulere spenningen med noen hundredels sekunder. [33]

Spenningsregulatoren ble byttet på midten av 2000-tallet og ble levert av Hymatek. Spenningsregulatoren fungerer som den skal og det foreligger ingen planer om utskiftning av denne.



Figur 27: Spenningsregulatoren i Litjossen kraftverk.

6.8 Hjelpesystemer

6.8.1 Batterianlegg

Batterianlegget fungerer som et hjelpeanlegg som innkobler og overtar dersom den ordinære strømforsyningen skulle falle bort. Batteriene forsyner viktige komponenter og styresystem i stasjonen ved hjelp av like- og vekselrettere.

Batterianleggene består av to rom, ett rom med batterier for vanlig drift, og ett rom med batterier for nødstyring. Batteriene for begge systemene er utskiftet i 2014 og er så godt som nye. Batteriene er av typen Hoppecke, 6V med 250 Ah hver. Hvert rom er utstyrt med 36 batterier koblet i serie og utgjør 216 V DC. Siden batteriene nylig er utskiftet, foreligger det ingen planer om utskifting.



Figur 28: Viser 12 av de totalt 36 batteripakkene per rom.

6.8.2 Diesellaggregat

Diesellaggregatet skal fungere som en reservestrømsløsning og kobler inn dersom spenningen på lavspentsamleskinnen i kraftstasjonen bortfaller. Dette vil opprettholde spenningen i kraftstasjonen og omkoblingen er gjort innen sekunder. Et diesellaggregat gir både praktiske- og sikkerhetsmessige aspekter.

Diesellaggregatet er produsert av Newage Stamford og er av type C334B med 90 kVA. Diesellaggregatet er like gammelt som kraftverket, og ble installert i 1982. Ved inngangen til adkomsttunnelen står diesellaggregatet i en egen avkrok. Det foreligger ingen planer å skifte ut diesellaggregatet. Det blir jevnlig gjennomført vedlikehold der diesellaggregatet blir testkjørt for å forsikre funksjonaliteten og for å opprettholde den tekniske tilstanden. Det blir testet skarpt så langt det lar seg gjøre for å sjekke at automatikken fungerer slikt den er oppkoblet for å gjøre. Se Figur 29.



Figur 29: Diesellaggregat ved inngangen til adkomsttunnelen.

6.9 Annet utstyr

6.9.1 Lenseanlegg

Lenseanlegget i Litjfosse kraftverk består av to AC lensepumper og en mekanisk ejektor. Lekkasjevann fra fjell og vannvei samles opp i lensekummen i bunn av kraftstasjonen. Lensepumpene plassert i bunn av lensekummen pumper vannet ut i avløpet. Sannsynligheten for at begge pumpene havarer samtidig er lav, og tilgjengeligheten på nye pumper er god. Risikoen er derfor akseptabel. Det vil i denne omgang ikke være nødvendig å skifte ut lensepumpene. Figur 30 viser rørføringer for lenseanlegg ut fra lensekum i turbinkjeller.



Figur 30: Rørføringer for lenseanlegg ut fra lensekum.

6.9.2 Redningsutstyr

Det er designet et eget redningsrom i Litjfosse kraftverk. Rommet er rikelig utstyrt med førstehjelpsutstyr og redningsbåre. Rommet er også utstyrt med 8 flaskebanker med oksygenmaske for situasjoner med røykutvikling. Hver flaskebank skal holde i minimum 4 timer før den går tom. Redningsrommet har en egen lokal telefonlinje med oppholdsrommene ved adkomsttunnelen.

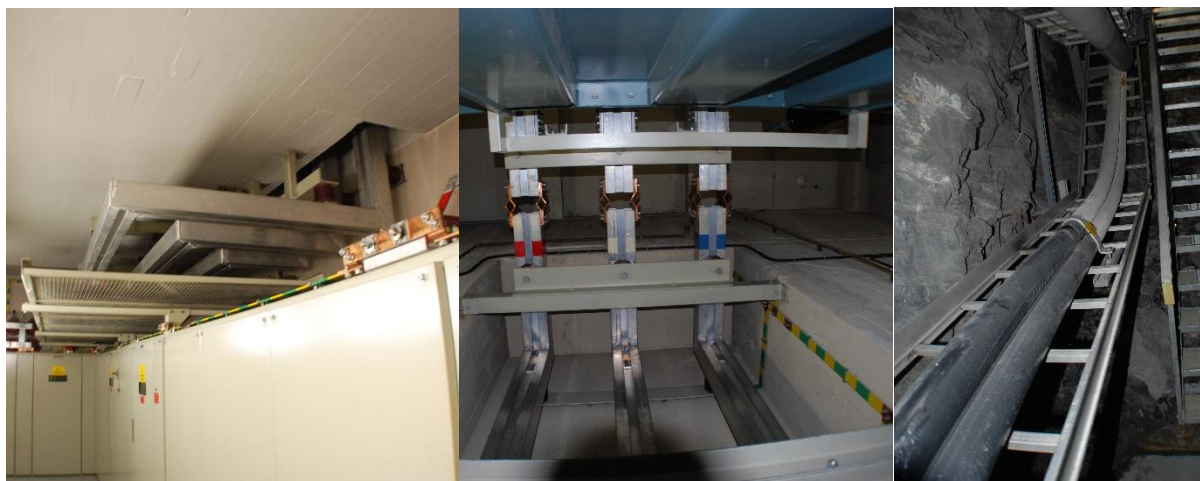
Det er også plassert ut litt mindre førstehjelpsutstyrkofferter i kraftstasjonen som kan være lettere tilgjengelig om ulykken inntreffer.

Rømningsveiene er markert med selvlysende materiale som lades av lysarmaturene og vil lyse i en periode etter at lysarmaturene slukkes. Dette vil gjøre det lettere å finne veien ut dersom stasjonen mørklegges.

Det finnes to mulige rømningsveier i Litjfosse kraftverk. Den ene rømningsveien er ut adkomsttunnelen. I de fleste tilfeller har man tilgjengelig bil for utkjøring som skal være parkert med panseret pekende ut av stasjonen. Om det ikke er mulig å ta seg ut igjennom adkomsttunnelen kan man benytte kabeltraséen som alternativ rømningsvei. Det er montert trapp hele veien opp og ut til koblingsanlegget ovenfor adkomsttunnelen.

6.10 Kraftkabel

Den elektriske energien fra generatoren blir overført via en skinneføring i aluminium og er tilkoblet kraftransformatoren i den andre enden. Skinneføringen går igjennom et teknisk rom med stasjons- og magnetiseringstransformatorer før den tilkobles krafttransformatoren. Ut på 132 kV-siden av kraftransformatoren blir den elektriske energien videreført i PEX-kabel igjennom kabelsjakten og tilkoblet bryterfeltet for Litjossen kraftverk, se Figur 31. Bildet til venstre viser skinneføringen igjennom det tekniske rommet og opp til krafttransformatorrommet. Det midterste bildet viser føringen av skinnene inn til krafttransformatoren. Bildet til høyre viser PEX-kabelen på kabelbro igjennom kabelsjakten.



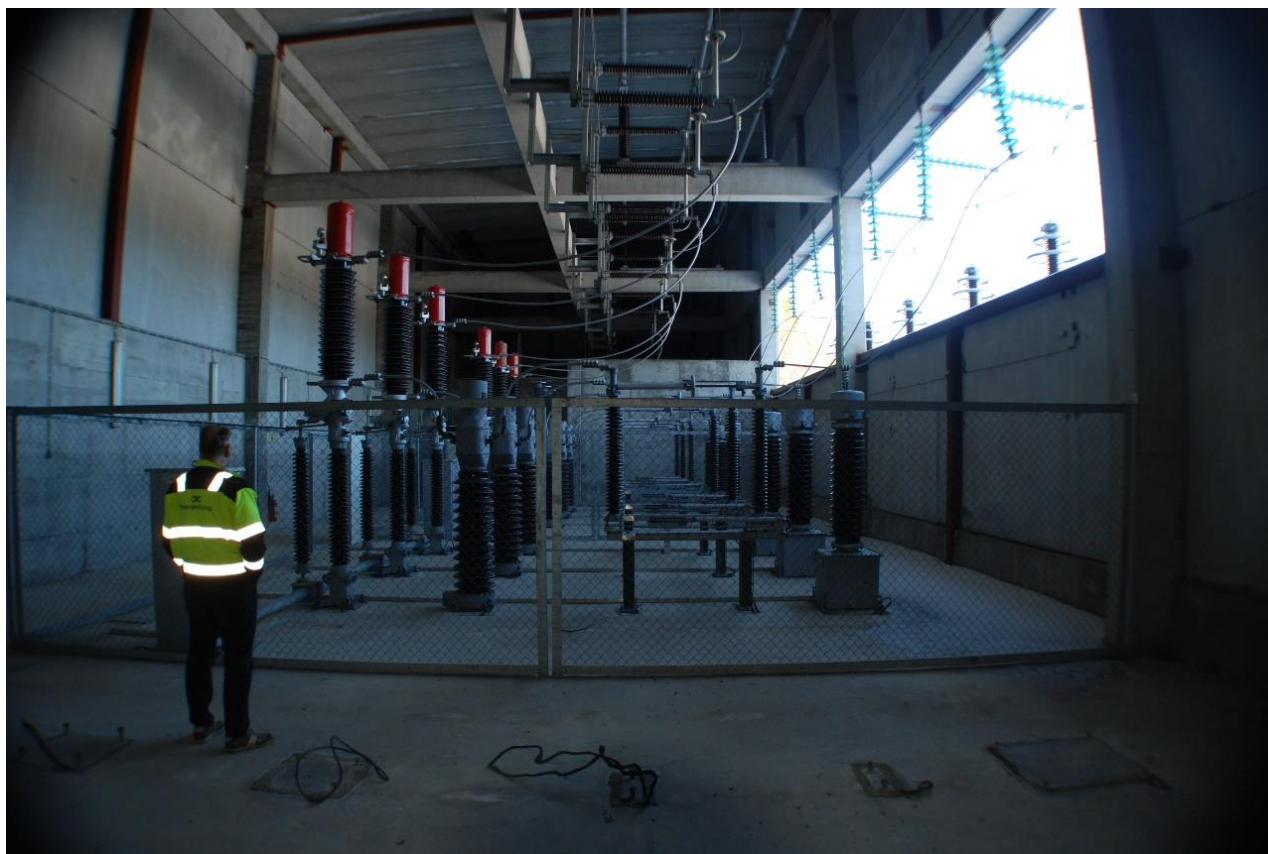
Figur 31: Overføringstrasèer mellom generator og 132 kV koblingsanlegg.

Den tekniske tilstanden på overføringskinnene og PEX-kabelen er god og det foreligger ingen planer om utskifting av disse.

6.11 Bryteranlegg 132 kV

Koblingsanlegget for Litjossen kraftverk er plassert ovenfor adkomsttunnelen innbygd i et romslig rom beskyttet fra elementene, se Figur 32. Koblingsstasjonen er bygget med tre bryterfelt i tillegg til et ekstra reservefelt. Første bryterfeltet benyttes som bryterfelt for aggregatet og forbinder kraftstasjonen med 132 kV-nettet. De to utgående linjene tilkoblet samleskinnene går til Brattsett og Ulset, se enlinjeskjema i Vedlegg 1.

Effektbryterne for bryterfeltet til aggregatet er nylig utskiftet. Koblingsanlegget fungerer optimalt og det foreligger ingen planer om reinvesteringer.



Figur 32: Bilde av koblingsanlegget til Litjossen kraftverk. Nærmeste bryterfelt er mot Ulset.

7 Analyse

Analysen er begrenset til tiltakene *reinvestering turbin, rehabilitering turbin og generatorrevisjon*. Kapitelet begynner med en oppsummering av tilstandsbeskrivelser og aktuelle tiltak på komponentene som benyttes videre i analysen. Videre i kapitelet er forutsetninger for beregningene, med sviktmodeller og levetidskurver beskrevet. Kapitelet beskriver også inntekter og kostnader knyttet til tiltakene og sviktkostnader knyttet til svikt på aktuelle komponenter. Resultatene av sviktsannsynlighets- og lønnsomhetsberegningene er presentert i de neste delkapitlene. Analysen avslutter med en følsomhetsanalyse av parameterne; investeringskostnader, virkningsgradsøkning, elsertifikater og kraftpris.

7.1 Tilstandsbeskrivelse

Tilstandsbeskrivelsene i dette delkapitlet er hentet fra kapitel 6 og oppsummert i tabeller under. I tabellene er tilstandsbeskrivelsene sammenlignet opp mot tilstandskriteriene i rapporten *Sviktmmodell for vannkraftverk: skadetyper og tilstandskriterier*. Karakteren på den enkelte skadetype skal representere den tekniske tilstanden til skadetyperne. Tilstandskarakterene benyttes videre i beregningene av sviktsannsynligheter for de mest kritiske skadetyperne på turbin, stator og rotor i Litjefossen kraftverk.

7.1.1 Turbin

Oppsummering av tilstanden til turbinkomponentene er oppgitt i Tabell 19. Tilstandsvurderingene ble utført av TrønderEnergi i form av visuell inspeksjon av turbinsystem den 04.06.2013 [34].

Tabell 19: Oppsummering av tilstanden til turbinkomponenter.

Tilstandsbeskrivelse turbinkomponenter						
Komponent	Skadetype	Målemetode	Svikt/feil	Karakter	Tilstandskriterier	Kommentar
Spiraltrømme, stagring og stagsøyler	«S1-S5» Korrosjon/ Sanderosjon/ Utmatting/sprekker/ Mekanisk skade pga. fremmedlegeme/ Mekanisk skade som fører til deformasjon av stagringen	Visuell inspeksjon	Brudd eller lekkasje	2-	Avskallet malingsfilm/ Slitt malingsfilm.	Malingsslitasje på stagsøyler.
Turbinaksel	«S1-S4» Korrosjon/ Løse forbindelser/ Utmatting/sprekker/ Mekanisk slitasje	Visuell inspeksjon	Akselbrudd	1	-	Tilstanden på akselen er god. Ingen tegn til sår/riper eller korrosjon.
Løpehjul	«S1» Hamring	Visuell inspeksjon	Skovlbrudd	2	Mindre partier av skovlene har en matt overflate.	Større slitasje på del av ledeskovel som vender inn mot løpehjulet.

Løpehjul	«S2» Kavitasjon			2-	Mindre partier av skovlene har en matt overflate.	Synlige kavitasjonsskader.
	«S3» Korrosjon			2	Noen tegn til korrosjon.	Antydninger til korrosjon.
	«S4» Sanderosjon			2	Mindre partier av skovlene har en matt overflate.	Partier med matt overflate.
	«S5» Utmatting /sprekker	Visuell inspeksjon Penetrant-kontroll		2	Tegn til sprekk-indikasjoner.	Forventet degradering gitt enhetens alder.
Ledeapparat	«S6» Rivning	Visuell inspeksjon	Fastlåste ledeskovler Lenkebrudd Store lekkasjer mellom lokk og ledeskovler	3+	Enkelte spredte riper /groper hvor materialet er tydelig tært/slitt bort.	Har rivninger mot nedre lokk der materialet tydelig er slitt bort.

7.1.2 Generator

Oppsummering av tilstanden til generator er oppgitt i Tabell 20 og Tabell 21 for henholdsvis stator og rotor. Den visuelle inspeksjonen av generator ble utført av Trond Smeplass den 17.06.2013 [26].

Tabell 20: Oppsummering av tilstanden til stator.

Tilstandsbeskrivelse stator					
Komponent	Skadetype	Svikt/feil	Karakterer	Tilstandskriterier	Kommentar
Statorhus	«Armkruss, hus (sveisebrudd, sprekkdannelser)» «S1-S2» <i>Deformasjon/ Eksentrisitet eller urundhet</i>	Mekanisk kontakt mellom rotor og stator	1	-	God tilstand. Ingen tegn til sprekker. Luftgap avviker mindre enn 10 %.
Kjølesystem	«S1-S3» <i>Lekkasje/ Tilgroing/ Tilsmussing</i>	Uakseptable temperaturer	2	Få grader temperaturstigning.	Økt temperaturdifferanse mellom kaldt vann og kald luft. Differanse fra nytilstand.
Blikkpakke	«Blikkpakke (Misfarging og passrust)» «S1-S2» <i>Manglende press deleskjøt/ Løse blikktenner</i>	Jernbrann/ jordfeil	1	-	Tilstanden er god. Ingen tegn til passrust eller misfarging.
	«Buckling» «S4» <i>Bølgedannelse (buckling)</i>	-	1	-	God tilstand. Ingen tegn til bølgedannelse.
Vikling	«Sporkiler (fasthet, støv)» «Vikling (Siging)» «S1» <i>Løse sporkiler</i>	Gjennomslag	1-	-	Ingen tegn til passrust eller pulver fra sporkilene. Ikke registrert sig av viklingene.
	«Spolehode-isolasjon (porøs, myk, misfarge)» «Glimbeskyttelse (Glimspor)» «S4» <i>Glimming i sporutgangen</i>		1	-	Ingen tegn til misfarging. Tilstanden til spolehodelakk er god.
	«Glimbeskyttelse (Glimspor)» «S6» <i>Glimming i spolesidene i sporet</i>		1	-	Ingen tegn til glimming. Tilstanden til glimbeskyttelsen er god.

	«Avstøtning (fasthet)» «S7» Løse avstøtnings-elementer		1	-	Bra fasthet på viklingene. Få/ingen løse detaljer.
	Overflate (Smuss, olje, børstestøv) «S10» Svekket hovedisolasjon		2	$3 < R_1 < 10 * U_N * M\Omega$	Statorviklingene har partier med tilsmussing på øvre del av stator. Rengjøres med CO ₂ .

Tabell 21: Oppsummering av tilstanden til rotor.

Tilstandsbeskrivelse rotor					
Komponent	Skadetype	Svikt/feil	Karakter	Tilstandskriterier	Kommentar
Nav	«Rotor nav, ring (passrust)» «S1-S2» Sprekker i rotornav/ Løs krymp aksel-nav	Utkobling på grunn av vibrasjoner	1	-	Ingen sprekker. Ingen antydninger til passrust.
Aksel	«S1» Knekk i aksel	Lagerhavari/ utkobling pga. høye vibrasjoner	1	-	God tilstand.
	«S2» Skjev oppretting		1	-	God mekanisk balansering både i 2007 og 2012. (31µm).
Rotorpoler	«Vindingsisolasjon (utglidning)» «S2» Nedbrytning av vindingsisolasjon	Store vibrasjoner – lagerhavari og andre følgeskader	3	Vindingskortslutninger som medfører vibrasjoner opp mot uakseptabelt nivå. Vindingsisolasjon kan krype ut. Impedanskontroll som viser avvik mellom polene opp mot 1/2.	Endring i vibrasjonsnivå ved magnetisering av rotor. Impedanskontroll utført. Utglidning av vindingsisolasjon sett under visuell inspeksjon.
	«Overflate (Smuss, olje, børstestøv)» «S4» Tilsmussing av jordisolasjon	Rotorjord (Stor sannsynlighet for dobbel rotorjord og dermed skjevtrekk med mulig lagerhavari)	1	-	Rotoren er ren og fin. Noe tilsmussing på øvre del av poler.

	«Feltledninger (Feste, deformasjoner, isolasjon)	Brudd og lysbue.	1	-	Ingen løse detaljer. Ingen deformasjoner eller isolasjonsskader.
	«Jordisolasjon (utglidning, skader)»		1	-	Ingen tegn til utglidninger eller andre skader.
Dempevikling	Dempevikling (deformasjoner, sprekkdannelser) «S2–S4» <i>Sprekker i loddeforbindelser Cu-skinne – dempestav/ sprekk i forbindelse mellom poler/ deformert dempevikling</i>	Brudd og løse deler / kontakt med statorviklingens kobber på grunn av brudd eller betydelig deformasjon.	1	-	Ingen tegn til deformerte demperinger eller –staver. Ingen synlige sprekker i innfestningene. Ingen fargeendring.
Ventilatorer	Ventilasjonsvinger (fasthet, sprekker, passrust) «S1-S2» Utmatting på grunn av løse bolter/ Utmatting på grunn av sprekk i sveis ventilator/ blad/bolt	Brudd. Sekundære skader ved at viftebladene blir slynget ut mot stator. Store skader på blikkpakke.	1	-	Ingen tegn til passrust. Ingen tegn til sprekker eller sår i sveisen til viftebladene.
Bremsering	Bremser (misfarging, deformasjon, lekkasje)	Bølgedannelse på grunn av nødstop.	2	Tilsmussing av bremses og bremsering.	Bremserne er tilsmusset og bør rengjøres.
Sleperinger	Sleperinger (ujevnheter, slitasje) «S1-S2» <i>Urunde/slitte ringer/ Overslag mellom sleperinger og aksel</i>	Børstebrann (lysbue) / Jordfeil.	2	Ujevnheter og hakk.	Sleperingen har ujevnheter og hakk.

7.2 Tiltak

I dette kapitelet er aktuelle tiltak for rehabilitering eller reinvestering av komponenter i Litjossen kraftverk presentert. Tabellene inkluderer tiltak som allerede er besluttet av TrønderEnergi og andre tiltak som bør vurderes gjennomført.

7.2.1 Turbin

Reinvestering turbin:

Ved reinvestering av turbin er det kun løpehjulet av hovedkomponentene som reinvesteres. De andre hovedkomponentene rehabiliteres, se Tabell 22.

Tabell 22: Tiltak for turbinkomponenter ved reinvestering.

Tiltak - Reinvestering turbin		
Komponent	Tiltak	Begrunnelse
Spiraltrømme	Sandblåses før det påføres ny overflatebehandling.	Vurdere om malingsoverflatene ved rehabiliteringstidspunktet er av tilstrekkelig kvalitet. Kvaliteten på malingsoverflatene må være så god at malingsoverflatene holder like lenge som annet rehabilitert utstyr er forventet å vare.
Stagring og stagsøyler	Sveises (om nødvendig), sandblåses og påføres ny overflatebehandling.	Stagringen hadde under TEs visuelle inspeksjon i 2013 partier med malingsglitasje. Utbedres for å sikre god teknisk tilstand for en tidsperiode frem i tid.
Turbinaksel	Ingen.	Akselen er i god teknisk tilstand.
Løpehjul	Gammelt løpehjul uskiftes med et nytt løpehjul.	Slitasje på gammel løpehjul. Bedre virkningsgrad nytt løpehjul. Redusere risiko.
Ledeapparat	Rehabilitering av rivninger på ledeskovlene (sveising og sliping), evt. utskifting av ledeskovlene til nye skovler med endetetninger.	Noen ledeskovler har rivninger mot nedre ring. Vurdere lønnsomheten og nytteverdien av nye ledeskovler med endetetninger.
Sugerørskonus	Demonteres, sandblåses og påføres ny overflatebehandling.	Demonteres for å få tilgang til løpehjulet. Sandblåses og påføres ny overflatebehandling.
Sugerør	Sandblåses før det påføres ny overflatebehandling.	Vurdere om malingsoverflatene ved rehabiliteringstidspunktet er av tilstrekkelig kvalitet. Kvaliteten på malingsoverflatene må være så god at malingsoverflatene holder like lenge som annet rehabilitert utstyr er forventet å vare.

Norconsult vurderte i 2014 en oppgraderingsmulighet på løpehjulet, men konkluderte med at akselen ikke kunne overføre en større mekanisk energi enn dagens overføring. Det nye løpehjulet kan derfor ikke ha en høyere kapasitet enn dagens løpehjul, med mindre akselstrengen byttes. [24] [3]

Rehabilitering turbin:

Alle hovedkomponentene for turbin rehabiliteres, inkludert løpehjul, se Tabell 23.

Tabell 23: Tiltak for turbinkomponenter ved rehabilitering.

Tiltak - Rehabilitering turbin		
Komponent	Tiltak	Begrunnelse
Spiralromme	Sandblåses før det påføres ny overflatebehandling.	Vurdere om malingsoverflatene ved rehabiliteringstidspunktet er av tilstrekkelig kvalitet. Kvaliteten på malingsoverflatene må være så god at malingsoverflatene holder like lenge som annet rehabilitert utstyr er forventet å vare.
Stagring og stagsøyler	Sveises (om nødvendig), sandblåses og påføres ny overflatebehandling.	Stagringen hadde under TEs visuelle inspeksjon i 2013 partier med malingsslitasje. Utbedres for å sikre god teknisk tilstand for en tidsperiode frem i tid.
Turbinaksel	Ingen.	Akselen er i god teknisk tilstand.
Løpehjul	Gammelt løpehjul demonteres, sveises og slipes.	Slitasje på gammel løpehjul. Redusere risiko.
Ledeapparat	Rehabilitering av rivninger på ledeskovlene (sveising og sliping), evt. utskifting av ledeskovlene til nye skovler med endetetninger.	Noen ledeskovler har rivninger mot nedre ring. Vurdere lønnsomheten og nytteverdien av ledeskovler med endetetninger.
Sugerørskonus	Demonteres, sandblåses og påføres ny overflatebehandling.	Demonteres for å få tilgang til løpehjulet. Sandblåses og påføres ny overflatebehandling.
Sugerør	Sandblåses før det påføres ny overflatebehandling.	Vurdere om malingsoverflatene ved rehabiliteringstidspunktet er av tilstrekkelig kvalitet. Kvaliteten på malingsoverflatene må være så god at malingsoverflatene holder like lenge som annet rehabilitert utstyr er forventet å vare.

7.2.2 Generator

Den tekniske tilstanden til generatoren er generelt veldig god. En revisjon av generatoren vil gjennomføres for å redusere sviktsannsynligheten på kritiske skadetyper og sikre langvarig drift. Ved å skifte ut de mest kritiske skadetyperne øker man restlevetiden på generatoren.

Det bør gjennomføres en visuell inspeksjon av generatoren før revisjonen der man vurderer hvilke tiltak som bør gjennomføres under produksjonsstansen. Det er allikevel ikke mulig å få inspisert generatoren hundre prosent før rotoren løftes ut. De mest kritiske komponentene med tanke på svikt kan planlegges i forkant, mens de mer usikre komponentene kan innlegges i opsjonsalternativer. De forskjellige tiltakene for stator og rotor er henholdsvis oppgitt i Tabell 24 og Tabell 25.

Tabell 24: Tiltak stator.

Tiltak – Revisjon Stator		
Komponent	Tiltak	Begrunnelse
Sporkiler	Bytte av sporkiler.	Vurdere tilstanden til sporkilene (kilekontroll) og eventuelt bytte om tilstanden på disse er dårlig (løse kiler, klare tegn til passrust). Byttes til bølgefjærkiler. Erfaringsmessig noe som bør skiftes, men tilstanden i 2013 var god.
Diverse gjennomføringer	Bytte av isolasjonsmateriale.	Vurdere tilstanden og bytte gjennomføringer med nedbrutt isolasjon. Gjennomføringer med Bakelitt-isolasjon byttes uansett.
Luftkjølere	Bytte av 4 stk. generatorkjølere.	Nærmer seg sin forventede levetid og er klare for utskifting. Få grader temperaturstigning.
Stator	Rengjøring med CO ² .	Rengjøre stator for tilsmussing.

Tabell 25: Tiltak rotor.

Tiltak – Revisjon Rotor		
Komponent	Tiltak	Begrunnelse
Vindingsisolasjon	Utskifting av vindingsisolasjon.	Markant endring i akselkastet og vibrasjonsnivået når rotoren magnetiseres. Registrert utglidning av vindingsisolasjon i 2013.
Bremser og bremsering	Rengjøre bremser og bremsering for tilsmussing.	Bremser og bremsering er tilsmusset og trenger rengjøring.
Sleperinger	Omdreining av sleperinger.	Sleperingen har ujevnheter og hakk og bør omdreies under neste revisjon.
Rotor	Rengjøring med CO ² .	Rengjøre rotor for tilsmussing.

7.2.3 Annet

Tabell 26: Tiltak annet utstyr.

Tiltak - Annet		
Komponent	Tiltak	Begrunnelse
Mindre ventiler tilkoblet vannvei	Utskifting av gamle ventiler med nye ventiler. Ventilene er allerede innkjøpt og ligger på anlegg.	Flere av ventilene er korrosjonsangrepet.
Ventilstyring	Utskifting av nåværende system med ny ventilstyring.	Gammelt system. Utgående kunnskapsnivå og begrenset tilgang på reservedeler. Lang leveringstid. Høy konsekvens ved svikt.
Oljetrykksanlegg	Utskifting av nåværende lavtrykksanlegg med høytrykksanlegg.	Gammelt system. Utgående kunnskapsnivå og begrenset tilgang på reservedeler. Lang leveringstid. Nytt system vil gi lavere vedlikeholdskostnader.
Børsteavsug	Vurdere nytt børsteavsug i generatortopp.	Vurdere positive virkninger av et børsteavsug og vurdere om en investering er forsvarlig å utføre.
Magnetiserings-transformator	Vurdere risiko.	Magnetiseringstransformatoren er gammel til tørrisolert transformator å være, men transformatoren står under gode forhold og har en lav driftstid. Risikoen bør vurderes med tanke på store utilgjengelighetskostnader ved svikt.
Fjernstyring	Installere nytt fjernstyringssystem.	Dagens fjernstyring fungerer dårlig og tilgangen på reservedeler er få/ingen. Svikt av fjernstyringen betyr at stasjonen må driftes lokalt. Skiftes.
Monotemp - temperatur-overvåkning	Installere et nytt temperaturovervåkningssystem.	Monotemp-enheten er ødelagt på grunn av varmgang. Finnes ikke reservedeler for å utbedre. Må skiftes.

7.3 Alternativer

Under dette delkapitlet er forskjellige løsningsalternativer for rehabilitering- og/eller reinvesteringstiltak av turbin og generator opplistet. Kun de mest interessante løsningsalternativene er presentert. Det vil også finnes andre løsningsalternativer som kan være aktuelle, men som ikke er opplistet under. For å begrense omfanget av analysen vil det alltid være nødvendig å avgrense analysen med hensyn på løsningsalternativer.

Kun de mest aktuelle av de opplistede alternativene under vil bli brukt videre i beregningene og analysen. Det er allikevel viktig å merke seg at det finnes mange forskjellige kombinasjoner av løsningsalternativer og ikke alle kan vurderes og analyseres.

Løsningsalternativene er sammensatt av utbedringstiltakene *generatorrevisjon*, *reinvestering turbin*, *rehabilitering turbin* og *vedlikehold turbin*. Etter gjennomført tiltak forventes det at komponentene holder en helhetlig god teknisk tilstand over en forventet tidsperiode. Målet med et tiltak er å redusere sannsynlighetene for svikt, og dermed også redusere risikoen. Den tiden et tiltak forventes å vare før en ny investering må gjennomføres, kalles økonomisk levetid. Den økonomiske levetiden på de ulike utbedringstiltakene er oppgitt i Tabell 27. Den totale analyseperioden på løsningsalternativene er satt til 30 år. De ulike løsningsalternativene er presentert under tabellen.

Forutsetninger for sviktberegninger for de ulike utbedringstiltakene (Tabell 27) er presentert i neste delkapittel 7.4. For utbedringstiltak *vedlikehold turbin*, antas det en reversering av sviktsannsynlighetene med ti år. Med det menes at den tekniske tilstanden til komponenten/enheten etter vedlikeholdet antas å ha samme teknisk tilstand som enheten/komponenten hadde ti år tidligere.

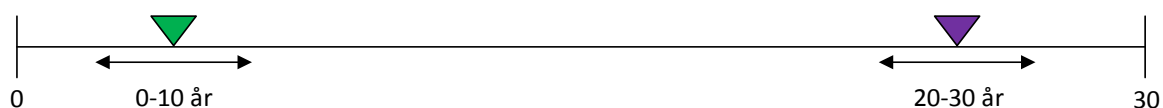
Tabell 27: Teknisk levetid før nytt utbedringstiltak bør iverksettes.

Økonomisk levetid		
Markering i løsningsalternativ	Utbedringstiltak	Levetid [år]
▼	Generatorrevisjon	20
▼	Reinvestering turbin	20
▼	Rehabilitering turbin	20
▼	Vedlikehold turbin	10

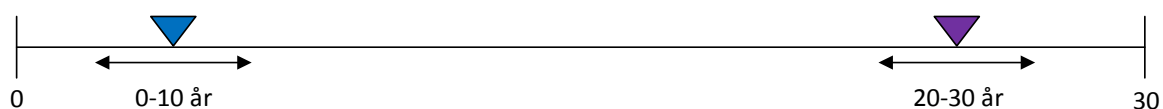
Løsningsalternativer turbin:

Ulike alternativer for utbedring av turbin er foreslått i Figur 33, Figur 34, Figur 35 og Figur 36. Alle alternativene kan beregnes med eller uten nye ledeskovler med endetetninger.

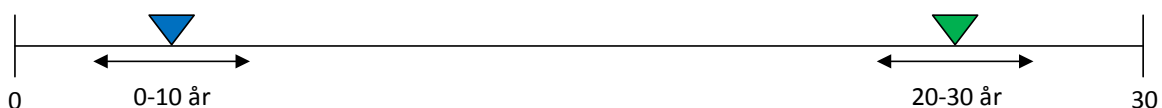
Figur 33: Reinvestering turbin og vedlikehold turbin.



Figur 34: Rehabilitering turbin og vedlikehold turbin.



Figur 35: Rehabilitering turbin og reinvestering turbin.



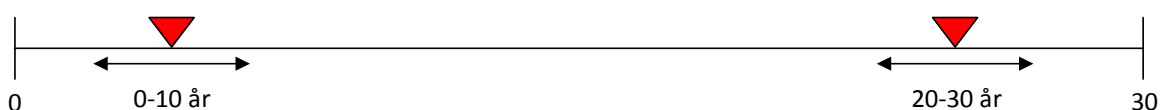
Figur 36: Reinvestering turbin og rehabilitering turbin.



Løsningsalternativer generator:

Alternativ for generatorrevisjon er foreslått i Figur 37.

Figur 37: Generatorrevisjoner.



Løsningsalternativer felles:

Ulike fellesalternativer for turbin og generator er foreslått i Figur 38, Figur 39, Figur 40 og Figur 41.

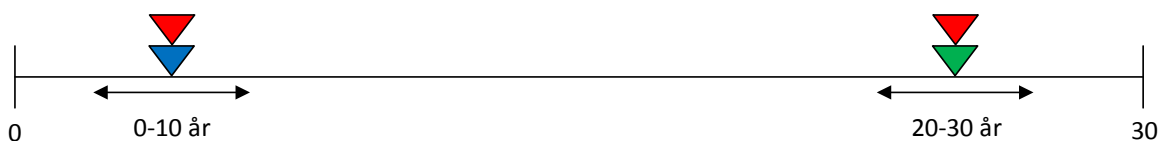
Figur 38: Reinvestering/Generatorrevisjon og Vedlikehold/Generatorrevisjon.



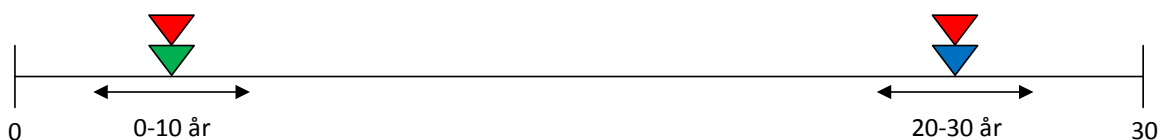
Figur 39: Rehabilitering/Generatorrevisjon og Vedlikehold/Generatorrevisjon.



Figur 40: Rehabilitering/Generatorrevisjon og Reinvestering/Generatorrevisjon.



Figur 41: Reinvestering/Generatorrevisjon og Rehabilitering/Generatorrevisjon.



7.4 Forutsetninger for beregninger

Forutsetninger for beregningene av sviktsannsynligheter er beskrevet i dette delkapitlet. Først er aktuelle sviktmodeller presentert med en figur, før levetidskurver og teknisk tilstand er oppgitt i tabeller. Denne informasjonen blir brukt videre for utregning av sviktsannsynligheter i Excelverktøyet *Estimering sviktsannsynlighet*. Resultatene fra beregningene er presentert i delkapittel 7.8.

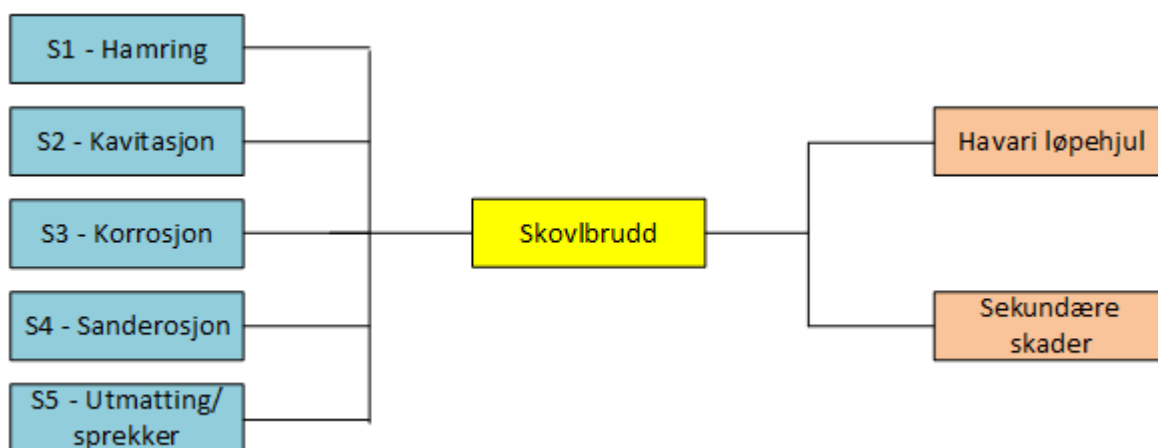
For beregninger og analyse er det valgt å benytte skadetyper med dårlig teknisk tilstand og tilstandskarakter. Skadetyperne S1-S5 på løpehjulet, vindingsisolasjon på rotor og sporkiler på stator benyttes. Disse skadetyperne har til felles å være en av de mest kritiske skadetyperne på komponenten/enheten med hensyn på svikt. De nevnte skadetyperne vil derfor være den største pådragsgiveren for å utbedre tilstanden på komponenten/enheten. Optimalt tidspunkt for utbedring beregnes og analyseres med disse skadetyperne til grunn.

Ved sviktsannsynlighetsberegningene benyttes teknisk tilstand (kapitel 7.1) og levetidskurver. Forutsetningene for levetidskurver er oppgitt i dette kapitlet.

7.4.1 Turbin

Løpehjul:

Det finnes fem forskjellige skadetyper for Francis løpehjul. Felles for alle skadetyperne er at de har skovlbrudd som sviktårsak. En konsekvens av et skovlbrudd er havari på løpehjulet. Et havari på løpehjulet kan også føre til følgeskader i form av sekundære skader på annet utstyr i turbinen. Denne konsekvensen blir kalt *sekundære skader*. Det kan også oppstå andre konsekvenser, men denne analysen begrenser seg til *havari løpehjul* og *sekundære skader*. En illustrasjon av sviktmodellen for løpehjul er vist i Figur 42.



Figur 42: Sviktmodell for løpehjul.

Levetidskurvene brukt i beregningene av sviktsannsynlighet på skadetyperne av løpehjulet er oppgitt i Tabell 28. Levetidskurvene tar utgangspunkt i ekspertvurderinger [35] og er tilpasset noe etter aggregattype og bruksmønster for Litjfossen kraftverk.

Tabell 28: Levetidskurver løpehjul.

Levetidskurver - Løpehjul					
Komponent		Svikt	Skadetype	Levetidskurve [år]	
				Varighet T1-T4	10 prosentil T1-T4
Turbin	Løpehjul	Skovlbrudd	Hamring	25 – 15 – 7 – 3	20 – 10 – 4 - 1
			Kavitasjon	20 – 10 – 8 - 2	15 – 7 – 5 – 0,5
			Korrosjon	30 – 20 – 8 - 2	20 – 10 – 4 - 1
			Sanderosjon	20 – 15 – 10 – 5	15 – 10 – 6 - 2
			Utmatting/sprekker	30 – 10 – 7 – 3	20 – 6 – 3 - 1

Teknisk tilstand av løpehjul før og etter rehabiliterings- og reinvesteringstiltak er oppgitt i Tabell 29. Tilstanden til skadetyperne for løpehjulet etter rehabilitering er antatt til tilstandskarakter en. Levetiden for tilstandskarakter en i levetidskurvene for skadetyperne på løpehjulet er mellom 20 og 30 år. Dette medfører at valg av tilstandskarakter (1+, 1 og 1-) etter endt rehabilitering får store utslag på forventet restlevetid. Vurderes tilstanden til 1+ i tilstandsperiode en, kan dette bety en forskjell på 10-15 år restlevetid lenger sammenlignet med tilstandskarakter 1-. En endring i vurderingen av tilstandskarakteren gir derfor utslag i lønnsomhetsberegningene. Teknisk tilstand etter rehabilitering kunne derfor vært et parameter å vurdert i følsomhetsanalysene.

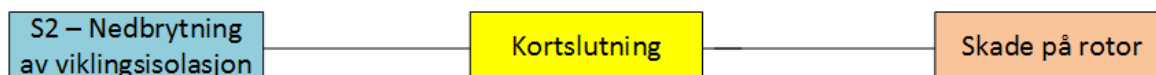
Tabell 29: Teknisk tilstand løpehjul.

Teknisk tilstand - Løpehjul						
Komponent		Svikt	Skadetype	Tilstandskarakter (TK)		
				Start analyseperiode	Etter rehabilitering	Etter reinvestering
Turbin	Løpehjul	Skovlbrudd	Hamring	2	1	Ny
			Kavitasjon	2-	1	Ny
			Korrosjon	2	1	Ny
			Sanderosjon	2	1	Ny
			Utmatting/sprekker	2	1	Ny

7.4.2 Generator

Polspoler rotor:

Skadetypen *nedbrytning av vindingsisolasjon* er en typisk skadetype på polspoler. Når isolasjonen mellom viklingene slites bort oppstår en *vindingskortslutning*. Flere kortslutninger kan skape uakseptable vibrasjoner i generatoren og feilen må utbedres (*skade på rotor*). *Nedbrytning av vindingsisolasjon* er en skadetype som påvirkes negativt av mye start og stopp av aggregatet. Litjefossen kraftverk har mye start og stopp, se Vedlegg 2. Illustrasjon av sviktmodellen er vist i Figur 43.



Figur 43: Sviktmodell for polspoler.

Levetidskurven brukt i beregningene av sviktsannsynlighet på skadetypen *nedbrytning av vindingsisolasjon* er oppgitt i Tabell 30. Levetidskurvene er hentet fra ekspertvurderinger [35].

Tabell 30: Levetidskurver for polspoler.

Levetidskurver - Polspole					
Komponent		Svikt	Skadetype	Levetidskurve [år]	
				Varighet T1-T4	10 prosentil T1-T4
Rotor	Polspoler	Kortslutning	«S2» Nedbrytning av vindingsisolasjon.	30 – 10 – 10 – 3	25 – 8 – 6 – 2

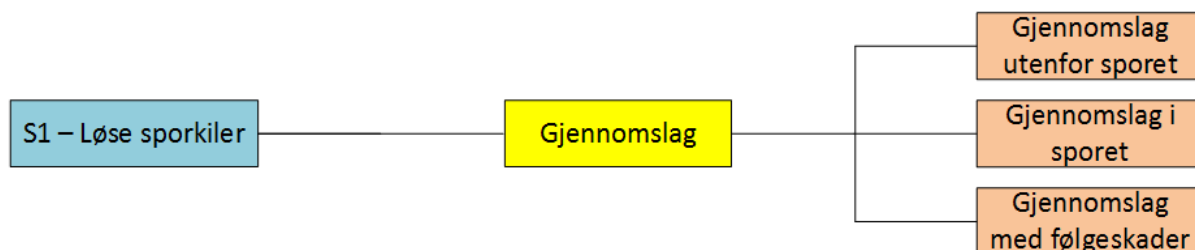
Teknisk tilstand før og etter rehabilitering for polspolene er oppgitt i Tabell 31.

Tabell 31: Teknisk tilstand polspole.

Teknisk tilstand - Polspole						
Komponent		Svikt	Skadetype	Tilstandskarakter (TK)		
				Start analyseperiode	Etter tiltak	Tiltak
Rotor	Polspoler	Kortslutning	«S2» Nedbrytning av vindingsisolasjon	3	1	Rehabilitering

Sporkiler stator:

De mekaniske- og termiske kreftene vindingene i stator blir påført ved drift av aggregatet påvirker sporkilene slik at disse kan løsne (*løse sporkiler*). Temperaturforandringer (termiske krefter) ved start og stopp gir ekstra stor belastning på sporkilene. En av svikthendelsene til skadetypen *løse sporkiler* er *gjennomslag*. Løse sporkiler vil føre til at viklingene begynner å vibrere i sporet. Dette kan føre til siging av viklingene og gjennomslag kan oppstå. Det er valgt å benytte tre konsekvenser av et gjennomslag: *gjennomslag utenfor sporet*, *gjennomslag i sporet*, *gjennomslag med følgeskader*. Se Figur 44 for sviktmodell av skadetypen løse sporkiler.



Figur 44: Sviktmodell for løse sporkiler.

Levetidskurvene brukt i beregningene av sviktsannsynlighet på skadetype *løse sporkiler* er oppgitt i Tabell 32. Levetidskurvene er estimert.

Tabell 32: Levetidskurver for løse sporkiler.

Levetidskurver – Løse sporkiler					
Komponent		Svikt	Skadetype	Levetidskurve [år]	
				Varighet T1-T4	10 prosentil T1-T4
Stator	Sporkiler	Gjennomslag	«S1» Løse sporkiler	30 – 8 – 4 - 1	20 – 5 – 2 – 0,5

Teknisk tilstand før og etter rehabilitering for sporkiler er oppgitt i Tabell 33. Den tekniske tilstanden på sporkilene ble vurdert til tilstandskarakter en under den visuelle inspeksjonen i 2013. Allikevel er sporkiler noe som erfaringsmessig kan være hensiktsmessig å utbedre under en større revisjon av generator. Når noen sporkiler løsner, skaper dette mer belastning på de gjenværende sporkilene slik at sannsynligheten for at disse også løsner øker. Det vil derfor oppstå en akselerasjon av prosessen.

Løse sporkiler kan føre til flere mulige konsekvenser, som blant annet siging av viklingselementer, utglidning av mellomlegg, løse viklingselementer, avslitt sporlakk, luftspalte mellom staver og blikkpakke, i tillegg til glimming. Det kan derfor være forsvarlig å utbedre sporkilene på et tidlig tidspunkt.

Den tekniske tilstanden til sporkilene kvalifiserer ikke for tilstandskarakteren to ifølge rapporten Sviktmodell for vannkraftverk: *skadetyper og tilstandskriterier*. Allikevel må det antas noe degradering på sporkilene etter 33 år i drift med mye start og stopp. Det antas derfor at den tekniske tilstanden til sporkilene er 1- .

Tabell 33: Teknisk tilstand løse sporkiler.

Teknisk tilstand – Løse sporkiler						
Komponent		Svikt	Skadetype	Tilstandskarakter (TK)		
				Start analyseperiode	Etter tiltak	Tiltak
Stator	Sporkiler	Gjennomslag	«S1» Løse sporkiler	1-	1+	Rehabilitering

7.5 Kostnader

Dette delkapittelet presenterer kostnadene knyttet til reinvestering- og rehabiliteringstiltakene av turbin og generator for Litjossen kraftverk. Kostnadsoverslagene for reinvesterings- og rehabiliteringstiltakene er i hovedsak estimert av Kjetil Stene fra TrønderEnergi, mens kostnadene merket med apostrofe er basert på egne estimat.

7.5.1 Turbin

Kostnadene ved rehabilitering og reinvestering av turbinsystem er presentert i henholdsvis Tabell 34 og Tabell 35. Vedlikehold på turbin etter 20 år er estimert til 3,5 MNOK.

Rehabilitering turbin:

Tabell 34: Kostnader knyttet til tiltaket *rehabilitering turbin*.

Kostnader knyttet til rehabilitering turbin	
Beskrivelse av kostnad	Kostnadsoverslag [MNOK]
Rehabilitering eksisterende løpehjul	1,0'
Demontering, montasje og rehabilitering øvrige turbinkomponenter	3,5
Egen arbeidskraft	1,0
Nye ledeskovler med endetetninger	1,2
Utilgjengelighetskostnader demontering/montering 12 uker	0,0
Vedlikehold (20 år etter rehabilitering)	3,5

Reinvestering løpehjul:

Tabell 35: Kostnader knyttet til tiltaket *reinvestering turbin*.

Kostnader knyttet til reinvestering turbin	
Beskrivelse av kostnad	Kostnadsoverslag [MNOK]
Nytt løpehjul inkl. nye ledeskovler med endetetninger	7,0
Demontering, montasje og rehabilitering øvrige turbinkomponenter	3,5
Konsulenttenester	1,2
Egen arbeidskraft	1,0
Utilgjengelighetskostnader demontering/montering 12 uker	0,0
Vedlikehold (20 år etter reinvestering)	3,5

7.5.2 Generator

Kostnadene ved rehabilitering av polspoler rotor og kostnadene ved rehabilitering av sporkiler stator er presentert i henholdsvis Tabell 36 og Tabell 37. Vedlikehold på generatoren etter 20 år er estimert til 3,3 MNOK.

Polspoler rotor:

Tabell 36: Kostnader knyttet til rehabilitering av polspoler på rotor.

Kostnader knyttet til rehabilitering polspoler rotor	
Beskrivelse av kostnad	Kostnadsoverslag [MNOK]
Bytte av viklingsisolasjon	1,0'
Demontering- og montasjekostnader	0,5'
Andre vedlikeholdskostnader	0,7'
Vedlikehold rotor (20 år etter revisjon)	1,65'

Sporkiler stator:

Tabell 37: Kostnader knyttet til rehabilitering av sporkiler på stator.

Kostnader knyttet til rehabilitering sporkiler stator	
Beskrivelse av kostnad	Kostnadsoverslag [MNOK]
Nye sporkiler med bølgefjær	0,1'
Demontering- og montasjekostnader	0,4'
Andre vedlikeholdskostnader	0,6'
Vedlikehold stator (20 år etter revisjon)	1,65'

7.5.3 Utilgjengelighetskostnader

Utilgjengelighetskostnader er kostnader knyttet til tapte produksjonsinntekter ved at vann må slippes forbi kraftverket på grunn av at kraftstasjonen er utilgjengelig for produksjon av elektrisk energi. Dette kan være på grunn av svikt på essensielle komponenter eller på grunn av planlagte rehabiliteringstiltak. Forskjellen på de to overnevnte utilgjengelighetsperiodene er at den førstnevnte er uventet og den sistnevnte er ventet. En ventet stopp kan planlegges slik at minst mulig vann går tapt under rehabiliteringsperioden. Innerdalsmagasinet er et stort magasin, og mulighetene for å redusere utilgjengelighetskostnadene ved ventede utbedringstiltak er mulig. Ved en svikt på essensielle komponenter vil utilgjengeligheten på kraftverket komme uventet. Dette kan medføre at vann må slippes forbi kraftverket på et tidligere stadiet.

Tilsiget fra nedslagsfeltet til Innerdalsmagasinet varierer med årstidene. Kjøremønsteret på aggregatet og vannivået i Innerdalsmagasinet varierer også med tiden. Det er derfor flere faktorer som spiller inn på hvor store kostnader en utilgjengelighetsperiode vil medføre. I denne oppgaven er et *worst case* scenario benyttet, der Innerdalsmagasinet er fullt (HRV) når svikthendelsen i kraftstasjonen inntreffer. I beregningene av flomtapet er gjennomsnittlig produsert effekt de siste 10-årene benyttet, se Vedlegg 2. Flomtapet er oppgitt i Tabell 38. Verdier i Tabell 38 er benyttet videre i analysen for beregning av utilgjengelighetskostnader for de ulike løsningsalternativene.

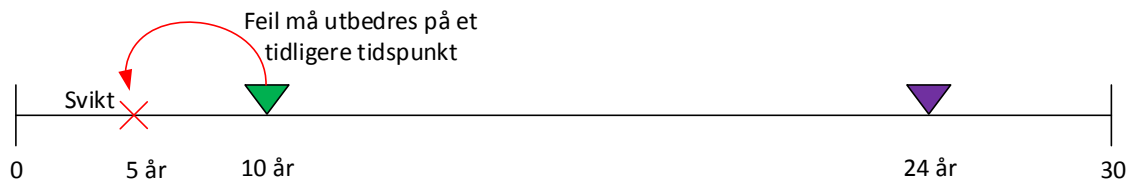
Kostnaden ved tapt inntekt finnes ved å multiplisere flomtapet med kraftprisen. Kraftprisen var 263,57kr/MWh for region Trondheim i 2014, se kapittel 7.7.1.

Tabell 38: Utilgjengelighetskostnader - *worst case* scenario.

Utilgjengelighetskostnader Litjossen kraftverk				
	Dag	Uke	Måned	År
[GWh]	0,4	3,0	12,9	155
[KNOK]	105	791	3 400	40 853

7.5.4 Korrigerende for tidlige svikthendelser

Det vil alltid være en sannsynlighet for at det oppstår en svikt på utstyret. Hvis denne svikten forekommer før tiltaket for utbedring trer i kraft, vil dette medføre at det må investeres på et tidligere tidspunkt enn planlagt. Figur 45 viser en planlagt reinvestering i år 10, men svikten oppstår i år 5. For å få kraftverket operativt igjen, må feilen utbedres og reinvesteringen må gjøres i år 5.



Figur 45: Svikthendelse inntreffer før planlagt utbedring av utstyret.

En forenklet måte å ta høyde for dette i lønnsomhetsberegningene er å redusere kostnaden av tiltaket med sannsynligheten for at tiltaket gjennomføres tidligere enn planlagt. Hvis sannsynligheten for svikt de 9 første årene er 15 %, vil det være 85 % sannsynlighet for at tiltaket med reinvestering i år 10 gjennomføres som planlagt. Sannsynligheten multipliseres med den nominelle investeringskostnaden (B_N) for reinvesteringer og danner total kostnad (TK). Investeringskostnaden settes til 10 000 kNOK.

$$TK = B_N * 0,85 \quad (7.1)$$

$$TK = 10\,000 \text{ kkr} * 0,85 \quad (7.2)$$

$$TK = 8\,500 \text{ kkr} \quad (7.3)$$

Med kalkulasjonsrente på 6,3 % p.a. beregnes nåverdien av sviktkostnadene:

$$NV = TK * 1,063^{-10} \quad (7.4)$$

$$NV = 8\,500 \text{ kkr} * 1,063^{-10} \quad (7.5)$$

$$NV = 4614,1 \text{ kkr} \quad (7.6)$$

Ved å benytte denne metoden tar man høyde for at svikt kan oppstå før utbedringstiltaket blir gjennomført. Dette vil gi en mer presis og nøyaktig økonomisk beregning av løsningsalternativene. Det er ikke tatt høyde for denne korrigeringen av investeringskostnadene i rapporten.

7.5.5 Skatter og avgifter

Kraftverkseier er pålagt å betale skatter og avgifter. Skattene som inngår i *kraftskatter for vannkraftverk* er grunnrenteskatt, naturressursskatt og eiendomsskatt. Det foreligger også avgifter kraftverkseier må betale, som for eksempel konsesjonskraft. Det er i denne rapporten ikke medregnet skatter og avgifter i lønnsomhetsberegningene.

7.6 Kostnader ved svikt

Kostnadene knyttet til svikt på løpehjulet, polspole og statorvikling er presentert i dette delkapittelet. Kostnadene ved svikt blir benyttet for utregning av kostnader knyttet til risiko for svikt og disse kostnadene blir i lønnsomhetsberegningene oppført som enn negativ inntekt.

7.6.1 Skovlbrudd løpehjul

Et skovlbrudd på løpehjulet kan medføre flere ulike konsekvenser. I denne analysen er konsekvensene *havari løpehjul og sekundære skader* medregnet, se Figur 42 for sviktmodell. I beste tilfelle vil ikke et skovlbrudd på løpehjulet skade andre komponenter i turbinen. I verste tilfelle vil et havari på løpehjulet kunne skade andre turbinkomponenter, og sekundære skader oppstår. Sannsynlighetsvektingen mellom de to konsekvensene er 80 % sjanse for at scenario 1 inntreffer og 20 % sjanse for at scenario 2 inntreffer.

Scenario 1 – Havari løpehjul:

Et skovlbrudd medfører utilgjengelighet av kraftverket. Prosessen med å anskaffe et nytt løpehjul kan ta opptil 18-20 måneder. På grunn av store utilgjengelighetskostnader vil det være lønnsomt å utbedre det havarete løpehjulet. Denne prosessen forseres så mye som mulig, men antas å ta 2 måneder, inkludert demontering og montering (Stans 1). Demontering av gammelt løpehjul og montering av nytt løpehjul antas å ta 2 uker (Stans 2). Utilgjengelighetskostnadene for stans 2 kan reduseres/elimineres ved å drifte aggregatet ekstra i tiden før utskiftingen.

Tabell 39: Scenario 1 - Havari løpehjul.

Scenario 1 – 80 % sannsynlighet	
Beskrivelse	Kostnad [MNOK]
Nytt løpehjul	7,0
Demontering, utbedring og montering (Stans 1)	2,5'
Utilgjengelighetskostnader (Stans 1)	6,8
Demontering og montering (Stans 2)	1,0'
Utilgjengelighetskostnader (Stans 2)	0

Scenario 2 - Havari løpehjul med følgeskader:

Scenario 2 medfører som scenario 1, to perioder med stans. Det forutsettes at de sekundære skadene utbedres under tidsperioden det gamle løpehjulet er under utbedring. Dette medfører kun ekstra utbedringskostnader. Utilgjengelighetsperioden antas å være den samme som scenario 1, to måneder. Demontering og montering av løpehjul i utilgjengelighetsperiode 2 varer 2 uker. Det antas at magasinet rommer tilsiget for 2 uker i utilgjengelighetsperiode 2.

Tabell 40: Scenario 2 - Havari løpehjul med sekundære skader.

Scenario 2 – 20 % sannsynlighet	
Beskrivelse	Kostnad [MNOK]
Nytt løpehjul	7,0
Demontering, utbedring og montering (Stans 1)	2,5'
Utbedring sekundære skader (Stans 1)	1,0'
Utilgjengelighetskostnader (Stans 1)	6,8

Demontering og montering (Stans 2)	1,0'
Utilgjengelighetskostnader (Stans 2)	0

7.6.2 Kortslutning polspole

Kortslutning mellom viklingene i polspolene forekommer ved at isolasjonen mellom viklingene svekkes og blir ødelagt. Dette vil gi kortslutning i en vikling og redusere antall operative viklinger i den polspolen kortslutningen oppstår. Dette vil igjen forårsake magnetisk ubalanse. Denne magnetiske ubalansen er registrert i Litjfossen kraftverk, men den har for liten påvirkning til å kunne slå ut vibrasjonsvernene. Ved en svikthendelse vil det være flere viklingskortslutninger som skaper et så høyt vibrasjonsnivå at vibrasjonsvernene tripper. Konsekvensen er *skade på rotor* og dette må utbedres før aggregatet kan startes igjen. Utilgjengelighetstiden anslås å være en måned.

Tabell 41: Svikkostnader ved kortslutning i polespoler.

Kortslutninger i polspole	
Beskrivelse	Kostnad [MNOK]
Utbedringskostnader inkl. demontering og montering	1,5'
Utilgjengelighetskostnader	3,4

7.6.3 Gjennomslag statorvikling

Konsekvensene av et gjennomslag i statorviklingen er inndelt i 3 scenarioer: *gjennomslag utenfor sporet*, *gjennomslag i sporet* og *gjennomslag med store følgeskader*. Sannsynlighetsvektingen av de overnevnte konsekvensene er henholdsvis 30 %, 60 % og 10 %. Hvert scenario er forklart nærmere under.

Scenario 1 – Gjennomslag utenfor sporet:

Det vil være mulig å gjennomføre en midlertidig reparasjon om gjennomslaget oppstår utenfor sporet ved bruk av lapping. Dette vil redusere utilgjengelighetskostnadene betydelig. Det kan senere finnes et passende reparasjonstidspunkt for å utbedre sporkilene på hele statoren. Det antas at reparasjonstiden for den midlertidige reparasjonen tar 3 dager (stans 1). Stans 2 planlegges, og antas å vare i 2 måneder. I denne perioden skiftes alle sporkilene til nye sporkiler med bølgefjær. Det antas utilgjengelighetskostnader for 1 måned.

Tabell 42: Svikkostnader ved gjennomslag utenfor sporet.

Scenario 1 - Gjennomslag utenfor sporet – 30 % sannsynlighet	
Beskrivelse	Kostnad [MNOK]
Midlertidig reparasjon (Stans 1)	0,05'
Utilgjengelighetskostnader (Stans 1)	0,315
Nye sporkiler med bølgefjær	0,1'
Demontering og montasje (Stans 2)	1,0'
Utilgjengelighetskostnader (1 måned) (Stans 2)	3,4

Scenario 2 – Gjennomslag i sporet:

Det vil være nødvendig å skifte ut hele viklingen om gjennomslaget oppstår i sporet. Ekstra staver er normalt tilgjengelig som reservedeler i kraftstasjoner. Dette er også tilfellet for Litjossen kraftverk. Feilen kan utbedres ved å skifte den ødelagte staven lokalt. Utskiftning av staven er forventet å ta 3 uker (stans 1). Aggregatet kan deretter settes i drift igjen. Ny stans (2 måneder) for utskifting av alle sporkilene, slik som i scenario 1, planlegges og utføres i etterkant av midlertidig reparasjon.

Tabell 43: Sviktkostnader ved gjennomslag i sporet.

Scenario 2 - Gjennomslag i sporet – 60 % sannsynlighet	
Beskrivelse	Kostnad [MNOK]
Midlertidig reparasjon (Stans 1)	0,2'
Utilgjengelighetskostnader (Stans 1)	2,37
Nye sporkiler med bølgefjær	0,1'
Demontering og montasje (Stans 2)	1,0'
Utilgjengelighetskostnader (1 måned) (Stans 2)	3,4

Scenario 3 – Gjennomslag med følgeskader:

Ved dette senarioet får gjennomslaget store følgeskader med skader på blikk og deler av viklingen. Deler av blikk og viklinger må skiftes. Det antas en utilgjengelighetsperiode på 5 måneder.

Tabell 44: Sviktkostnader ved gjennomslag med følgeskader.

Scenario 3 - Gjennomslag med følgeskader – 10 % sannsynlighet	
Beskrivelse	Kostnad [MNOK]
Demontering og montasje	1,5'
Nye viklinger og rehabilitering blikkpakke	8,0'
Utilgjengelighetskostnader (Stans 1)	17

7.7 Inntekter

7.7.1 Kraftpris

Elektrisk kraft omsettes på et åpent marked der tilbud og etterspørsel bestemmer prisene. Kraftprisene kan ha stor innvirkning på om nye investeringer vil være hensiktsmessige å gjennomføre. I lønnsomhetsberegningene benyttes områdepris for Trondheim 2014. Gjennomsnittet for dette året var 263,57 kr/MWh. Det bli antatt at kraftprisen øker med 1% hvert år, slik som TrønderEnergi også kalkulerer med i sine økonomiske beregninger.

Tabell 45: Gjennomsnittlig kraftpris for region Trondheim 2014.

Kraftpris	
Kraftpris	263,57 kr/MWh + 1 % årlig økning

7.7.2 Elsertifikater

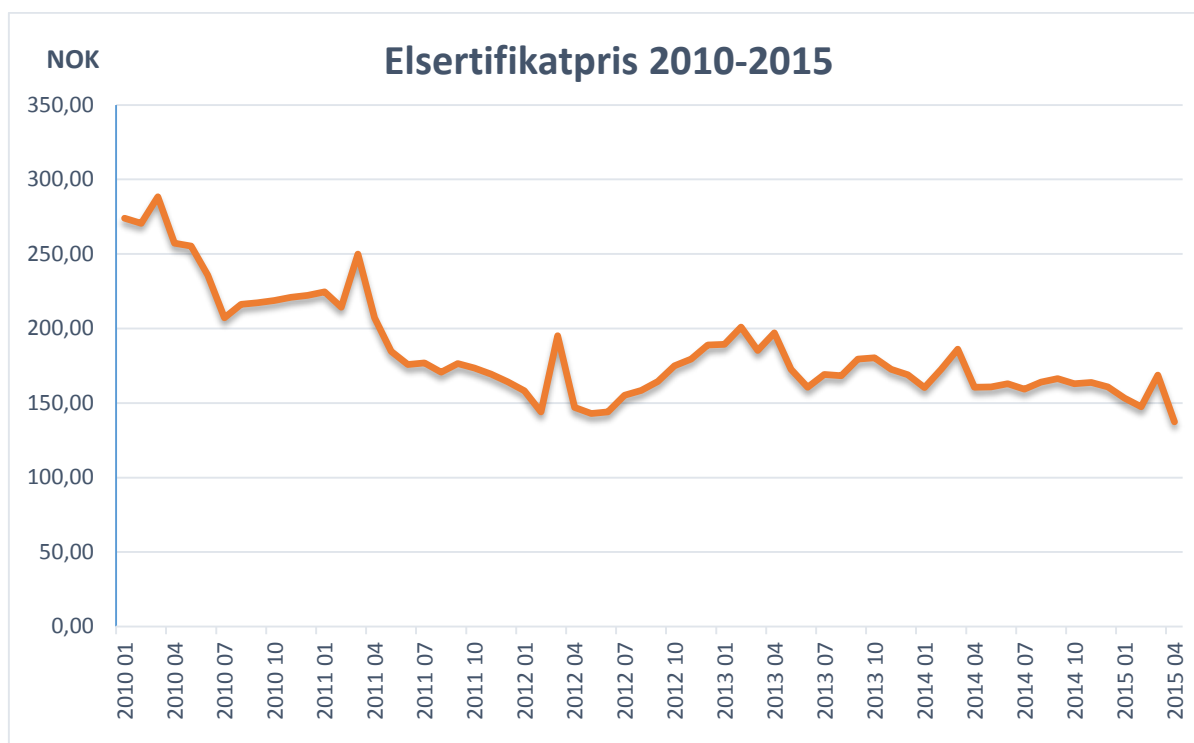
Elsertifikater er en støtteordning for å øke ny fornybar elektrisitetsproduksjon i Norge. All ny fornybar kraft vil være kvalifisert for støtteordningen, enten ved oppgradering av eksisterende anlegg eller ved utbygging av nye fornybare kraftverk. Støtteordningen er finansiert av strømkundene ved at kraftleverandørene inkluderer elsertifikatkostnaden i kraftprisen. Kraftleverandør av den elektriske energien mottar fra staten ett elsertifikat for hver MWh fornybar kraft de produserer i en periode på 15 år etter ferdigstilling. Kraftleverandører kan få støtte til nye investeringer frem til 2020 og elsertifikatordningen varer frem til utgangen av 2035. Elsertifikatordningen er et samarbeid med Sverige hvor målsetningen er å øke kraftproduksjonen på fornybare energikilder med 26,4 TWh. I Norge er det NVE som forvalter elsertifikatordningen.

I denne rapporten vil det enten være tiltaket *reinvestering løpehjul* eller tiltaket *rehabilitering løpehjul* som kvalifiserer til støtte for elsertifikater. Kun oppgraderinger av utstyr som gir virkningsgradsøkning er støtteberettiget. Virkningsgradsøkninger ved rehabilitering av degradert utstyr som bringes tilbake til den virkningsgraden utstyret hadde da det var nytt, er ikke støtteberettiget.

Elsertifikater selges på det åpne markedet og sertifikatprisen vil derfor variere etter tilbud og etterspørsel. Figur 46: Elsertifikatpris mellom årene 2010 og 2015. viser historikken for elsertifikatprisen mellom januar 2010 og april 2015. Gjennomsnittsprisen for denne perioden var 194,3 kr per elsertifikat (Tabell 46). Gjennomsnittsprisen på 194,3 kr per elsertifikat blir brukt videre i lønnsomhetsberegningene.

Tabell 46: Gjennomsnittspris per elsertifikat perioden 2010-2015.

Pris elsertifikater	
1 stk. elsertifikat [pr/MWh]	194,3 kr



Figur 46: Elsertifikatpris mellom årene 2010 og 2015. [36]

7.7.3 Virkningsgradsøkning turbin

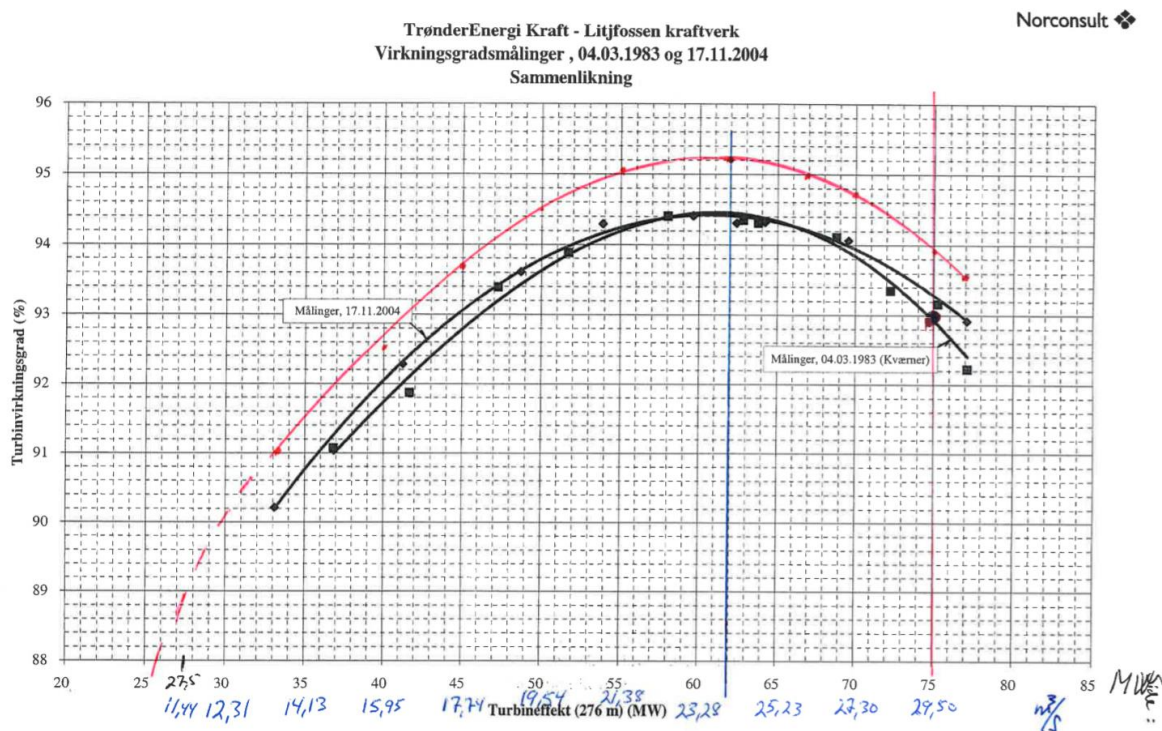
Bedre utnyttelse av vannet i form av økt virkningsgrad på turbinssystemet gir økt produksjon av elektrisk energi. Dette vil gi en ekstra inntekt for kraftverkseier. Både rehabilitering og reinvestering av turbinssystemet vil gi en liten virkningsgradsøkning ved at malingsoverflatene blir utbedret, noe som resulterer i mindre friksjon. Denne virkningsgradsøkningen vil være lik for begge tiltakene og virkningsgradsøkningen vil være lav. Denne virkningsgradsøkningen velges derfor å neglisjeres i beregningene og analysen.

Løpehjul:

Derimot vil reinvestering av nytt løpehjul gi en virkningsgradsøkning på grunn av et bedre optimalisert og designet løpehjul. Denne virkningsgradsøkningen blir medregnet som inntekt for tiltaket *reinvestering turbin*.

Norconsult gjennomførte i 2004 en virkningsgradmåling av eksisterende løpehjul og sammenlignet måleresultatene med virkningsgradmålingene fra 1983, se Figur 47. Det ble konkludert med at eksisterende løpehjul hadde tilnærmet lik virkningsgrad (2004) som ved igangkjøringen av kraftverket (1983). Det ble derfor konkludert med at 21-års drift av løpehjulet ikke hadde påvirket virkningsgraden nevneverdig. I lønnsomhetsberegningene blir det derfor ikke korrigert for noen virkningsgradsøkning på grunn av utbedring av slitasje på løpehjulet.

Den røde grafen (Figur 47) viser ny potensiell virkningsgrad ved bytte av løpehjul. Denne grafen ligger ca. 0,8 prosentpoeng over eksisterende løpehjul ved bestpunkt (94,6%). Virkningsgraden på det nye løpehjulet (95,2 %) blir brukt videre i beregningene ved tiltaket *reinvestering turbin*.



Figur 47: Virkningsgradsmålinger utført i 1983, 2004 og potensiell ny virkningsgrad (rød strek).

En virkningsgradsøkning på 0,8 prosentpoeng vil gi en produksjonsgevinst på 1,24 GWh/år, se formel (7.7). Denne produksjonsgevinsten vil være kvalifisert for å få støtte gjennom elsertifikatsordningen. Denne ekstraintekten inkluderes i lønnsomhetsberegningene.

Produksjonsgevinst med nytt løpehjul:

$$155 \text{ GWh} \times 0,8 \% = 1,24 \text{ GWh/år} \quad (7.7)$$

Endetetninger på ledeskovler:

Det må vurderes lønnsomhet og nytteverdi for utskifting av eksisterende ledeskovler med nye ledeskovler inkludert endetetninger. Endetetninger på ledeskovlene eliminerer lekkasjen mellom ledeskovler og lokkledeflater og virker forbedrende på turbinvirkningsgraden [37]. Endetetninger vil også gi mindre korrosjon og mindre lekkasje når ledeskovlene er i lukket posisjon [38]. Installasjon av ledeskovler med endetetninger vil gi en turbinvirkningsgradsøkning på rundt 0,5 %, avhengig av fallhøyde [14]. Kvittingen kraftverk (bygd 1986) fikk en turbinvirkningsgradsøkning på 0,5 % med en fallhøyde på 251 m. Det kan antas at Litjfossen kraftverk vil, med en fallhøyde på 288,5 m, oppnå omtrent den samme virkningsgradsøkningen som på Kvittingen kraftverk. Potensiell produksjonsgevinst er utregnet i formel (7.8)

Produksjonsgevinst med nye ledeskovler med endetetninger:

$$155 \text{ GWh} \times 0,5 \% = 0,775 \text{ GWh/år} \quad (7.8)$$

I likhet med løpehjulet, vil en virkningsgradsøkning på ledeapparatet være kvalifisert for støtte gjennom elsertifikatsordningen. Ekstraintekten er inkludert i lønnsomhetsberegningene.

7.7.4 Redusert sviktsannsynlighet

Sviktsannsynligheter beregnes først for hver skadetype i Excelverktøyet *Estimering sviktsannsynlighet*. Sviktsannsynlighetene brukes deretter i Excelverktøyet *vedlikeholdskalkyle*, som beregner årlige unngåtte kostnader på grunn av redusert sviktsannsynlighet og tilhørende kostnad ved svikt. Denne kostnaden blir i Excelverktøyet *vedlikeholdskalkyle* oppført som en negativ inntekt. Samme metode for fremvisning av resultatene benyttes også i denne oppgaven.

Den negative inntekten knyttet til de unngåtte kostnadene består av to elementer; *utbedring etter svikt* og *utilgjengelighet på grunn av svikt*. *Utbedring etter svikt* beregnes ved å multiplisere kostnadene knyttet til utbedringer etter svikt med sviktsannsynlighetene for hver skadetype. *Utilgjengelighet på grunn av svikt* beregnes ved å multiplisere kostnadene knyttet til utilgjengelighet etter svikthendelsen med sviktsannsynlighetene. Summen av disse to kostnadene beregnet tilbake til nåverdi, danner den negative inntekten oppgitt i tabellene under kapitel 7.10.

7.8 Resultat av sviktsannsynlighetsberegninger

Forutsetningene for beregning av sviktsannsynligheter ble presentert i kapittel 7.4. En oppsummering av resultatene fra sviktsannsynlighetsberegningene er presentert i dette kapitlet. Ytterligere detaljer fra sviktsannsynlighetsberegningene er vedlagt i Vedlegg 5.

Tabellene i dette delkapitlet oppgir tilstandskarakter og beregnet forventet restlevetid på komponentene før og etter tiltak.

7.8.1 Reinvestering turbin

Forventet restlevetid før og etter reinvestering for de forskjellige skadetyperne på løpehjulet er oppgitt i Tabell 47. Skadetype *kavitasjon* har den korteste restlevetiden både før og etter reinvestering med henholdsvis 11,3- og 40 år.

Tabell 47: Forventet restlevetid for skadetyperne på løpehjulet for *reinvestering turbin*.

Forventet restlevetid – Reinvestering turbin					
Komponent	Skadetype	Før tiltak		Etter tiltak	
		TK	MRL [år]	TK	MRL [år]
Løpehjul	«S1» Hamring	2	15,9	Ny	50
	«S2» Kavitasjon	2-	11,3	Ny	40
	«S3» Korrosjon	2	16,9	Ny	60
	«S4» Sanderosjon	2	20,9	Ny	50
	«S5» Utmatting/sprekker	2	15,0	Ny	50

7.8.2 Rehabilitering turbin

Forventet restlevetid før og etter rehabilitering for de forskjellige skadetyperne på løpehjulet er oppgitt i Tabell 48. Skadetype *kavitasjon* har den korteste restlevetiden både før og etter rehabilitering med henholdsvis 11,3- og 29,1 år.

Tabell 48: Forventet restlevetid for skadetyperne på løpehjulet for *rehabilitering turbin*.

Forventet restlevetid – Rehabilitering turbin					
Komponent	Skadetype	Før tiltak		Etter tiltak	
		TK	MRL [år]	TK	MRL [år]
Løpehjul	«S1» Hamring	2	15,9	1	36,6
	«S2» Kavitasjon	2-	11,3	1	29,1
	«S3» Korrosjon	2	16,9	1	41,8
	«S4» Sanderosjon	2	20,9	1	39,1
	«S5» Utmatting/sprekker	2	15,0	1	31,8

7.8.3 Rehabilitering polspoler

Forventet restlevetid før og etter rehabilitering for skadetype *nedbrytning av vindingsisolasjon* på polsporer er oppgitt i Tabell 49. Før og etter rehabilitering har skadetyper en restlevetid på henholdsvis 10- og 38,1 år.

Tabell 49: Forventet restlevetid for skadetype *nedbrytning av vindingsisolasjon* på polsporer rotor.

Forventet restlevetid – Rehabilitering polspoler					
Komponent	Skadetype	Før tiltak		Etter tiltak	
		TK	MRL [år]	TK	MRL [år]
Polspoler	«S2» Nedbrytning av vindingsisolasjon	3	10,0	1	38,1

7.8.4 Rehabilitering sporkiler

Forventet restlevetid før og etter rehabilitering for skadetype *løse sporkiler* på statoren er oppgitt i Tabell 50. Før og etter rehabilitering har skadetyper en restlevetid på henholdsvis 17,4- og 37,0 år.

Tabell 50: Forventet restlevetid for skadetype *løse sporkiler* på stator.

Forventet restlevetid – Rehabilitering sporkiler					
Komponent	Skadetype	Før tiltak		Etter tiltak	
		TK	MRL [år]	TK	MRL [år]
Sporkiler	«S1» Løse sporkiler	1-	17,4	1+	37,0

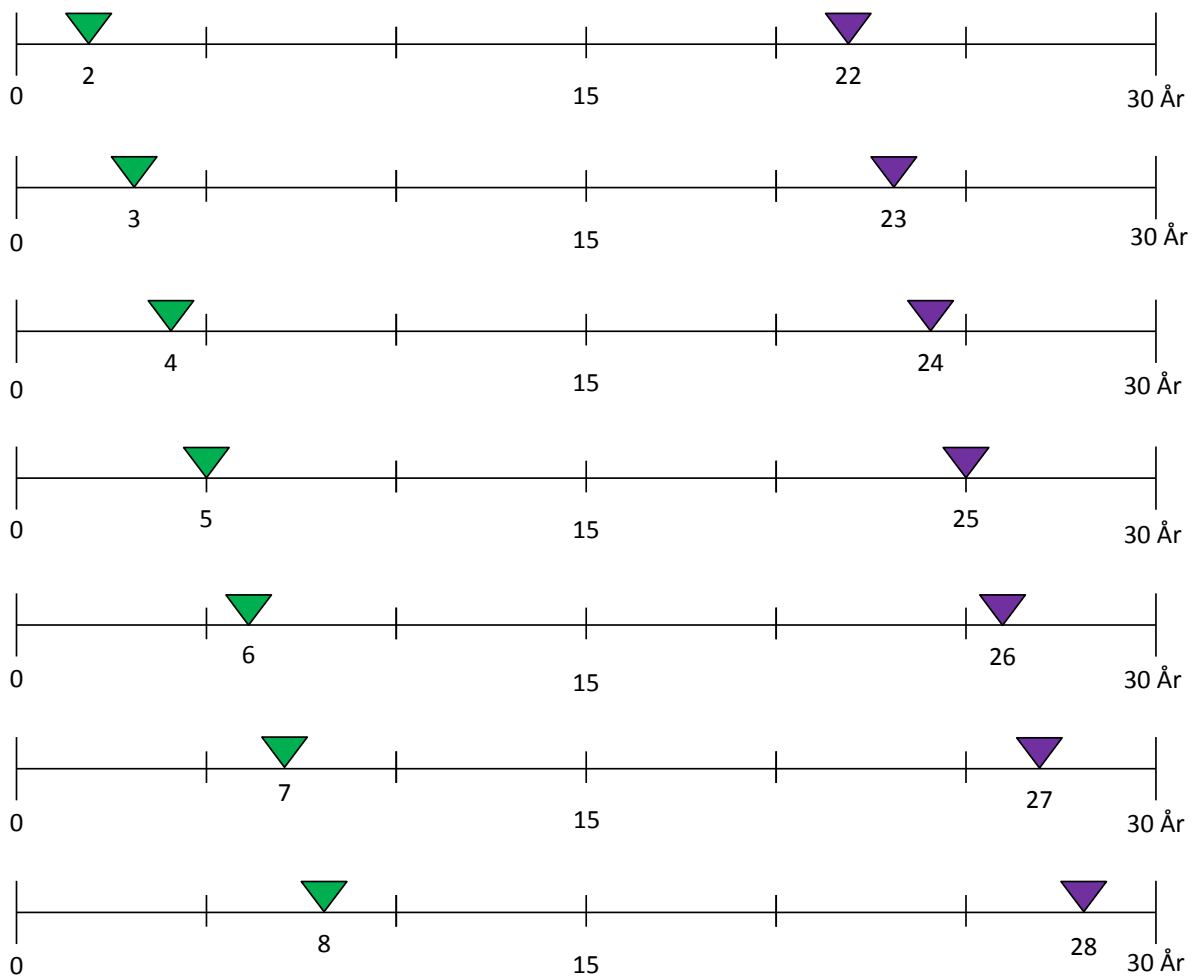
7.9 Beregnende alternativer

I dette delkapittelet er de beregnede alternativene for tiltakene *reinvestering turbin*, *rehabilitering turbin* og *generatorrevisjon* presentert. Tiltakene har en analyseperiode på 30 år. Analyseperioden begynner i år 2015. År 1 i løsningsalternativene tilsvarer derfor år 2016 også videre.

7.9.1 Reinvestering turbin

For tiltaket *reinvestering turbin* er det valgt å beregne nærmere på alternativet med reinvestering og vedlikehold. Tiltaket inkluderer nytt løpehjul inkludert nye ledeskovler med endetetninger. De ulike tidsintervallene for alternativet er illustrert i Figur 48. Resultatene fra beregningene er presentert i kapittel 7.10.1.

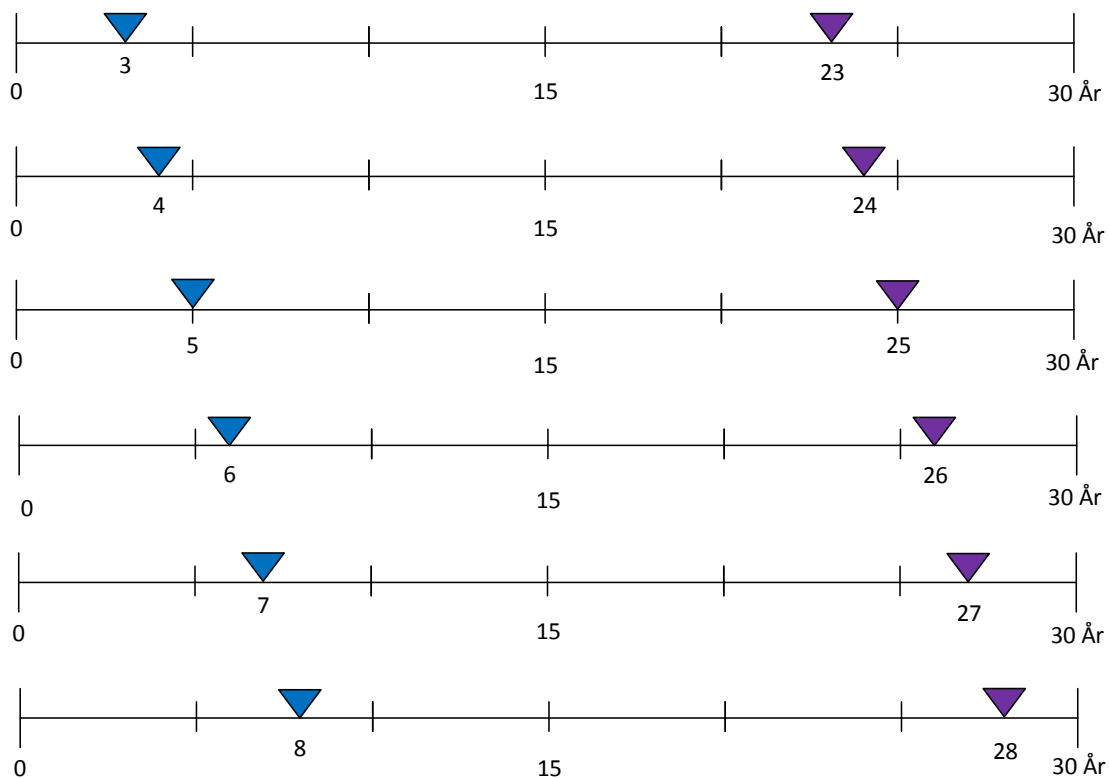
Figur 48: Beregnede alternativer for reinvestering turbin.



7.9.2 Rehabilitering turbin

For tiltaket *rehabilitering turbin* er det valgt å beregne nærmere på alternativet med rehabilitering og vedlikehold. Tiltaket inkluderer rehabilitering løpehjul inkludert nye ledeskovler med endetetninger. De ulike tidsintervallene beregnet for alternativet er illustrert i Figur 49. Resultatene fra beregningene er presentert i kapittel 7.10.2.

Figur 49: Ulike tidsintervaller for rehabilitering turbin.

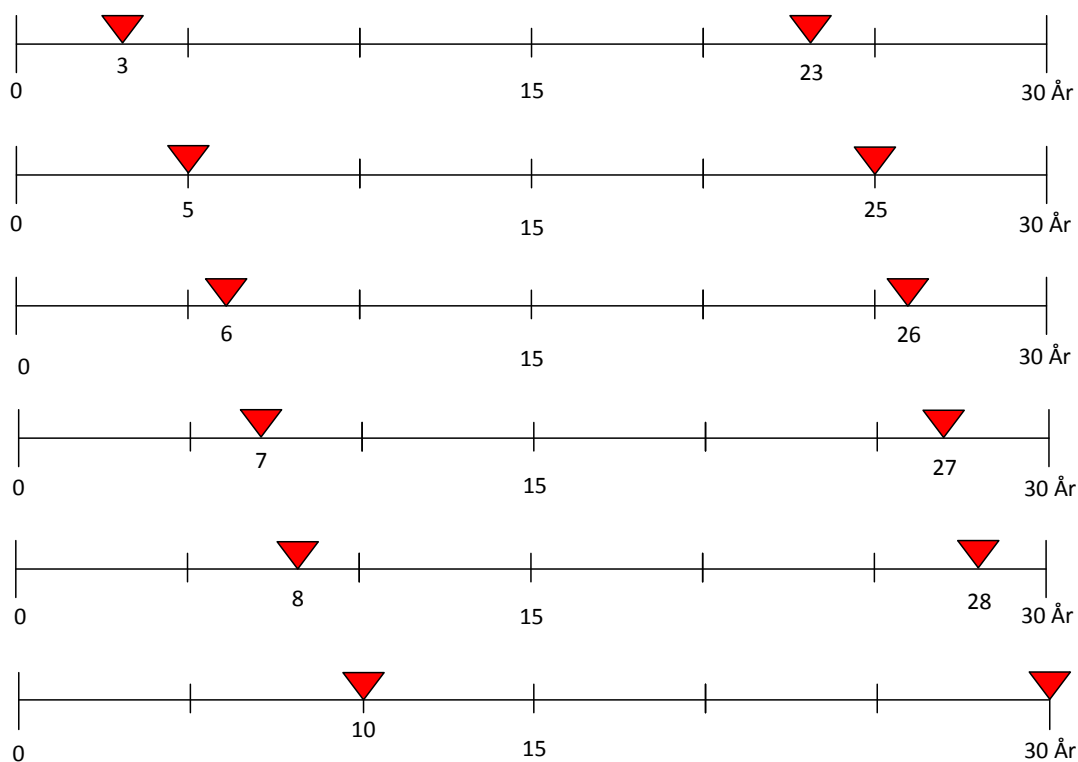


7.9.3 Revisjon generator

For tiltaket *revisjon generator* er det valgt å beregne nærmere på alternativet med revisjon på generatoren. De ulike tidsalternativene for alternativet er illustrert i Figur 50. Resultatene fra beregningene er presentert i kapitel 7.10.3.

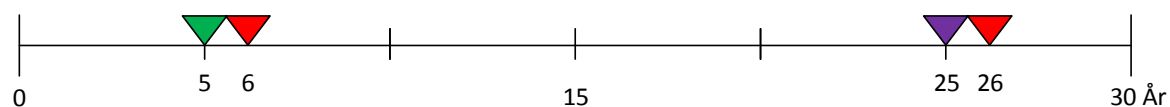
Revisjon generator inkluderer både stator og rotor. Revisjonene er beregnet ut fra skadetypene *polsporer* og *sporkiler*.

Figur 50: Beregnede alternativer for revisjon generator.



7.9.4 Felles

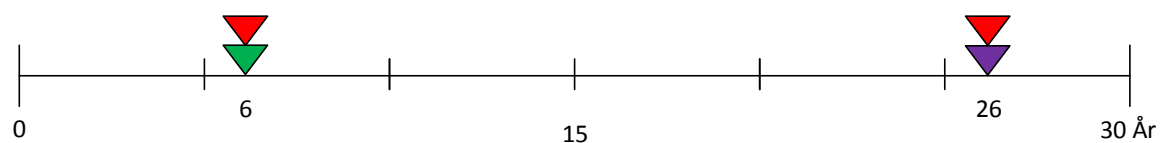
Figur 51: Reinvestering turbin år 5, vedlikehold år 25 og generatorrevisjon år 6 og 26.



Figur 52: Rehabilitering turbin år 5, vedlikehold år 25 og generatorrevisjon år 6 og 26.



Figur 53: Reinvestering turbin år 6, vedlikehold år 26 og generatorrevisjon år 6 og 26



7.10 Resultater

Resultatene fra beregningene på de aktuelle løsningsalternativene er presentert i dette delkapittelet. Resultatene er oppsummert i tabeller med oversikt over både inntekter og kostnader. Alle verdier i beregningene og tabellene er nåverdier. På grunn av at Excelverktøyet *vedlikeholdskalkyle* benytter avrundinger i modellen, vil noen av tallene oppgitt i tabellene ikke stemme 100 % overens. Differansene er allikevel så små at de ikke er av betydning.

En forklaring på hvordan inputdataene er innført i Excelverktøyet *Vedlikeholdskalkyle* er beskrevet nærmere med et eksempel i Vedlegg 6. Excelarkene *Grunnlagsdata* og *Resultat* for hvert enkelt tiltak er vedlagt i Vedlegg 8.

Resultatene fra de aktuelle løsningsalternativene og sviktsannsynlighetene blir grafisk presentert. Den første grafen i delkapitlene presenter hvordan resultat og sviktsannsynlighet utvikler seg med de ulike tiltaksårene. Sviktsannsynlighetene i denne grafen er en addering av sviktsannsynligheten av alle skadetyper over hele analyseperioden til hvert enkelt løsningsalternativ. Dette er en forenkling og i realiteten ville den totale sviktsannsynligheten vært noe lavere, men grafen gir et godt bilde på hvordan sviktsannsynlighetene utvikler seg.

Den andre grafen i hvert delkapittel viser den totale sviktsannsynlighet for hver enkelte skadetype igjennom hele analyseperioden for hvert enkelt løsningsalternativ. Disse sviktsannsynlighetene for skadetyper er benyttet for utregning av sviktkostnadene i løsningsalternativene og danner den negative inntekten *reduisert sviktsannsynlighet* i de kommende tabellene (Tabell 51, Tabell 52 og Tabell 53).

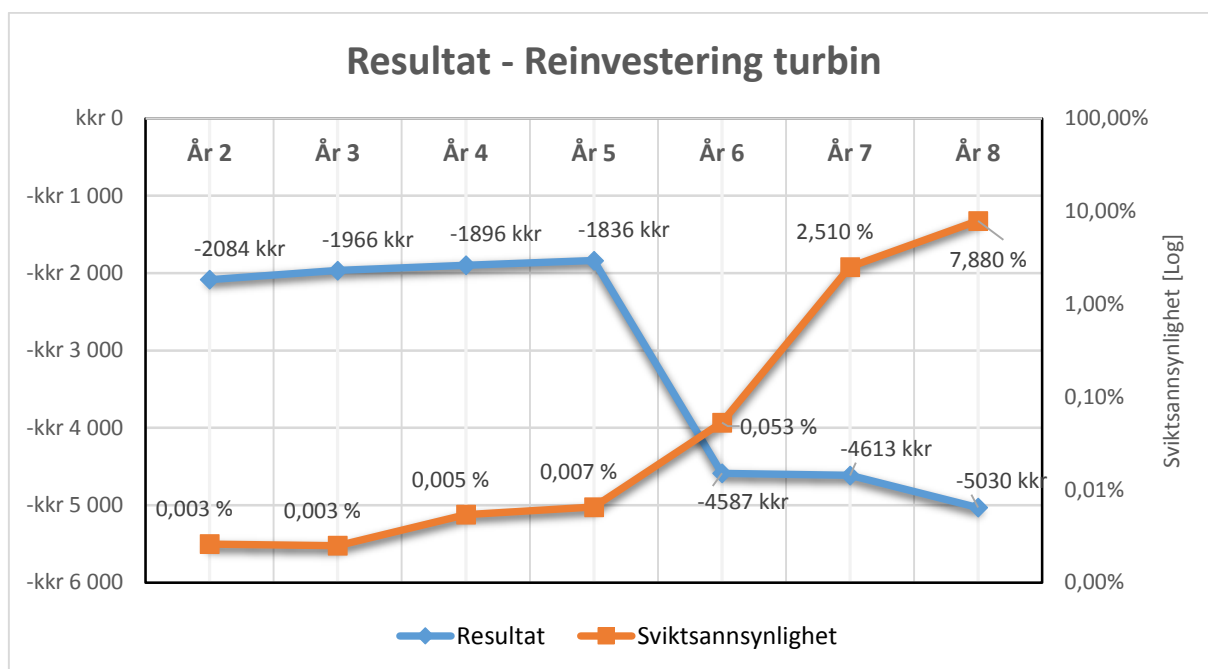
Noen av grafene benytter logaritmisk skala.

7.10.1 Reinvestering turbin

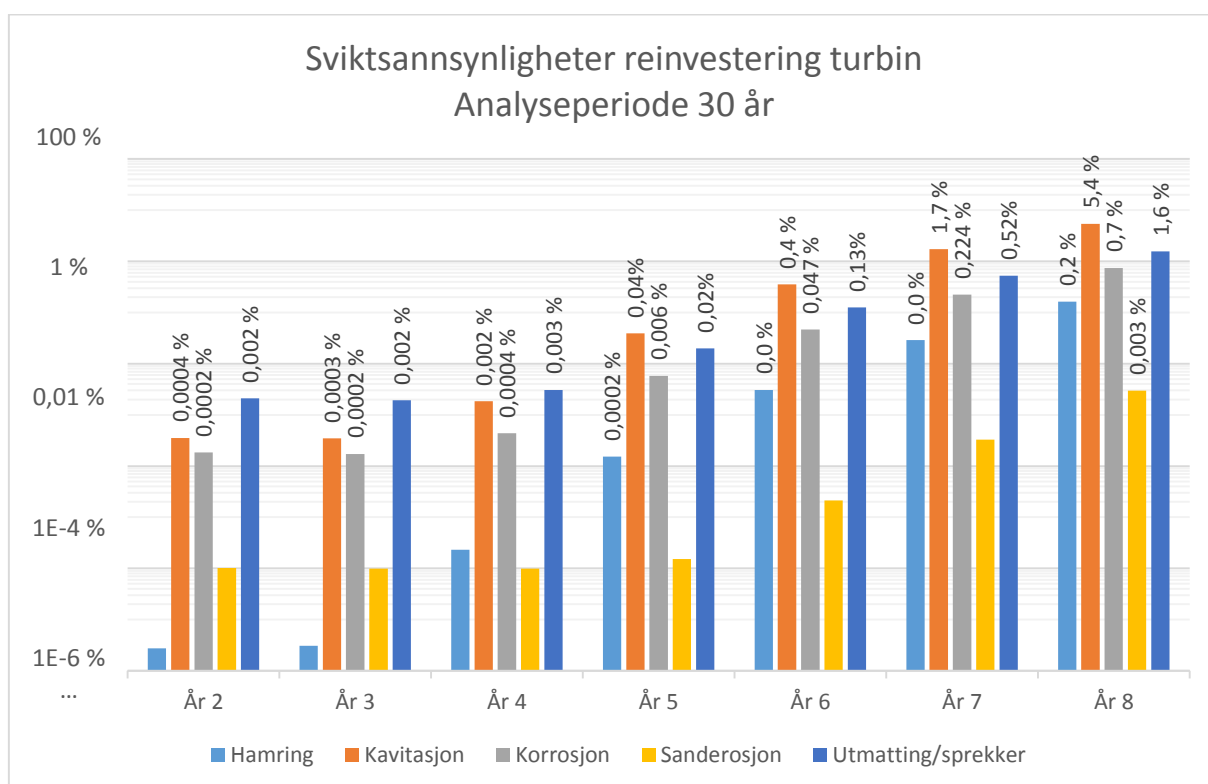
Resultatene fra analysen på *reinvestering turbin* er oppgitt i Tabell 51.

Tabell 51: Kostnader og inntekter fra analysen for tiltaket *reinvestering turbin*.

Resultat fra analyse av tiltaket: <i>Reinvestering turbin</i>							
	Nåverdi [Alle verdier i kkr]						
Inntekter	År 2	År 3	År 4	År 5	År 6	År 7	År 8
Økt virkningsgrad							
Nye ledeskovler med endetetninger (+0,5 %)	2831	2648	2475	2310	2154	2005	1863
Virkningsgradsøkning nytt løpehjul (+0,8 %)	4530	4237	3960	3696	3446	3208	2981
Redusert sviktsannsynlighet							
Hamring	0	0	0	0	0	-4	-19
Kavitasjon	0	0	0	-5	-46	-213	-632
Korrosjon	0	0	0	-1	-6	-28	-87
Sanderosjon	0	0	0	0	0	0	0
Utmatting/sprekker	0	0	0	-3	-16	-64	-183
Andre inntekter							
Inntekt fra salg av elsertifikater	3473	3300	3102	2921	0	0	0
Sum inntekter	10834	10186	9536	8918	5530	4904	3924
Kostnader							
Reinvestering av løpehjul inkl. nye ledeskovler m/endetetninger	-6585	-6195	-5828	-5482	-5157	-4852	-4564
Demontering, montasje og rehabilitering øvrige turbinkomponenter	-3293	-3097	-2914	-2741	-2579	-2426	-2282
Konsulenttjenester	-1129	-1062	-999	-940	-884	-832	-782
Egen arbeidskraft	-941	-885	-833	-783	-737	-693	-652
Vedlikeholdskostnader (20 år senere)	-970	-913	-859	-808	-760	-715	-672
Utilgjengelighetskostnader							
Produksjonstap (12 uker - ingen tap - planlagt stans)	0	0	0	0	0	0	0
Sum kostnader	-12918	-12152	-11432	-10754	-10117	-9517	-8953
Resultat	-2084	-1966	-1896	-1836	-4587	-4613	-5030



Figur 54: Resultat og sviktsannsynlighet presentert for tiltaket *reinvestering turbin*.



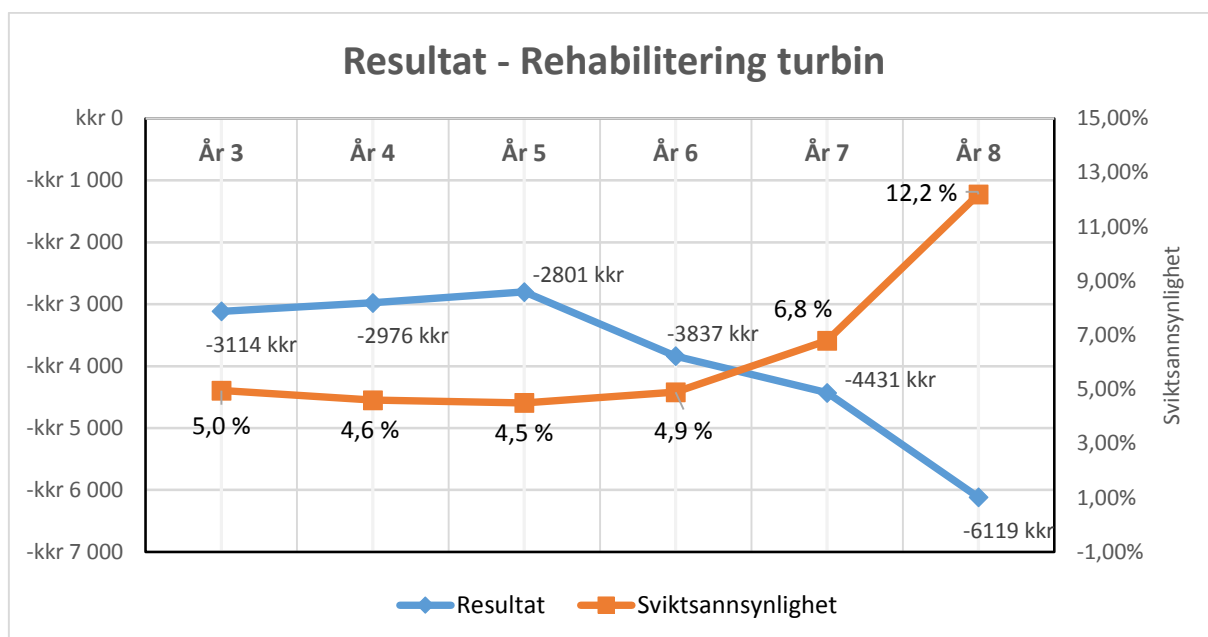
Figur 55: Viser total sviktsannsynlighet for den enkelte skadetype for en hel analyseperiode.

7.10.2 Rehabilitering turbin

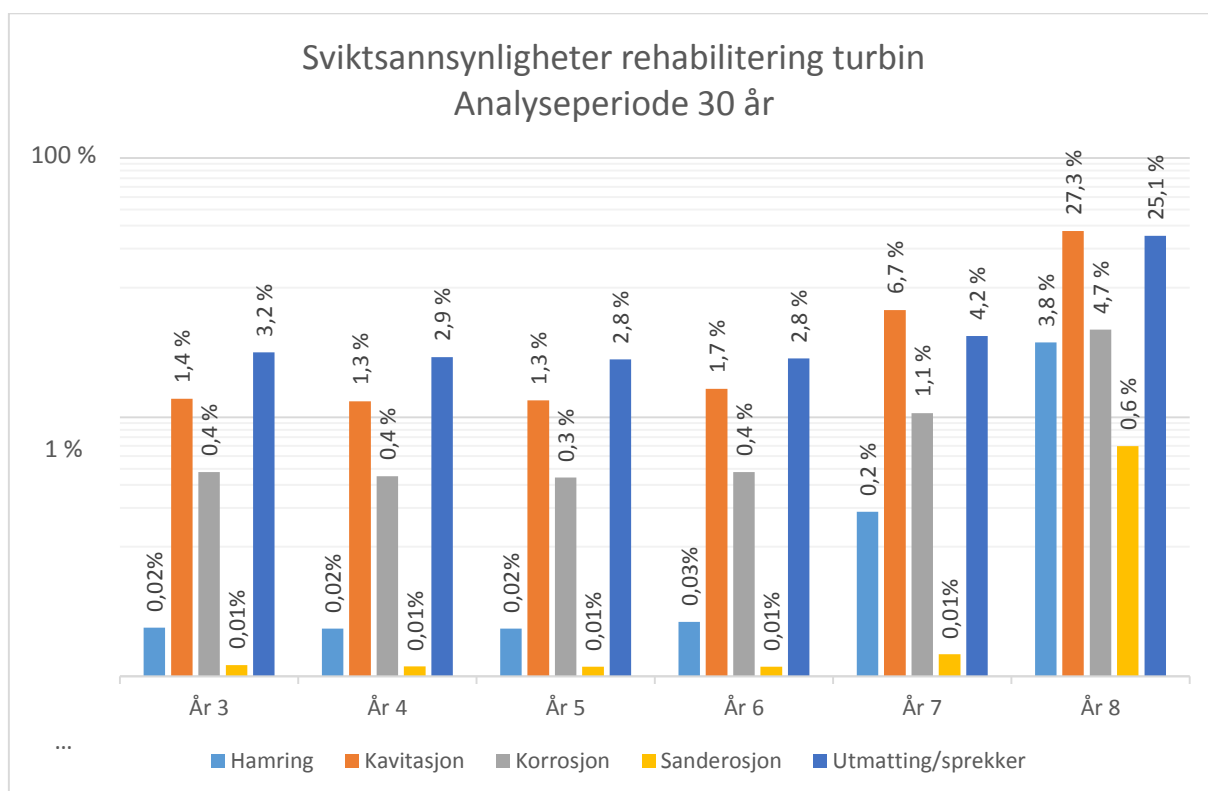
Resultatene fra analysen på *rehabilitering turbin* er oppgitt i Tabell 52.

Tabell 52: Kostnader og inntekter fra analysen for tiltaket *rehabilitering turbin*.

Resultat fra analyse av tiltaket: <i>Rehabilitering turbin</i>						
	Nåverdi [Alle verdier i kkr]					
Inntekter	År 3	År 4	År 5	År 6	År 7	År 8
Økt virkningsgrad						
Nye ledeskovler med endetetninger (+0,5 %)	2648	2475	2310	2154	2005	1863
Redusert sviktsannsynlighet						
Hamring	-1	-1	-1	-1	-20	-149
Kavitasjon	-65	-59	-61	-98	-678	-1441
Korrosjon	-18	-16	-15	-20	-99	-237
Sanderosjon	-1	-1	0	0	-1	-21
Utmatting/sprekker	-147	-132	-123	-128	-281	-1093
Andre inntekter						
Inntekt fra salg av elsertifikater	1310	1194	1144	0	0	0
Sum inntekter	3728	3460	3254	1907	927	-1078
Kostnader						
Rehabilitering eksisterende løpehjul	-885	-833	-783	-737	-693	-652
Demontering, montasje og rehabilitering øvrige turbinkomponenter	-3097	-2914	-2741	-2579	-2426	-2282
Konsulenttjenester	-177	-167	-157	-147	-139	-130
Egen arbeidskraft	-885	-833	-783	-737	-693	-652
Nye ledeskovler med endetetninger (+0,5 %)	-855	-833	-783	-737	-693	-652
Vedlikeholdskostnader (20 år senere)	-913	-859	-808	-808	-715	-672
Utilgjengelighetskostnader						
Produksjonstap (12 uker - ingen tap - planlagt stans)	0	0	0	0	0	0
Sum kostnader	-6842	-6437	-6055	-5744	-5359	-5041
Resultat	-3114	-2976	-2801	-3837	-4431	-6119



Figur 56: Resultat og sviktsannsynlighet presentert for tiltaket rehabilitering turbin.



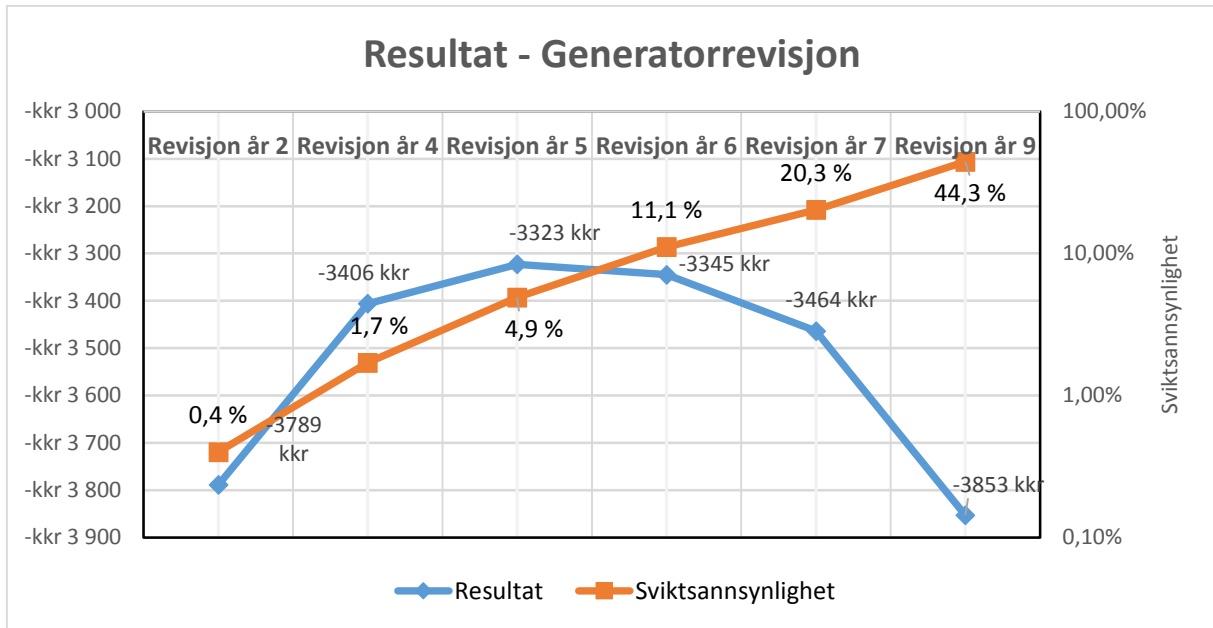
Figur 57: Viser total sviktsannsynlighet for den enkelte skadetype for en hel analyseperiode.

7.10.3 Revisjon generator

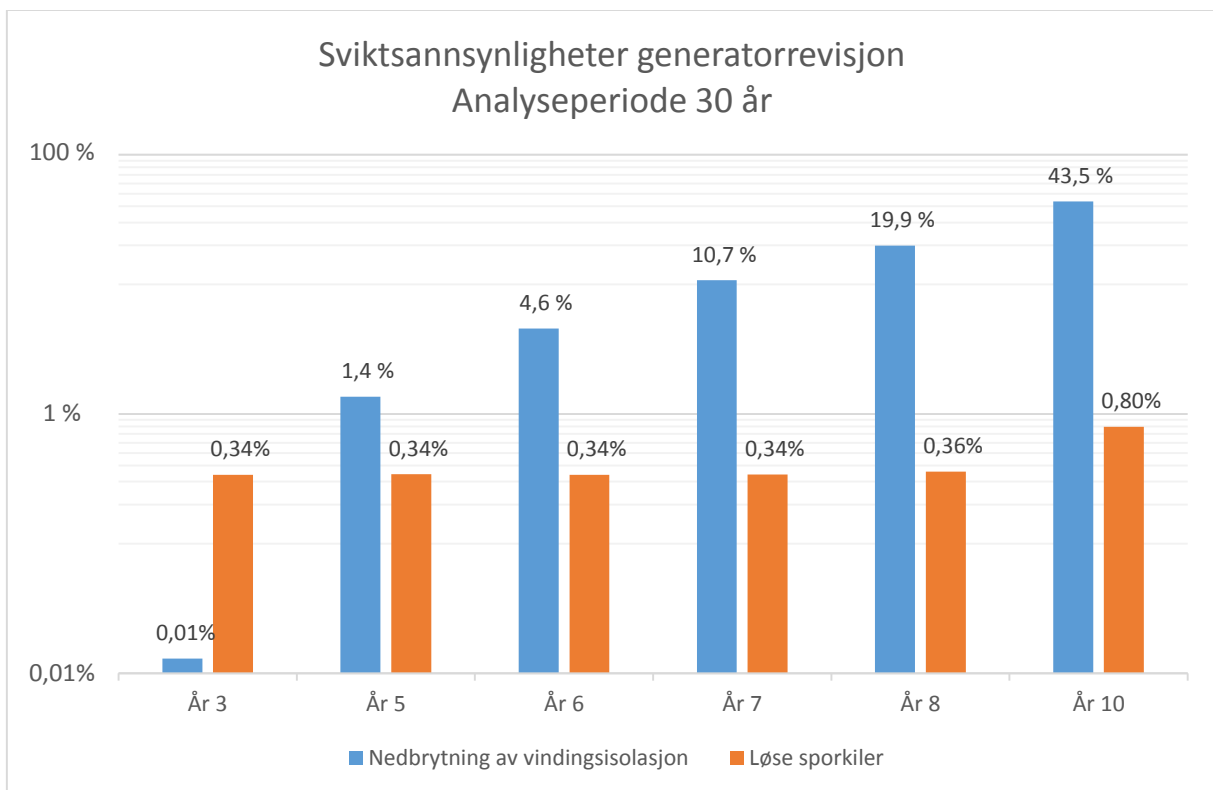
Resultatene fra analysen for revisjon *generator* er oppgitt i Tabell 53.

Tabell 53: Kostnader og inntekter fra analysen for tiltaket *revisjon generator*.

Resultat fra analyse for tiltaket: Revisjon generator						
	Nåverdi [Alle verdier i kkr]					
Inntekter	År 3	År 5	År 6	År 7	År 8	År 10
Redusert sviktsannsynlighet						
Nedbrytning av vindingsisolasjon	-1	-53	-168	-378	-671	-1360
Løse sporkiler	-8	-7	-7	-6	-7	-28
Sum inntekter	-8	-60	-175	-384	-678	-1387
Kostnader						
Bytte av vindingsisolasjon rotorpoler	-885	-783	-737	-693	-652	-577
Demontering og montasjekostnader rotor	-1062	-940	-884	-832	-782	-692
Nye sporkiler med bølgefjær	-88	-78	-74	-69	-65	-58
Demontering og montasjekostnader stator	-885	-783	-737	-693	-652	-577
Rehabilitering generatorkomponenter (Revisjon 2)	-861	-762	-716	-674	-634	-561
Utilgjengelighetskostnader						
Produksjonstap (8 uker - ingen tap - planlagt stans)	0	0	0	0	0	0
Sum kostnader	-3781	-3346	-3148	-2961	-2786	-2465
Resultat	-3789	-3406	-3323	-3345	-3464	-3853



Figur 58: Resultat og sviktsannsynlighet presentert for tiltaket revisjon generator.



Figur 59: Viser total sviktsannsynlighet for den enkelte skadetype for en hel analyseperiode.

7.10.4 Felles

Resultatene fra fellesalternativene (Figur 51, Figur 52 og Figur 53) er oppgitt i Tabell 54. Alternativ F1 viser det mest lønnsomme fellesalternativ for *reinvestering turbin* og *generatorrevisjon*. Alternativ F2 viser det mest lønnsomme fellesalternativ for *rehabilitering turbin* og *generatorrevisjon*. Alternativ F3 viser hvilken påvirkning tapet av elsertifikater har på lønnsomheten for *reinvestering turbin* ved å utsette investeringen fra 2020 i alternativ F1 til 2021 i alternativ F3.

Tabell 54: Resultat fra analyse av fellesalternativer.

Resultat fra analyse av fellesalternativer			
	Nåverdi [Alle verdier i kkr]		
	Alternativ F1	Alternativ F2	Alternativ F3
Tidspunkt planlagte tiltak			
Reinvestering turbin	2020	-	2021
Rehabilitering turbin	-	2020	-
Generatorrevisjon	2021	2021	2021
Inntekter			
Økt virkningsgrad			
Nytt løpehjul (+0,8%)	3696	0	3446
Nye ledeskovler m/endetetninger (+0,5%)	2310	2310	2154
Redusert sviktsannsynlighet			
Løpehjul (S1-S5)	-9	-200	-68
Vindingsisolasjon	-168	-168	-168
Sporkiler	-7	-7	-7
Salg av elsertifikater	2921	1144	0
Sum inntekter	8918	3079	5357
Kostnader			
Planlagte tiltak			
Reinvestering turbin	-10754	0	-10117
Rehabilitering turbin	0	-6055	0
Generatorrevisjon	-3148	-3148	-3148
Utilgjengelighet planlagt tiltak (12 uker)	0	0	0
Sviktsannsynlighet			
Reinvestering turbin	0,01 %		0,05 %
Rehabilitering turbin		4,50 %	
Generatorrevisjon	4,90 %	4,90 %	4,90 %
Sum kostnader	-13902	-9203	-13265
Resultat	-4984	-6124	-7908

7.11 Følsomhetsanalyse

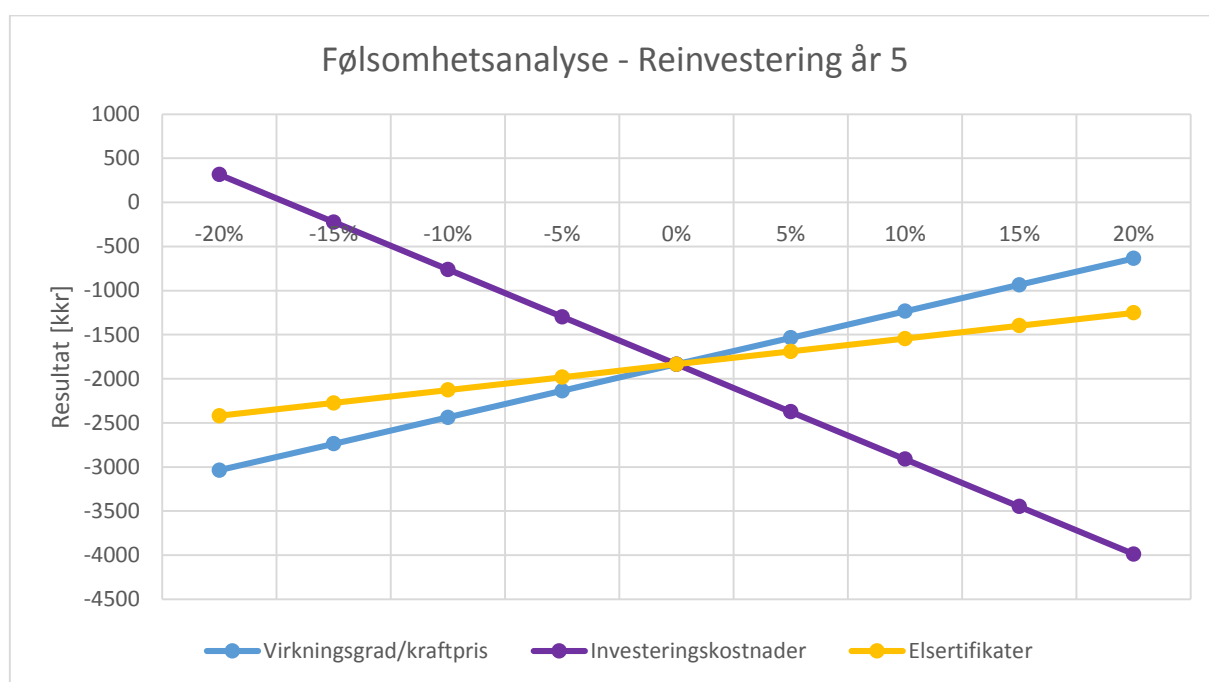
Alle investeringsanalyser innehar usikkerheter i de ulike parameterne brukt i analysen. Ved å vurdere følsomheten av disse, utfører man en følsomhetsanalyse. Denne oppgaven omfatter følsomheten av parameterne virkningsgrad, kraftpris, elsertifikater og investeringskostnader. Det kunne også vært aktuelt å sett nærmere på følsomheten av teknisk tilstand, forventede restlevetider og konsekvenser av svikt.

Det er valgt å gjennomføre følsomhetsanalyse på de mest lønnsomme årene for *reinvestering turbin*, *rehabilitering turbin* og *revisjon generator*.

7.11.1 Reinvestering turbin år 5

Figur 60 viser følsomheten med hensyn på virkningsgradsøkning, kraftpris, elsertifikater og investeringskostnader. Følsomhetsanalysen har tatt utgangspunkt i tiltaket *reinvestering turbin år 5* og fremhever usikkerheten ved å endre parameterne med ± 20 prosent. Verdien på de ulike parameterne er oppgitt i Tabell 55. Virkningsgraden er sammensatt av virkningsgradsøkning for nytt løpehjul (+0,8%) og nye endeskovler med endetetninger (+0,5%). Dette gir ekstra inntekter i form av økt produksjon og salg av elsertifikater.

Grafen viser at endring i investeringskostnadene gir størst endring i resultatet for tiltaket. Øker investeringskostnadene med 20% vil lønnsomheten på tiltaket synke fra -1836 kkr til -3987 kkr. Følsomheten for virkningsgrad og kraftpris er noe mindre enn for investeringskostnadene. En prosentvis endring av parameterne kraftpris eller virkningsgrad vil påvirke lønnsomheten på tiltaket identisk. Endring i elsertifikatspris har minst påvirkning på lønnsomheten. Kostnadene, inntektene og resultatene fra følsomhetsanalysen for *reinvestering turbin år 5* er vedlagt i Vedlegg 7.



Figur 60: Følsomhetsanalyse reinvestering turbin år 5.

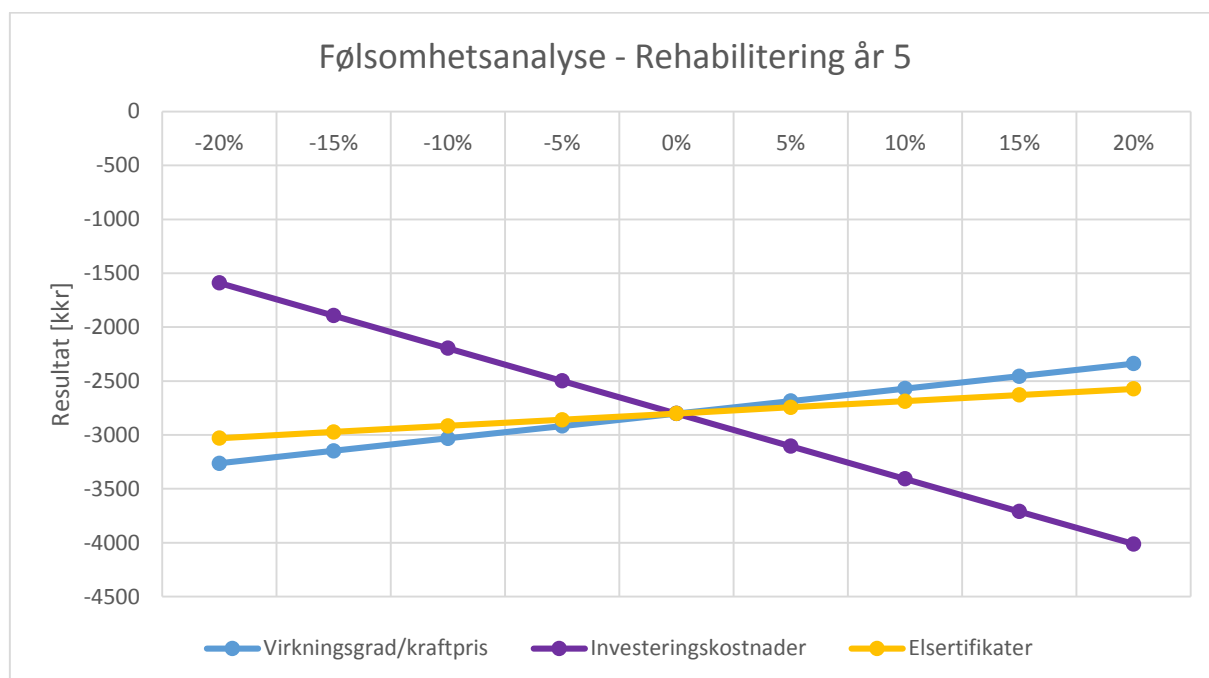
Tabell 55: Parameterverdier for reinvestering turbin år 5.

Følsomhetsanalyse reinvestering år 5									
	-20 %	-15 %	-10 %	-5 %	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %
Virkningsgrad [%]	1,04	1,11	1,17	1,24	1,30	1,37	1,43	1,50	1,56
Kraftpris [kr/MWh]	211,2	224,4	237,6	250,8	264,0	277,2	290,4	303,6	316,8
Investeringskostnader [Nåverdi kkr]	8711	9195	9679	10216	10754	11292	11829	12367	12905
Elsertifikat per stk. [pr/MWh]	155,4	165,2	174,9	184,6	194,3	204,0	213,7	223,4	233,2

7.11.2 Rehabilitering turbin år 5

Figur 61 viser følsomheten med hensyn på virkningsgradsøkning, kraftpris, elsertifikater og investeringskostnader. Følsomhetsanalysen har tatt utgangspunkt i tiltaket *rehabilitering turbin år 5* og fremhever usikkerheten ved å endre parameterne med ± 20 prosent. Verdien på de ulike parameterne er oppgitt i Tabell 56. Virkningsgraden består av nye ledeskovler med endetetninger (+0,5%). Dette gir ekstra inntekter i form av økt produksjon og salg av elsertifikater.

Grafen viser at endring i investeringskostnadene gir størst endring i resultatet for tiltaket. Øker investeringskostnadene med 20% vil lønnsomheten på tiltaket synke fra -2801 kkr til -4012 kkr. Følsomheten for virkningsgrad og kraftpris er noe mindre enn for investeringskostnadene. En prosentvis endring av parameterne kraftpris eller virkningsgrad vil påvirke lønnsomheten på tiltaket identisk. Endring i elsertifikatspris har minst påvirkning på lønnsomheten. Kostnadene, inntektene og resultatene fra følsomhetsanalysen på *rehabilitering turbin år 5* er vedlagt i Vedlegg 7.



Figur 61: Følsomhetsanalyse rehabilitering turbin år 5.

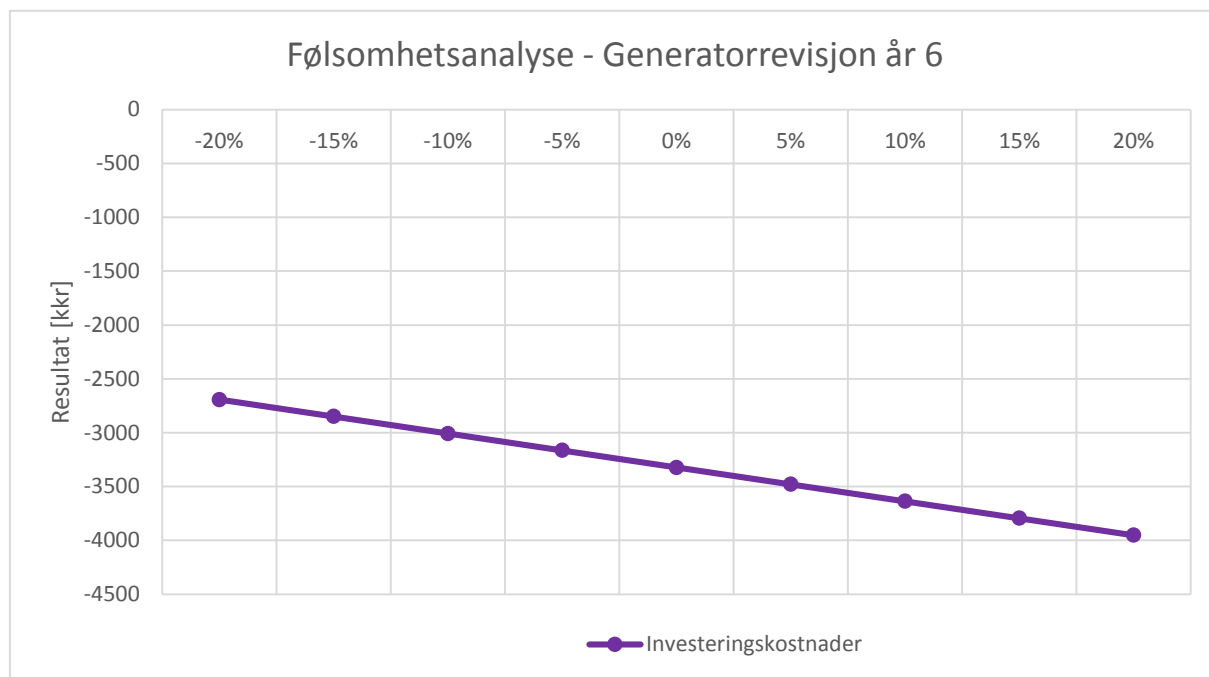
Tabell 56: Parameterverdier for rehabilitering turbin år 5.

Følsomhetsanalyse rehabilitering år 5									
	-20 %	-15 %	-10 %	-5 %	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %
Virkningsgrad (%)	0,40	0,43	0,45	0,48	0,50	0,53	0,55	0,58	0,60
Kraftpris [kr/MWh]	211,2	224,4	237,6	250,8	264	277,2	290,4	303,6	316,8
Investeringskostnader [Nåverdi kkr]	4844	5147	5450	5752	6055	6358	6661	6963	7266
Elsertifikat per stk. [pr/MWh]	155,4	165,2	174,9	184,6	194,3	204,0	213,7	223,4	233,2

7.11.3 Revisjon generator år 6

Figur 62 viser følsomheten med hensyn på investeringskostnader. Følsomhetsanalysen har tatt utgangspunkt i tiltaket *revisjon generator år 6* og fremhever usikkerheten ved å endre investeringskostnad med ± 20 prosent. De ulike verdiene på investeringskostnadene er oppgitt i Tabell 57.

Grafen viser at en økning i investeringskostnadene på 20 % vil resultere i at lønnsomheten på tiltaket reduseres fra -3323 kkr til -3952 kkr. Kostnadene, Inntektene og resultatene fra følsomhetsanalysen på *revisjon generator år 6* er vedlagt i Vedlegg 7.



Figur 62: Følsomhetsanalyse generatorrevisjon år 6.

Tabell 57: Parameterverdi for revisjon generator år 6.

Følsomhetsanalyse generator år 6									
Endring fra ref. alternativ	-20 %	-15 %	-10 %	-5 %	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %
Investeringskostnader [Nåverdi kkr]	2518	2676	2833	2990	3148	3305	3463	3620	3777

8 Personssikkerhet

Det har vært stort fokus på helse, miljø og sikkerhet (HMS) innenfor næringslivet etter at internkontrollforskriften ble for første gang iverksatt 01.01.1992. Utviklingen og fokuset har endret seg enormt de siste tiårene og i dag blir det lagt ned store ressurser for å tilfredsstille dagens krav til HMS i næringslivet.

Et av de viktigste temaene innenfor HMS er sikkerheten for personell. Det er et stort fokus på å forbedre sikkerheten for personell ved å redusere sannsynlighet for at uhell inntreffer i tillegg til å redusere konsekvensene om uhellet først skulle inntreffe.

Dette kapitlet skal beskrive hva ROS- og RCM analyser er, hvilke krav det settes av myndighetene for bruk av analysene og hvordan TrønderEnergi har utarbeidet de. Videre blir det sett på ulike hendelser og hvordan disse påvirker personssikkerheten i kraftstasjonen.

8.1 ROS- og RCM-analyser

ROS- og RCM- analyser er to verktøy som blir brukt i kraftbransjen for å belyse og synliggjøre sannsynligheter, konsekvenser og risiko. De to neste delkapitlene skal gi en beskrivelse på hva ROS- og RCM analyser er og hvorfor ROS- og RCM analyser blir gjennomført i kraftbransjen.

8.1.1 Risiko- og sårbarhetsanalyse

Risiko- og sårbarhetsanalyse (ROS) benyttes for å kartlegge sannsynligheter og konsekvenser av uønskede hendelser. Ved å identifisere risiko- og sårbarheten bevisstgjør man forskjellige hendelser som kan true virksomhetens evne til å fungere. Noen viktige gevinster ved bruk av ROS-analyse er ifølge *Veiledning i risiko- og sårbarhetsanalyse for kraftforsyningen* [39]:

- Økt evne til å forebygge og håndtere ekstraordinære hendelser.
- Mer stabil strømforsyning og færre avbrudd.
- Mer fokusert ressursbruk til forebyggende og skadereduserende tiltak.
- Synliggjøre hvilke konsekvenser ekstraordinære hendelser kan medføre for virksomheten og samfunnet, slik at ledelsen i virksomheten kan bruke dette som en viktig planforutsetning.
- Systematisere og dokumentere risiko og sårbarhet i forbindelse med hendelser som virksomheten kan stå ovenfor.
- Et ledelsesverktøy for bedre måloppnåelse i virksomheten.

ROS- analyser er i hovedsak en kvalitativ risikovurdering, bygget på faglig skjønn og erfaring. Det har vist seg å være et effektivt verktøy for å definere forbedringspotensialer. [40] Et eksempel på ROS-analyse utført av TrønderEnergi er vist i Tabell 58.

Alle KBO-enheter skal gjennomføre risiko- og sårbarhetsanalyser for sine anlegg. Dette er pålagt i *forskrift om forebyggende sikkerhet og beredskap i energiforsyningen*, nærmere forklart i kapittel 8.2.

8.1.2 Reliability centered maintenance

Reliability centered maintenance (RCM)-analyse gir et strukturert rammeverk for analyse av funksjoner og potensielle feil for et fysisk system med fokus på å opprettholde systemfunksjonene til systemet. RCM-metoden baserer seg på statistikk, erfaringer og personlige vurderinger for å sette inn tiltak som sikrer at systemer fortsetter å fungere som tiltenkt. RCM-analyser benyttes for å øke kostnadseffektiviteten, driftssikkerheten, levetider på komponenter og for å generelt gi en bedre risikoforståelse innad i organisasjonen. [41]

I følge standarden SAE JA1011 som beskriver minimumskriteriene en prosess må inkludere for å bli definert som en RCM-analyse, må følgende spørsmål være inkludert [41]:

1. Hva er enheten sine arbeidsoppgaver og hva er enhetens ytelseskrav?
2. Hvilke feil kan oppstå som vil stoppe enheten i å utføre sine arbeidsoppgaver?
3. Hva er hendelsene som forårsaker hver svikt?
4. Hva vil skje når hver svikthendelse oppstår?
5. Hvilke konsekvenser har hver svikthendelse?
6. Hvilket systematisk vedlikehold kan bli utført aktivt for å forebygge, eller til å redusere til en tilfredsstillende grad, konsekvensene av svikt?
7. Hva må bli gjort hvis det ikke finnes et preventivt gjennomførbart vedlikeholdstiltak?

Figur 63 viser en beslutningslogikk brukt for å avklare hvilke vedlikeholdstiltak som bør iverksettes på de ulike komponentene i Litjossen kraftverk.

8.2 Forskrift om risiko- og sårbarhetsanalyse

Som en del av beredskapsforskriften, er *Forskrift om forebyggende sikkerhet og beredskap i energiforsyningen* en forskrift som blant annet stiller lovpålagte krav for KBO-enheter om oppfølging av risiko og sårbarhetsanalyser. Forskriften hentet fra lovdata lyder [42]:

§ 2-4. Risiko og sårbarhetsanalyse

Alle KBO-enheter skal gjennomføre risiko- og sårbarhetsanalyser knyttet til ekstraordinære forhold. Analysene skal ha et slikt omfang at enheten kan identifisere risiko og sårbarhet ved alle funksjoner, anlegg og tiltak av betydning for å oppfylle kravene i forskriften. Analysene skal minimum gjennomgås årlig og oppdateres ved behov.

I veiledningen til *Forskrift om forebyggende sikkerhet og beredskap i energiforsyningen*, utarbeidet av NVE, forklares hensikten med å utføre risiko og sårbarhetsanalyse som sitert under [43].

Gode risiko- og sårbarhetsanalyser vil hjelpe KBO-enhetene med å identifisert risiko- og sårbarhet som kan redusere eller true virksomhetens evne til å fungere. Formålet med å identifisere risiko og sårbarhet ved ekstraordinære hendelser knyttet til teknisk svikt, naturgitt skade eller påført skadeverk er å sortere mellom det som kan forebygges, for eksempel gjennom sikringstiltak, og det som må håndteres ved hjelp av beredskapsplanverket.

Veilederen presiserer at det største fokuset skal rettes mot de situasjoner og hendelser som har og kan få store konsekvenser for bedriften og/eller samfunnet. Situasjonene trenger ikke nødvendigvis å ha stor sannsynlighet for å inntreffe, men skal inkluderes for å få et overordnet bilde av den totale risikoen for de systemer som har betydning for forsyningssikkerheten.

Det skal minimum årlig gjennomføres en kvalitativ vurdering av ROS-analysens relevans og tilstrekkelighet. Med det menes det endringer knyttet til ytre omgivelser, samfunnsmessige endringer, interne endringer, endringer i det tekniske anlegget eller andre hendelser som vil ha betydning og innvirkning på risiko og sårbarhet. Det skal ved endringer gjennomføres nye risiko- og sårbarhetsanalyser som fanger opp disse endringene.

8.3 Sannsynlighet, konsekvens og risiko

Både ROS- og RCM analysene har vurdert personsikkerheten ved ulike hendelser som kan oppstå i en kraftstasjon. ROS analysen er utarbeidet med hensyn på risiko, mens RCM analysen er utarbeidet med hensyn på konsekvens. En risiko er sammensatt av sannsynlighet og konsekvens. Det er viktig å skille mellom sannsynlighet og konsekvens. En sannsynlighet kan for eksempel være sannsynligheten for at

en hendelse inntreffer eller sannsynligheten for eksponering av personell. En sannsynlighet kan oppgis som en prosentsats for at sannsynligheten inntreffer.

Når en hendelse inntreffer, vil den mest sannsynlig ha en eller flere konsekvenser. En konsekvens er derfor de mulige utfallene fra en hendelse. En konsekvens kan være alt fra ubetydelige- til ekstreme tilfeller som kan koste menneskeliv. Det er viktig at disse mulige konsekvensene blir vurdert og tatt hensyn til på forhånd. Konsekvensene, sammen med sannsynligheten for at hendelsen inntreffer, danner risikoen. Det er viktig å gjøre en grundig analyse av faremomenter i kraftstasjonen slik at alle risikoer er utredet og tatt hensyn til. Etter at risikoene er kartlagt, vil det ofte være mulig å gjennomføre sannsynlighets- og konsekvensreducerende tiltak for å redusere risikoen.

8.4 ROS TrønderEnergi

TrønderEnergi har utarbeidet en helhetlig ROS-analyse for hele konsernet. Analysen omfatter alt fra tekniske aspekter for kraftverkene til mer administrative vurderinger og tiltak. Se Tabell 58 for et eksempel utført av TrønderEnergi. Selve beskrivelsen av hva som vurderes er beskrevet under cellen navngitt *Navn*. Cellen *Status* beskriver om oppgaven er aktiv eller lukket per dags dato. Cellene *Risikoeier/Tiltaksansvarlig* og *Organisasjon* henviser henholdsvis til hvem som står ansvarlig for oppgaven og hvilken organisasjon/avdeling denne personen tilhører innad i konsernet.

De neste cellene forklarer alvorligheten for HMS, ytre miljø, økonomi og tilgjengelighet før og etter konsekvensreducerende og/eller sannsynlighetsreducerende tiltak. Alvorlighetsgraden på risikoen er inndelt i fire, der:

- Rød Stor/katastrofal
- Gul Middels/alvorlig
- Grønn Liten/ubetydelig
- Blank Ikke aktuell/ikke vurdert

ROS analysen ble sist oppdatert 13. februar 2015.

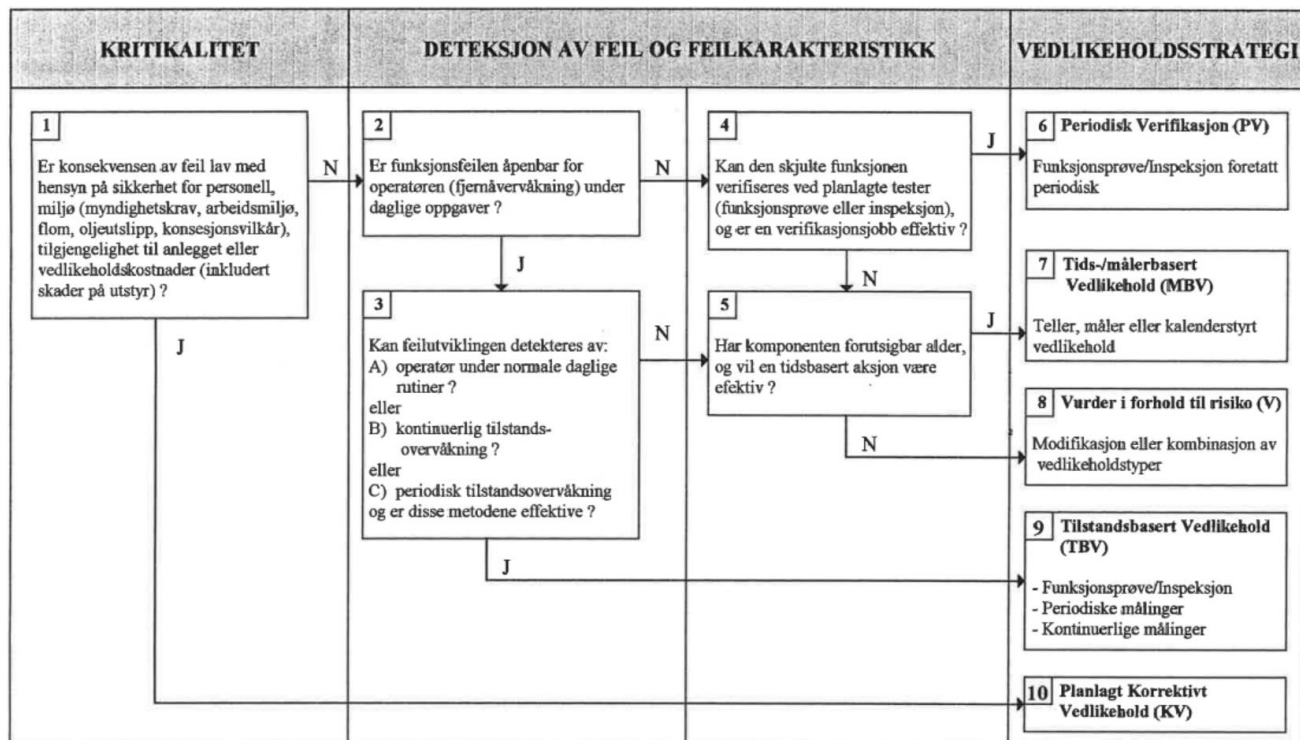
Tabell 58: Oppsett av TrønderEnergis ROS-analyse.

Navn	Status	Risikoeier / Tiltaksansvarlig	Organisasjon	Før tiltak/ Forfallsstatus HMS	Ytre miljø	Økonomi	Tilgjengelighet	Etter tiltak HMS	Ytre miljø	Økonomi	Tilgjengelighet
Brann i kabler -> giftig røyk, personskade/død, aggressive gasser som skader elektronisk utstyr	Aktiv	Knut Ivar Nyhaug	Produksjonssjef	HMS	YT RE	ØK ON		HMS	YT RE	ØK ON	

8.5 RCM TrønderEnergi

CorrOcean gjennomførte på oppdrag av TrønderEnergi en RCM-prosedyre for Litjfossen kraftverk i 1998. Formålet med analysen var å få bedre kjennskap til komponentene og kartlegge hvilken vedlikeholdsstrategi de ulike komponentene burde ha.

Figur 63 viser beslutningslogikken til RCM-prosedyren brukt i Litjossen kraftverk. Ut ifra beslutningslogikken skal det fremgå hvilken vedlikeholdsstrategi som skal benyttes for hver komponent/system.



Figur 63: Beslutningslogikk for Litjossen kraftverk.

I denne rapporten er vurderingene av personsikkerheten ved svikthendelser på komponentene det mest interessante. RCM-analysen CorrOcean benyttet har inndelt personsikkerheten som vist i Tabell 59. Korrektivt vedlikehold vil være utelukket om konsekvensene av svikt er høyere enn lav, med personsikkerhet som en av de viktigste parameterne.

Tabell 59: Kriterier for personsikkerhet.

Konsekvensmatrise Litjossen kraftverk			
Konsekvens- parametere	L (Liten/ubetydelig)	M (Middels/alvorlig)	H (Stor/katastrofal)
S - Sikkerhet	Lette personskader som ikke fører til fravær.	Personskader som medfører fravær.	Død eller uførhet.

Det er viktig å presisere at RCM-analysen er basert på konsekvens og ikke risiko. Sannsynligheten for at hendelsen oppstår skal derfor ikke medregnes, kun konsekvensen. Alle konsekvensene for personsikkerhet i RCM analysen er vurdert til liten/ubetydelig med unntak av brannvarslingsanlegg, som er vurdert til M. Det er gjort en del endringer i etterkant påskrevet med blyant der konsekvensen til personsikkerheten har blitt endret til en lavere konsekvensgrad. Det kan virke som det har oppstått en misforståelse på forståelsen mellom risiko og konsekvens. I Vedlegg 4 er et eksempel av RCM analysen for hjelpesystemer og brannvarslingssystem vist.

8.6 Brann i kabler

Brann i kabler og utstyr er kanskje en av de farligste hendelsene som kan oppstå i en kraftstasjon med tanke på personsikkerheten. Brann i kabler kan oppstå ved *lysbue* (serielysbue, parallelllysbue eller jordfeillysbue), *motstandsoppvarming* (overbelastning, for mye isolasjon, lekkasjestrøm og jordfeil, overspenning/spenningsstøt og dårlig kontaktforbindelse) eller *utvendig varmetilførsel*. [44]

Kabler utgjør en stor potensiell kilde for røykutvikling. I kraftverk blir det lagt store mengder kabel og ofte ligger kablene samlet på felles føringsveier. Ved brann frigir kabler giftige og korrosive gasser og det dannes røyk. Røykutviklingen hemmer syn og hørsel og kan isolert sett føre til skader i rømningsøyeblikket på grunn av desorientering. De fleste dødsfall ved brann er på grunn av inhalering av giftige gasser. Den mest dødelige gassen ved brann er karbonmonoksid CO (kullos).

Karbonmonoksid er en fargeløs, tilnærmet luktfri, brennbar og en svært giftig gass. Gassen påvirker oksygentransporten i blodet ved å binde seg til de røde blodlegemene ved innånding. De røde blodlegemene transporterer da rundt CO i stedet for dioksygen (O₂), og kroppen blir kvalt. Oksygenopptaket vil bli redusert fra første innånding, og kroppens evne til å fungere vil gradvis forsvinne i takt med CO opptaket i blodet.

En rapport Statens räddningsverk (SRV) i Sverige har utarbeidet står følgende: [45]

I 1950 var gjennomsnittstiden fra antennelse av en brann til overtenning 15 minutter. Den tiden var 25 år senere redusert til 5 minutter, og nå kan dødelige forhold oppstå etter 3 minutter. Denne endringen har skjedd på grunn av økt bruk av plast i boliger, inngenting annet.

Rapporten omhandler riktignok boliger, men beviser at det er kritisk med rask evakuering ved branntilløp. Kraftstasjoner inneholder også store mengder plast.

Litjossen kraftverk har to rømningsveier, en igjennom adkomsttunnelen og en igjennom kabelsjakten. Sannsynligheten for at en brann blokkerer begge rømningsveiene er liten. Det er allikevel steder i kraftstasjonen en brann kan blokkere mulighetene ved å komme seg til rømningsveiene eller redningsrommet. Et tilfelle kan være at man er innesperret i en etasje eller et rom, hvor brannen blokkerer for den eneste veien mot rømningsveiene eller redningsrommet. En verst tenkelig situasjon ved en brann er utvilsomt ett eller flere dødsfall på grunn av kullosforgiftning. Konsekvensen vil derfor være H (høy).

CorrOcean har utarbeidet en årsak- og konsekvensanalyse av brannvarslingssystemet og viktigheten ved varsling av brann. Det er i analysen vurdert sikkerheten til H (død/uførhet) som en årsak til at brannvarslingen ikke varsler om en brann oppstår. Denne er senere endret til M (personskader som medfører skadefravær). Rapporten fra SRV beskriver at dødelige forhold kan oppstå etter bare 3 minutter. En kjapp evakuering kan derfor være helt essensielt for å unngå alvorlige konsekvenser. Konsekvensen bør derfor være H. Se Vedlegg 4 for RCM-analysen av brannvarslingssystemet.

TrønderEnergi har i sine ROS-analyser vurdert konsekvensen til meget kritisk og sannsynligheten til sannsynlig. Risikoen før tiltak er derfor markert med rødt felt, se Tabell 58.

En brann vil kun være kritisk med tanke på personsikkerhet om det befinner seg personer i kraftstasjonen. Personeksponeringen i kraftstasjonen er vesentlig når man skal vurdere risikoen. Det kan gå dager mellom hver gang Litjossen kraftverk besøkes og personeksponeringen er ikke spesielt høy. Sannsynligheten for at en brann oppstår samtidig som kraftstasjonen er bemannet, er nokså lav. Allikevel er trolig sannsynligheten for at en brann oppstår når stasjonen er bemannet større enn om stasjonen er ubemannet. Grunner til dette kan blant annet være ulikt elektrisk bruksmønster eller arbeidsuhell. Personer bringer med seg endringer i den daglige rutinen som vil øke sannsynligheten for

antennelse og brann. Spesielt under større vedlikeholdsperioder og/eller reinvesteringer øker sannsynligheten. Da vil det ofte være flere personer i kraftstasjonen samtidig, og sannsynligheten for å gjennomføre en vellykket evakuering blir lavere.

Konsekvensene ved brann er utvilsomt av veldig kritisk karakter og menneskeliv kan gå tapt. Sannsynligheten er derimot nokså lav, totalt sett, men den er tilstede og må ikke undervurderes. Konsekvensen og sannsynligheten danner en risiko som må tas på alvor. Det er derfor påtenkt og installert flere konsekvensreducerende tiltak.

Kraftstasjonen er utstyrt med 8 flaskebanker i redningsrommet for oksygentilførsel i minst 4 timer per flaske. Om personell klarer å ta seg til redningsrommet vil det være tilstrekkelig med oksygen inntil ekstern hjelp ankommer. Kraftstasjonen er også utstyrt med reservekraft som vil tre i kraft om aggregat og nettspenningen lokalt faller ut. Dette vil holde belysningen i stasjonen på, slik at rømningsveier er godt belyste. Om det allikevel skulle være noen problemer med dieselaggregatet og stasjonen mørklegges, vil etterlysende sikkerhetsmerking vise rømningsveiene ut. Tilførsler og kabelforlegninger til belysning kan også brenne av og være grunn til at deler av stasjonen mørklegges. Det er utplassert håndholdte lykter på strategiske plasser i kraftstasjonen.

Kraftstasjonen er utstyrt med flere viktige konsekvensreducerende tiltak. Flere av disse konsekvensreducerende tiltakene kan være hjelpelige for å redde liv om uhellet skulle inntreffe. Totalt sett er kraftstasjonen godt utstyrt med rednings- og evakueringsutstyr om en brann skulle oppstå. Allikevel er de tre nedre etasjene, turbinkjeller, turbin- og generatoretasje mer utsatt med tanke på personell ved brann og røykutvikling. Disse etasjene er åpne mot hverandre og røykutvikling vil spre seg i mellom etasjene. Om noen skulle befinne seg i turbinkjelleren, og en brann med stor røykutvikling forplanter seg i etasjene uten at det oppdages, kan det være kritisk. Etter litt tid varsler brannvarslingssystemet i fra, men røykutviklingen er stor. Veien gjennom røykbelagte rom og trapper kan da bli en utfordring. Spesielt med tanke på at CO blokkerer oksygentilførselen og kreftene i kroppen svekkes innen kort tid.

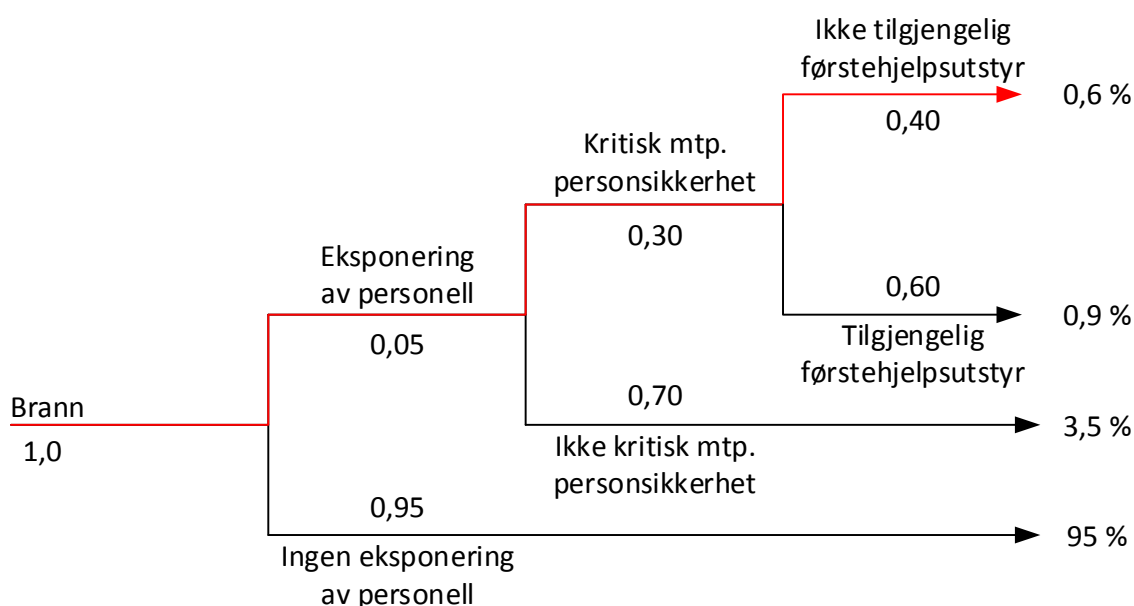
Et konsekvensreducerende tiltak mot dette kan være å montere opp noen flukthetter som beskytter hode, øyne og åndedretsorganer. Slike masker har en typisk brukstid på 15 minutter, tilstrekkelig tid til å komme seg til redningsrommet, og muligvis kanskje helt ut av kraftstasjonen. Disse maskene er designet spesielt for giftige gasser, støvpartikler og brannrøyk. Maskene er billige i innkjøp og gir beskyttelse mot det mest dødelige aspektet ved brannutvikling. En strategisk utplassering av noen av disse maskene i turbinkjelleren bør kanskje vurderes. Figur 64 viser en flukthette med veggmontering.



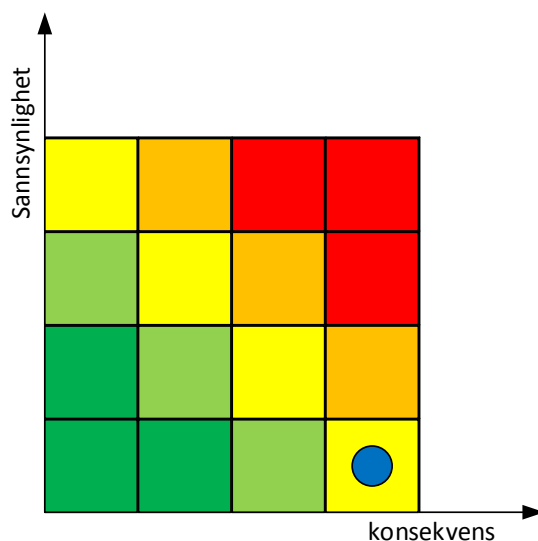
Figur 64: Flukthette og veggmonteringsenhet. [46]

Å benytte halogenfrie kabler er en av de bedre konsekvensreducerende tiltakene man kan utføre for å bedre personsikkerheten ved brann. Halogenfrie kabler gir en betydelig forsinkelse av brannspredningen. Kablene er designet spesifikk for formålet å redusere utslipp av ugjennomsiktig røyk, giftige- og korrosive gasser. Dette gir personell verdifull tid ved brann til å evakuere eller eventuelt slukke brannen. Ved neste reinvestering av kontroll- og apparatanlegg bør kabelføringene byttes til halogenfri type. Det vil også være en fordel å benytte funksjonssikre kabler for essensielle kabelføringer slik at viktige system og styringer opprettholdes ved en eventuell brann.

Figur 65 viser et forenklet hendelsestre av mulige sannsynlighetsutfall fra en brann i kraftstasjonen. Ut fra alle branner som oppstår, er kun 0,6 % vurdert til å være kritiske med tanke på personsikkerheten. Denne sannsynligheten skal igjen multipliseres med sannsynligheten for at en brann oppstår. Sannsynligheten for at en brann oppstår og i tillegg er kritisk med hensyn på personsikkerhet, er veldig lav. Konsekvensen er høy. Samlet vurdering av risikoen danner en M (Medium) risiko, se Figur 66. Det samme som TrønderEnergi har vurdert personsikkerheten til etter HMS-tiltak.



Figur 65: Hendelsestre for personsikkerhet ved brann i kabelanlegg.



Figur 66: Risikomatrix ved brann i kabelanlegg.

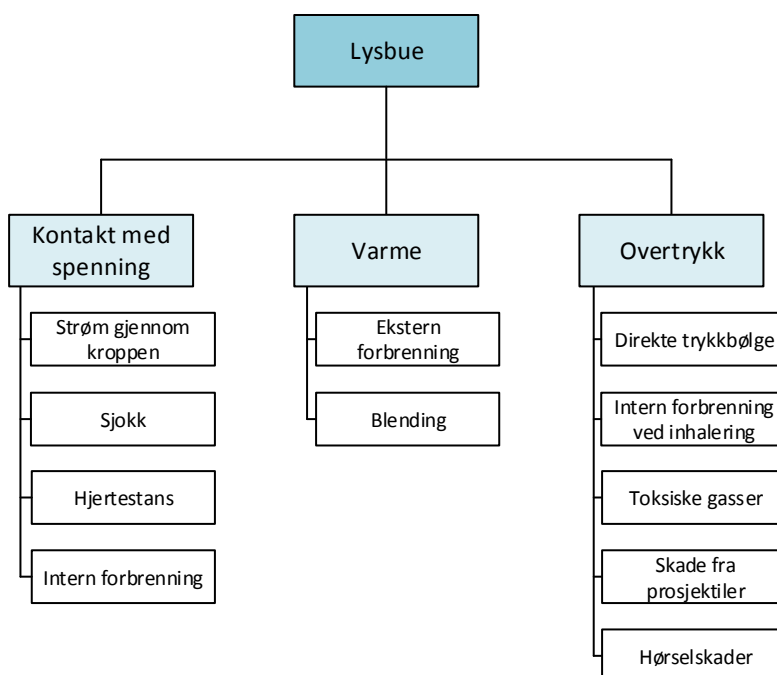
8.7 Lysbueeksplosjon/brann i koblingsanlegget

En lysbueeksplosjon kan være kritisk om personell befinner seg i nærheten av lysbuen. En lysbue oppstår når den elektriske spenningen overgår det mellomliggende materialets gjennomslagsspenning. For koblingsanleggene i Litjfossen kraftverk er dette luft. Det er tre overordnede farer med lysbuer; kontakt med spenning, varme og overtrykk, se Figur 67. Hvis kortslutningen og lysbuen er forårsaket av menneskelig aktivitet, ved berøring av spenningsførende deler, kan dette medføre livstruende skader i form av strømgjennomgang, sjokk, hjertestans og intern forbrenning. [47]

Ved en lysbue i luft dannes det plasma i mellom elektrodene. En lysbue kan oppnå temperaturer opp mot 20 000 grader Celsius. En eksponering av denne temperaturen kan gi livstruende brannskader. En lysbue gir også en høy konsentrasjon av lys, og synet kan bli kraftig blendet. Senskader på synet kan forekomme som blinde flekker på netthinnen. [47]

Kortslutninger og lysbuer skaper en trykkbølge i rommet. Dette oppstår fordi metallet utvides når det skifter fra fast- til gassform på grunn av høy temperatur. For eksempel, så utvides kobber 67 000 ganger fra fast- til gassform. Dette kan medføre farlige situasjoner ved at den høye temperaturen og eksplosjonen kan slynge ut glødende og smeltete metallfragmenter i en eksplosiv fart. [47]

Den høye temperaturen kan også skade luftveier og lunger ved inhalering. I tillegg frigir metaller giftige gasser som er skadelige ved innånding.



Figur 67: Potensielle skader ved eksponering av lysbue.

Litjfossen kraftverk har et felles høyspenningsrom med stasjons- og magnetiseringstransformatorer, skinneføringer (9,5- og 22 kV) med tilhørende utstyr og gjennomføring av hovedoverføringen (9,5 kV) ut fra generatoren. Høyspentinstallasjonen er innkapslet i egne låsbare celler, se venstre bilde i Figur 31. Hovedoverføringsskinnene er beskyttet med en gitterrist i underkant av skinneføringen. Installasjonen i rommet står i meget gode forhold. Utstyret har små til ingen tegn til forurensing av fremmedpartikler (støv), rommet er tørt, ryddig og rent. Skap og rom er godt merket som høyspenningsrom.

I tillegg har kraftverket et koblingsanlegg med tre bryterfelt; Aggregat, Brattset og Ulset. Koblingsanlegget har overbygd tak i betong og er godt beskyttet fra elementene, se Figur 32. Bryterfeltene har romslige dimensjoner og er inngjerdet med låsbare konstruksjoner. Koblingsanlegget kan være mer utsatt for overslag over isolatorskålene på grunn av fremmedlegemer enn koblingsanlegg ute i dagen. Grunnen til dette er at regn og vind *vasker* isolatorskålene for støv og partikler på utendørsanlegg, men det vil ikke være tilfelle om bryterfeltet står under tak, som i Litjfossen kraftverk. Ved inspeksjon bør dette sjekkes nærmere på koblingsanlegget i Litjfossen kraftverk.

TrønderEnergi har vurdert lysbueeksplosjon i sin ROS-analyse for koblingsanlegget utendørs. Konsekvensen er i analysen vurdert til meget kritisk, mens sannsynligheten er vurdert til lite sannsynlig. Den totale risikoen (M) er vist i Tabell 60.

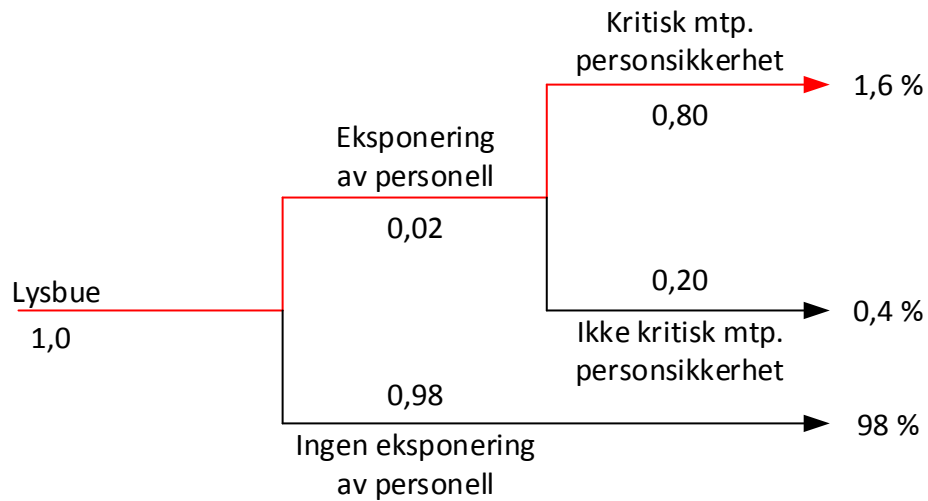
Tabell 60: ROS-analyse av lysbueeksplosjon i koblingsanlegg.

Navn	Status	Risikoeier/ Tiltaksansvarlig	Organisasjon	Før tiltak/ Forfallsstatus HMS	Ytre miljø	Økonomi	Tilgjengelighet
Lysbueeksplosjon i koblingsanlegg. -> store materielle ødeleggelser, produksjonstap.	Aktiv	Knut Ivar Nyhaug	Produksjonssjef	HMS	YTRE	ØKON	TILG

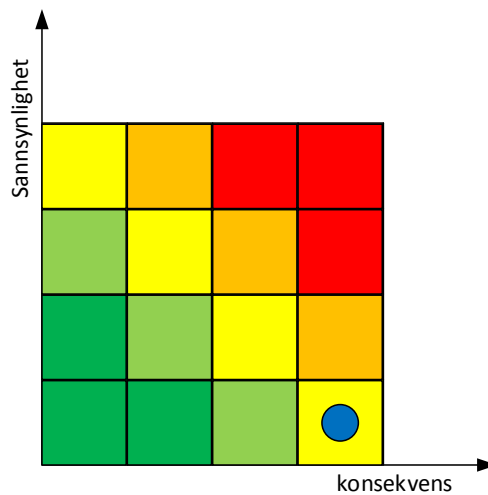
Hvilke konsekvenser en lysbue har på personell avhenger av strømstyrke, tidsperiode for lysbuen og avstand fra lysbuen. En lysbue forårsaket fra overføringslinjene fra generatoren ville kunne fått katastrofale følger om det befant seg personell i rommet. Sannsynligheten for en kortslutning på overføringsskinnene er derimot veldig lav i et rom med veldig gode forhold. Den største sjansen for en lysbue vil nok være ved menneskelig aktivitet. All personell med tilgang til dette rommet skal være instruert og klar over farene og det foreligger prosedyrer om spenningsløst anlegg ved vedlikehold og reparasjoner eller lignende. Det vil i så fall være flere brudd på forskriftene om noen skulle være årsak til at en lysbue oppstår.

En brann i transformatorene plassert rett under hovedgjennomføringen kan forurense hovedgjennomføringen å fremprovosere en lysbue på grunn av overslag. Det antas at kontrollanlegget oppfatter feil på transformator og/eller at brannvarslingsanlegget varsler ifra og stenger ned driften på aggregatet innen kort tid.

Konsekvensen av en lysbue kan være katastrofal for personsikkerheten, og konsekvensen må settes til høy. Sannsynligheten for at personell eksponeres ved en lysbue er veldig lav. Det vil være avhengig av om det befinner seg personell i nærheten av lysbuen når hendelsen inntreffer, se Figur 68. Sannsynligheten for at lysbuen er kritisk med hensyn på personsikkerhet er vurdert til 1,6 %. Denne sannsynligheten må igjen multipliseres med sannsynligheten for at en lysbue oppstår. Den totale risikoen for personsikkerhet er derfor vurdert til M, se Figur 69. Det samme som TrønderEnergi vurderte i sin ROS-analyse før HMS-tiltak.



Figur 68: Hendelsestre for personsikkerhet ved lysbue i koblingsanlegg.



Figur 69: Risikomatrix ved lysbue i koblingsanlegg.

Risikoen i dag er akseptabel, og det er ikke nødvendig å omgjøre noe på dagen situasjon. Om det på et senere tidspunkt skal gjøres endringer på overføringens skinnene, kan et konsekvensreducerende tiltak være å isolere hovedskinnene slik at de blir berøringssikre og bedre rustet mot lysbueeksplisjon.

9 Diskusjon

Et godt grunnarbeid i tilstandsvurderingen av de aktuelle komponentene er en forutsetning for en god teknisk-økonomisk analyse. Det er derfor lagt vekt på å gjennomføre en grundig gjennomgang av den tekniske tilstanden til komponentene med et ekstra fokus på de aktuelle komponentene som benyttes videre i lønnsomhetsberegningene. TrønderEnergi, som nevnt innledningsvis, ønsker å undersøke ulike løsningsalternativer for turbin og generator og finne lønnsomheten av de ulike løsningsalternativene. TrønderEnergi ser først for seg en mekanisk rehabilitering av turbin og tilhørende utstyr, før det på et senere tidspunkt gjennomføres elektroteknisk rehabilitering av generator og kontrollanlegg.

Tilstandsbeskrivelse og tiltak:

Analysen begynner med en oppsummering av tilstandskarakterene knyttet opp mot tilstandskriteriene fra rapporten *skadetyper og tilstandskriterier*. For turbinsystemet er ledeapparatet i dårligst forfatning hvorav noen av ledeskovelene har rivninger mot nedre lokk. Tilstanden er stabil og holdes under oppsyn med visuelle inspeksjoner.

Siden konsekvensene er høyere ved svikt på løpehjulet, benyttes skadetyperne for løpehjulet til analyse. Det foreligger også bedre datagrunnlag med egne ekspertvurderinger av levetidskurvene for løpehjul. Tilstanden til løpehjulet gitt enhetens alder er god. Den mest fremtredende slitasjen på løpehjulet er forårsaket av skadetypen *kavitasjon*. Skadetypen kavitasjon ble tildelt tilstandskarakter 2- og restlevetiden ble beregnet til 11,2 år.

Til analysen på generatoren er skadetyperne *løse sporkiler* på statoren og *vindingsisolasjon* på rotoren benyttet. Disse skadetyperne er mest utslagsgivende og kritiske med tanke på restlevetiden til henholdsvis stator og rotor. Tilstanden til generatoren er god, med unntak av dårlig vindingsisolasjon på rotorspolene (tilstandskarakter 3).

Tilstandsvurderingen av komponentene er sammensatt av ulike tilstandsrapporter. Selv om tilstandskontrollene er utført av faglig kompetent personell, vil det alltid være en viss usikkerhet rundt den reelle tekniske tilstanden på komponentene og de fastsatte vurderingene i form av tilstandskarakterer. Ulike individuelle tolkninger og et grovt karaktersystem er to eksempler på parametere som kan medføre unøyaktighet i tilstandskaraktersettingen. Denne usikkerheten vil kunne påvirke sviktsannsynlighetsberegningene og dermed også påvirke lønnsomhetsberegningene.

Usikkerheten er også stor ved fastsettelse av tilstandskarakter på komponenter etter endt rehabilitering. Hvordan man går frem for å vurdere tilstandskarakteren etter rehabilitering avhenger blant annet av hvilken komponent som er berørt, hvilke skadetyper komponenten har og hva slags rehabilitering som er utført. Et reelt eksempel kan være rehabilitering av løpehjulet, der rehabiliteringen kanskje bringer skadetypen korrosjon tilbake til nesten nytilstand, mens skadetypen utmatting/sprekker ikke forbedres i samme grad av rehabiliteringen. I denne rapporten er det antatt et gjennomsnitt av forbedringene på skadetyperne etter endt rehabilitering.

Komponenter bringes vanligvis tilbake til en god teknisk tilstand etter rehabilitering hvor levetidsperiodene er lange og små tilstandskarakterendringer kan gjøre store utslag i sviktsannsynlighetsberegningene. Små endringer i karakterene kan gi store utslag for restlevetidsresultatene for komponentene. For eksempel gir en endring av tilstandskarakteren til sporkilene fra 1+ til 1 etter endt rehabilitering, en restlevetidsdifferanse på 12,2 år. En bør derfor være oppmerksom på denne usikkerheten, både for tilstandskarakterer før og etter rehabilitering. Usikkerheten gjelder også for løpehjul og polspoler benyttet i oppgaven, men differansene er ikke så utslagsgivende for disse som ved sporkilene. Siden de store utslagene ofte skjer i tilstandsperiode en,

der komponentene har lav sannsynlighet for svikt og lang restlevetid, vil ikke utslagene gi noen store endringer i lønnsomhetsberegningene.

Løsningsalternativer og forutsetninger for analyse:

Videre i analysen er ulike løsningsalternativer for rehabilitering og reinvestering presentert. I teknisk-økonomiske analyser er det viktig å finne balansen på omfanget slik at analysen blir akseptabel tids- og ressursmessig. Det må uten unntak gjøres forenklinger, men samtidig passe på at forenklingene ikke gir så store utslag at alternativene ikke blir sammenlignbare. Det er derfor valgt å kun fokusere på løsningsalternativene *rehabilitering turbin*, *reinvestering turbin* og *generatorrevisjon*.

Neste steg i analysen viser forutsetningene for de aktuelle løsningsalternativene. Sviktmodellene for løpehjul, sporkiler og rotorpoler er utviklet med skadetyper, svikthendelse og konsekvenser. En svikthendelse kan som regel føre til flere ulike hendelser og skader, der konsekvensene er mange og ulike. I rapporten er det valgt å benytte få konsekvenser med høye sviktkostnader. Disse konsekvensene har størst påvirkning på de totale sviktkostnadene og gir et akseptabelt estimat. Et oppsett av flere konsekvenser ville allikevel gitt en bedre nøyaktighet. Kostnadene til de ulike konsekvensene multipliseres med sannsynligheten for at konsekvensen inntreffer, før alle konsekvensene adderes sammen og danner den totale sviktkostnaden.

Det er viktig å presisere at lønnsomheten av ett tiltak kun sier noe om hvordan lønnsomheten av dette tiltaket er i forhold til de andre tiltakene vurdert i lønnsomhetsberegningene. Det finnes mange muligheter og løsningsalternativer som ikke er vurdert i denne oppgaven, som kan vise seg å ha bedre lønnsomhet.

Kostnader og inntekter:

Investeringskostnadene til de ulike utbedringstiltakene og kostnadene knyttet til utbedring etter svikt er estimerte kostnader. Det foreligger alltid en viss usikkerhet med estimerte tall. Andre uforutsette hendelser kan også endre kostnadene ved gjennomføring av tiltak, som eksempel svak prosjektering, ulykker, feilmontering, ol. Det er derfor valgt å gjennomføre en følsomhetsanalyse på kostnadene knyttet til utbedringstiltakene for å bedre forståelsen for hvordan investeringskostnadene påvirker lønnsomheten til de ulike løsningstiltakene.

Litjefossen kraftverk er et magasinkraftverk. Dette gir fordeler ved både forutsette- og uforutsette stans ved at vann kan lagres i magasinet mens kraftverket er utilgjengelig. I rapporten er planlagte stans estimert med en utilgjengelighetstid opp til 12 uker uten flomtap. Med dette antas det at alle utbedringstiltakene gjennomføres uten utilgjengelighetskostnader. Derimot er utilgjengelighetskostnadene ved svikt antatt å begynne å løpe umiddelbart. En slik hendelse er lite sannsynlig for et magasinkraftverk. I realiteten vil det være rimelig å anta at produksjonstapene ved svikt er lavere enn tallene presentert i rapporten. Allikevel ville ikke en bedre tilnærming av utilgjengelighetskostnadene ha endret optimalt tidspunkt (år 5) for utbedring av tiltakene *reinvestering turbin* eller *rehabilitering turbin*. Dette er fordi sviktkostnadene er lave for de første 5 turbintiltaksårene.

Utbedringstiltakene *rehabilitering turbin* og *reinvestering turbin* gir ekstra inntekter. Økt virkningsgrad gir økt produksjon, samtidig kvalifiserer denne økte produksjonen til salg av elsertifikater. Kraftpris og elsertifikater er begge parametere i konstant forandring på grunn av det åpne markedet for kjøp og salg av kraft. Å forutse fremtidige priser på salg av kraft og elsertifikater er umulig. Det er derfor valgt å gjennomføre en følsomhetsanalyse på kraft- og elsertifikatsprisen for å se hvilke påvirkninger endringer av disse har på lønnsomheten av de ulike tiltakene.

Norconsult konkluderte med at et nytt løpehjul kunne teoretisk oppnå 0.8 % høyere virkningsgrad enn eksisterende løpehjul. Videre i denne rapporten er også virkningsgradsøkningen på nye ledeskovler med endetettinger estimert til en økning på 0,5 %. En oppgradering som dette ville resultere i en turbinvirkningsgrad på 95,7 %. Dette er en oppnåelig virkningsgrad på Francis turbiner, men allikevel noe høyt på et eldre vannkraftverk. Det vil derfor være en usikkerhet rundt mulighetene å kunne øke turbinvirkningsgraden med hele 1,3 %. For å vurdere påvirkningen denne usikkerheten har, er det gjennomført en følsomhetsanalyse av turbinvirkningsgraden.

Resultater turbin:

Skadetype kavitasjon ble beregnet til å ha den korteste restlevetiden på løpehjulet med 11,3 år. Dette betyr at det ikke foreligger noen stor sannsynlighet (<0,079%) for havari av løpehjulet innen en 5-års periode for hverken *reinvestering turbin* eller *rehabilitering turbin*.

Den totale sviktsannsynligheten for tiltaket *reinvestering turbin* er nesten utelukkende basert på sannsynlighet for svikt før tiltaket iverksettes. Sviktsannsynlighetene etter reinvestering vil ikke, med en analyseperiode på 30 år, rekke å vokse seg store. For de første tiltaksårene er den totale sviktsannsynligheten så lav som 0,003%. Etter år 5 begynner sviktsannsynligheten å stige kraftig, og etter år 8 er sviktsannsynligheten økt til 7,9 %. Dette gir økte sviktkostnader, og lønnsomheten av tiltaket *reinvestering turbin* avtar.

Den beste lønnsomheten for tiltaket *reinvestering turbin* er tiltaksår 5. Inntektene ved økt produksjon og elsertifikater er store bidragsyttere i beregningene, men diskontering av investeringskostnadene gir større fortjeneste de første tiltaksårene og lønnsomheten av tiltakene blir bedre for hvert år frem til tiltaksår 5. Ved å utsette utbedringene til tiltaksår 6 (2021) forspilles mulighetene å få støtte igjennom elsertifikatsordningen, og lønnsomheten av tiltaket reduseres med ca. 2700 kkr. I tillegg begynner sviktkostnadene å øke fra tiltaksår 6, som igjen reduserer lønnsomheten.

Sviktsannsynligheten for tiltaket *rehabilitering turbin* har sin laveste verdi i år 5. Ved å utsette rehabiliteringen ytterligere øker sviktsannsynlighetene betydelig i perioden før rehabiliteringstiltak blir gjennomført. Ved å gjennomføre rehabilitering i en av de første årene blir sviktsannsynligheter store mot slutten av analyseperioden. Dette er grunnen til at sviktsannsynlighetskurven (Figur 56) avtar noe før de begynner å stige igjen. Det viser seg at en balansen mellom tidlig- og sen rehabilitering gir den laveste totale sviktsannsynlighet (4,5 %). Store deler av denne sviktsannsynligheten (4,5 %) er summert opp mellom rehabiliteringsperiodene, og da spesielt mot slutten av den forventede levetiden for første rehabiliteringstiltak, før vedlikehold (20 år etter første tiltak) av turbin blir iverksatt.

Tiltaket *rehabilitering turbin* er beregnet til å være mest lønnsomt å utføre i tiltaksår 5. Diskontering av investeringskostnadene og lavere sviktkostnader gjør tiltakene mer lønnsomme frem til tiltaksår 5. Etter tiltaksår 5 forspilles muligheten å benytte seg av elsertifikatsordningen og tiltaksår 6 mister ca. 1100 kkr på grunn av tapt elsertifikatssalg. I tillegg øker sviktkostnadene og lønnsomheten for tiltaksår 6 er 1036 kkr lavere enn tiltaksår 5.

Selv om lønnsomhetsberegningene er basert på et *worst case scenario*, der sviktkostnadene mest sannsynlig er beregnet høyere enn hva som ville vært reelt, vil ikke en reel tilnærming endre lønnsomheten i de mest lønnsomme tiltakene for *rehabilitering turbin* mye. En endring i lønnsomheten med rundt 50-100 kkr for tiltaksår 5 er antatt. Det betyr at lønnsomheten til tiltakene for *rehabilitering turbin* ikke vil nærme seg lønnsomheten til tiltakene for *reinvestering turbin* i noen påvirkende grad.

Resultater generator:

Skadetypen *nedbrytning av vindingsisolasjon* på polsporene er hovedgrunnen til at generatoren trenger utbedring innen de kommende 5-6 årene. Per i dag er vibrasjonsnivåene fra kortslutningene mellom viklingene på rotor akseptable. En mulighet er å overvåke og følge opp vibrasjonsnivåene og avvente med rehabilitering til vibrasjonsnivåene forverrer seg. Siden man ikke kan vite hvor neste kortslutning oppstår og hvordan den kortslutningen påvirker balansen på rotor, vil denne fremgangsmåten være risikabel. Det kan derfor være hensiktsmessig å utbedre vindingsisolasjonen før risikoen blir for høy. Vibrasjoner på generatoren øker også slitasjen på annet utstyr. Restlevetiden for polsporene på rotor er beregnet til 10,0 år. Det er i all hovedsak skadetypen *nedbrytning av vindingsisolasjon* som står for sviktkostnadene på generatoren.

Tilstanden til sporkilene er generelt god. Det har erfaringsmessig likevel vist seg hensiktsmessig å benytte muligheten ved en større revisjon til å bytte sporkilene. Sporkiler er billige i innkjøp og er viktige for å redusere sannsynligheten til andre feilsituasjoner, som for eksempel sig av vindinger.

Generatorrevisjonen er beregnet til å være mest lønnsom å utføre i år 6. Med årene diskonteres investeringskostnadene, mens sviktkostnadene øker. En balanse mellom disse kostnadene gir den beste lønnsomheten.

Om en komponent har høy sviktsannsynlighet, betyr det at dette er sannsynligheten for at komponenten svikter innen en forventet tidsperiode der komponenten driftes som vanlig uten noen form for vedlikehold. En sånn praksis er lite sannsynlig i kraftbransjen med mindre konsekvensen for svikt er veldig lav og en svikthendelse har ingen nevneverdig betydning. For større konsekvenser innehar kraftstasjoner overvåkningsutstyr på kritiske komponenter og kan derfor overvåke utviklinger og trender på den tekniske tilstanden til de fleste komponenter. Om den tekniske tilstanden til en komponent inntreffer i tilstand 3 eller tilstand 4, vil det i de fleste tilfeller være hensiktsmessig å utbedre tilstanden på komponenten i stedet for å kjøre komponenten til svikt. En høy sviktsannsynlighet trenger derfor ikke å bety at det er sannsynligheten for at komponenten driftes til svikt.

Felles:

Det er antatt i rapporten at utbedringstiltakene blir gjennomført uten å måtte slippe forbi flomvann. Det kan ligge store besparelser i det å gjennomføre tiltak samtidig for elvekraftverk og andre kraftverk med liten mulighet for lagring av tilsig. For magasinkraftverk med den kapasiteten Innerdalsmagasinet har, vil det være mulig å stanse kraftverket i lengre perioder uten at vann går tapt. Det ligger derfor ingen besparelser i det å kunne redusere utilgjengelighetstiden for Litjfossen kraftverk, med mindre rehabiliteringstiltakene strekker seg over veldig lange perioder. Det kan allikevel være andre gode grunner til å utføre tiltak samtidig. Dette kan for eksempel være av tekniske grunner, sikkerhet på anlegg, oppfølging, transport og kolli eller lignende.

Å gjennomføre tiltakene samtidig vil derfor ikke gi noen økonomiske fordeler i form av redusert utilgjengelighetstid. Det å fullføre tiltakene, enten reinvestering turbin, rehabilitering turbin eller generatorrevisjon i de respektive mest lønnsomme årene (år 5, år 5 og år 6), gir best total lønnsomhet. Det må allikevel påpekes at det kan foreligge andre økonomiske grunner til å utføre ulike tiltak samtidig. Alternativ F1, med reinvestering turbin i 2020 og generatorrevisjon i 2021, gir den totalt beste lønnsomheten ved utbedring av både turbin og generator.

Følsomhetsanalyse:

Det finnes mange usikkerhetsmomenter i en teknisk-økonomisk analyse. I denne rapporten er det valgt å se nærmere på følsomheten til parameterne virkningsgrad, kraftpris, elsertifikater og investeringskostnader. Disse parameterne har påvirkning på resultatene i lønnsomhetsberegningene.

Endring i investeringskostnadene gir de største forandringene i lønnsomheten av tiltakene, både for *reinvestering turbin* og *rehabilitering turbin*. Om investeringskostnaden til *reinvestering turbin* øker med ca. 10 % (resultat -2912kk) vil tiltaket *rehabilitering turbin* være mer lønnsomt (-2801 kkr). Også endringer av total virkningsgradsøkning og kraftpris påvirker lønnsomheten av tiltakene. Hvis en virkningsgradsøkning på kun 1,04 % er oppnåelig (-20%), vil lønnsomheten på *reinvestering turbin* (1,04 %) og *rehabilitering turbin* (0,4 %) være henholdsvis -3037 kkr og -3263 kkr.

Følsomhetsanalysen for generatorrevisjonen viser endringer i resultatet ved endringer i investeringskostnadene. En prosentvis endring i investeringskostnadene gir en tilsvarende prosentvis endring i resultatet. En endring på 20% i investeringskostnadene gir en 20 % endring i resultatet. Siden generatorrevisjonen ikke gir noen virkningsgradsøkning, vil det ikke være knyttet ekstraintekter til dette tiltaket.

Følsomhetsanalysene avdekker de potensielle usikkerhetsmomentene i de ulike parameterne. Endringer i parameterne kan endre hvilke tiltak som anses som mest lønnsomme. Det er derfor viktig å bruke tid på å skaffe riktige opplysninger og grunndata, slik at analysen blir så presis som mulig. Om endringer allikevel oppstår, kan følsomhetsanalysen si noe om hvor stor påvirkning endringene har på resultatet og den totale lønnsomheten av tiltaket.

Personsikkerhet:

Det er ikke bare økonomisk risiko og -nytteverdi som skal vurderes når beslutninger vedtas i kraftselskapene. Også risiko knyttet til personsikkerhet, ytre miljø og omdømme kan og bør analyseres. Det er i tillegg til økonomisk risiko også valgt å se på to hendelser knyttet til personsikkerheten i kraftstasjonen. Målet med å analysere disse to hendelsene er å vurdere om tiltak bør gjennomføres grunnet stor risiko for personsikkerheten. En stor risiko for personsikkerheten kan være grunn alene for å fremskynde tiltak som egentlig er planlagt på senere tidspunkt.

I dette tilfellet var to hendelser knyttet til kontrollanlegget vurdert. Tiltak for utbedring av kontrollanlegget vurderes av TrønderEnergi per dags dato. Det er ikke utført noen økonomiske lønnsomhetsberegninger på kontrollanlegget i denne rapporten, men kun vurdert om personsikkerhetsrisikoen for disse to hendelsene er tilfredsstillende og at disse hendelsene ikke vil påvirke eventuelle kommende tiltak.

Hendelsene vurdert er *brann i kabelanlegg* og *lysbue i koblingsanlegg*. Begge hendelsene er vurdert til å ha medium risiko. Risikoen for begge hendelsene kan reduseres ytterligere ved å utføre sannsynlighet- og konsekvensreducerende tiltak. Allikevel er dagens risiko akseptabel for begge hendelsene, og hendelsene vil ikke være noen grunn til å fremskynde tiltak. Det bør allikevel, ved rehabilitering eller reinvestering, vurderes om sannsynlighet- og/eller konsekvensreducerende tiltak skal implementeres.

Installering av oksygenmasker i en av de tre nedre planene i Litfossen kraftverk bør uansett vurderes som et konsekvensreducerende tiltak mot brann. Disse er billige og meget effektive under nødsituasjoner med røykutvikling.

10 Konklusjon

Tilstandsbeskrivelse og tiltak:

Tilstanden til komponentene i Litjossen kraftverk er generelt god. Turbinsystemet er preget av normal bruksslitasje og tilstanden gitt systemets alder er akseptabel. Ledeapparatet har rivninger på noen av ledeskovlene og ble tildelt tilstandskarakter 3+, den antatt dårligste tilstanden i turbinsystemet. Løpehjulets mest fremtredende skadetype *kavitasjon*, ble tildelt tilstandskarakter 2-. Skadetypen kavitasjon er beregnet til å ha den korteste restlevetiden på løpehjulet med 11,3 år. Tilstanden til resterende komponenter i turbinsystemet er god, men partier med malingsslitasje er registrert på flere komponenter. Generelt trenger turbinsystemet en rehabilitering med sveising, sandblåsing og nye malingsoverflater.

Tilstanden til generatoren er meget god gitt enhetens alder, med unntak av dårlig vindingsisolasjon på rotorpolene. Flere måleresultater og kontroller har avdekket dårlig isolasjon mellom vindingene og skadetyper *nedbrytning av vindingsisolasjon* og *løse sporkiler* benyttet for utregning av tiltaket *generatorrevisjon*, ble beregnet til henholdsvis 10,0- og 17,4 år. Generatorkjølerne, bremsing på rotor, slepering i generatortopp og generell tilsmussing av generator er vurdert til tilstandskarakter 2. Resterende komponenter på generatoren er vurdert til tilstandskarakter 1.

Gass- og oljeanalysene på krafttransformatoren i Litjossen kraftverk indikerer en god tilstand. Kjøle- og pumpesystemer har passert forventet levetid og bør vurderes utskiftet.

Resultater turbin:

Lønnsomhetsberegningene viser at utbedring av turbin bør gjennomføres før elsertifikatsordningen utgår. Det fremgår av lønnsomhetsberegningene at tiltakene *reinvestering turbin* og *rehabilitering turbin* har den beste lønnsomheten i tiltaksår 5 (2020), det siste støtteberettigete året før elsertifikatsordningen utgår. Etter tiltaksår 5 reduseres lønnsomheten av tiltakene *reinvestering turbin* og *rehabilitering turbin* i betydelig grad. Lønnsomheten av tiltakene *reinvestering turbin* år 5 og *rehabilitering turbin* år 5 er beregnet til henholdsvis -1836 kkr og -2801 kkr. Den totale sviktsannsynligheten for de respektive tiltakene *reinvestering turbin* år 5 og *rehabilitering turbin* år 5 er henholdsvis 0,007% og 4,5 %.

Resultater generator:

Revisjon av generator ble beregnet til å være mest lønnsom i tiltaksår 6 (2021). Dette året gir best balanse mellom diskonterte investeringskostnader og økende sviktkostnader. Den totale sviktsannsynligheten for dette tiltaksåret er på 4,9 %

Felles:

Et stort magasin kraftverk som Litjossen kraftverk har muligheten for lagring av vann over lengre perioder. Det betyr at kraftverket kan være utilgjengelig i lengre perioder uten at vann går tapt. Å gjennomføre tiltakene samtidig vil derfor ikke gi noen økonomiske fordeler med hensyn på redusert utilgjengelighetstid. De forskjellige løsningsalternativene *reinvestering turbin*, *rehabilitering turbin* og *generatorrevisjon* vil derfor være mest lønnsomme i de respektive mest lønnsomme årene; år 5, år 5 og år 6. Alternativ F1, med *reinvestering turbin* år 5 og *generatorrevisjon* år 6, gir den totalt beste lønnsomheten ved utbedring av både turbin og generator.

Følsomhetsanalyse:

Følsomhetsanalysen viser at endringer i parameterne kan påvirke hvilke tiltak som er mest lønnsomme. En 10 % økning av investeringskostnadene for tiltak *reinvestering turbin* medfører at tiltaket *reinvestering turbin* (-2912 kkr) blir mindre lønnsomt enn tiltaket *rehabilitering turbin* (-2801 kkr). Investeringskostnadene er den eneste parameteren som kan gjøre tiltaket *rehabilitering turbin* mer lønnsomt å gjennomføre enn *reinvestering turbin* ved endringer i parameterne (kraftpris, virkningsgrad, elsertifikater og investeringskostnader) med ± 20 %.

Personersikkerhet:

Det er konkludert med at hendelsene *brann i kabler* og *lysbue i koblingsanlegg* har en akseptabel risiko og at hendelsene ikke vil være noen grunn til å fremskynde tiltak for utbedring av kontrollanlegg.

11 Videre arbeid

Det er i denne rapporten utarbeidet en tilstandsbeskrivelse av komponentene i Litjfossen kraftverk. Disse komponentene er benyttet til grunnlag for den økonomiske analysen av løsnings tiltak for turbin og generator. I forutsetningene for den økonomiske analysen er det gjort forenklinger for å tilpasse den tiden som har vært til rådighet. Med denne tiden til rådighet er forenklingene gjennomført etter beste evne uten at forenklingene skal påvirke kvaliteten på beregningene. Det er allikevel, med mer tid til rådighet, mulig å legge mer arbeid i å anskaffe mer nøyaktige grunndata for lønnsomhetsberegningene.

Det vil alltid være mulig å utvide omfanget av en teknisk økonomisk-analyse ved å analysere flere løsningsalternativer. Et videre arbeid kunne vært å inkludert andre interessante løsningsalternativer i analysen.

I følsomhetsanalysene kom det frem at investeringskostnadene hadde størst påvirkning på resultatet ved endringer. Det ville derfor vært hensiktsmessig å kvalitetssikre investeringskostnadene for de ulike tiltakene ved å gjennomgå tallene på nytt.

I rapporten er det benyttet kraftpris for region Trondheim år 2014. Selv om det ikke er mulig å spå fremtidig kraftpris, har kraftselskapene mye kunnskap og erfaring på emnet. Et videre arbeid kunne vært å benytte seg av denne kunnskapen og erfaringen til å utvikle en prognose på kommende kraftpris for region Trondheim.

Det er i rapporten diskutert hvordan små endringer i valg av tilstandskarakterer kan gi store restlevetidsdifferanser, som igjen påvirker lønnsomhetsberegningene. Ved videre arbeid ville det vært interessant å sett på følsomheten disse små endringene av tilstandskarakterer ville hatt på resultatet i lønnsomhetsberegningene.

Et såkalt *worst case* scenario er benyttet ved svikt i lønnsomhetsberegningene. Det vil si at alt tilsig etter svikthendelsen blir beregnet som tapt vann og tapt produksjon. Produksjonstapene ved utilgjengelighet av kraftverket er beregnet ut fra årlig midlere produksjon. Dette er en forenkling som beregner høyere sviktkostnader enn hva som ville blitt beregnet med en mer realistisk tilnærming til flomtaket. Ved videre arbeid kunne en funnet en mer realistisk tilnærming til hvor lenge Innerdalsmagasinet kan lagre vann før tilsig må slippes forbi kraftverket.

Det er vurdert risiko i forbindelse med personsikkerheten i kraftstasjonen med bruk av hendelsestre og risikomatriser. Et videre steg kan være å implementere personsikkerhet inn i sviktmodellene der konsekvensene med tanke på personsikkerheten belyses. Sviktsannsynlighetene kan kartlegges ved å benytte hendelsestre. Det er da interessant å se på sviktsannsynligheten over lengre tidsperioder. Konsekvensene fra sviktmodellen og sannsynligheten fra hendelsestreet danner risikoen for personsikkerheten.

12 Referanser

- [1] V. AS, «Vitec.as,» [Internett]. Available: <http://vitec.as/tjeneste/ndt/kontrollmetoder-av-sveis-og-materialer/>. [Funnet 19 september 2014].
- [2] NVE, «Norges vassdrags- og energidirektorat,» [Internett]. Available: <http://www.nve.no/no/Energi1/Fornybar-energi/Vannkraft/>. [Funnet 7 November 2014].
- [3] L. Brekke, Teknisk-økonomisk analyse av reinvesteringsbehov i vannkraftverk, Trondheim, 2014.
- [4] TrønderEnergi, «Vannportalen,» TrønderEnergi, [Internett]. Available: www.vannportalen.no/Orklavassdraget_dHBqS.pdf. [Funnet 5 Oktober 2014].
- [5] Trønderenergi, *TrønderEnergi AS - informasjon for forsikringsformål*, Trondheim: TrønderEnergi kraft, 2011.
- [6] J. E. Asphaug, «Turbin - Litjfossen kraftverk,» TrønderEnergi, 2001.
- [7] NVE, «Norges vassdrags- og energidirektorat,» [Internett]. Available: http://www.nve.no/Global/Vann%20og%20vassdrag/Databaser%20og%20kart/Dataoversikt/Vannstand_vannforing.pdf. [Funnet 6 Oktober 2014].
- [8] TrønderEnergi, *Litjfossen 2004 til 2014*, Trondheim: TrønderEnergi, 2014.
- [9] EnergiNorge, «EnergiNorge,» [Internett]. Available: <http://www.energinorge.no/innlogging/haandbok-kraftproduksjon-article7422-264.html>. [Funnet 31 Oktober 2014].
- [10] T. Welte, J. Heggset og E. Solvang, «Sviktmødel for vannkraftverk: Skadetyper og tilstandskriterier,» SINTEF, Trondheim, 2011.
- [11] E. Solvang og M. Istad, «Modell for teknisk-økonomisk analyse av vedlikehold og reinvesteringer innen vannkraft,» SINTEF Energi AS, Trondheim, 2013.
- [12] J. Heggset, D. E. Nordgård, E. Solvang og T. Welte, «Brukerveiledning optimalt vedlikehold,» Trondheim, 2006.

- [13] S. F. Livgard, «Teknisk-økonomisk analyse av reinvesteringer i vannkraftverk,» Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim, 2013.
- [14] T. Sliper, «Teknisk-økonomisk analyse av rehabilitering og modifikasjon,» Norges tekniske og naturvitenskapelige universitet, Bergen, 2012.
- [15] E. Solvang, T. Welte og J. Heggset, «Sviktmmodell for vannkraftverk: Modellbeskrivelse og anvendelse,» SINTEF Energi AS, Trondheim, 2011.
- [16] A. Tovslid, «Trykkpulsasjoner i Francisturbiner - Sammenligning av modell og prototypmålinger,» Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim, 2013.
- [17] K. Haugan, «Trykkpulsasjoner i Francisturbiner,» NTNU, Trondheim, 2007.
- [18] J. M. Solberg, «Trykkpulsasjonsmålinger på høytrykkskraftverk,» Norges teknisk-naturvitenskapelige universitet, Trondheim, 2008.
- [19] L. E. Lundgaard, «Transformer - Overview of specification, ageing and failure modes and methods for condition monitoring,» SINTEF, Trondheim.
- [20] L. Brevig, «Litjfossen vibrasjonsmåling,» Norconsult, Sandvika, 2001.
- [21] H. Bjørndal, «Vibrasjonsmåling og tilstandskontroll,» Norconsult, Sandvika, 2007.
- [22] E. Kobro, «Vibrasjonsmåling 2012-12-12,» Norconsult, Sandvika, 2012.
- [23] E. Nilsen, «Litjfossen kraftverk - Turbinvirkningsgradsmåling,» Norconsult, Sandvika, 2003.
- [24] Norconsult, «Vurdering av oppgraderingsmulighet med nye løpehjul,» Norconsult, Sandvika, 2014.
- [25] Energi Norge, «Håndbok - Francisturbin».
- [26] T. Smepass, «Tilstandskontroll av vannkraft - rotor, stator og lager,» TrønderEnergi, Trondheim, 2013.
- [27] O. Paulsen, «Prøverapport Litjfossen T1 fra ABB AS,» ABB, 2014.

- [28] S. Barzngy, «Prøverapport Litjfossen T1 fra ABB AS,» ABB, 2013.
- [29] REN, «RENblad 7201 - Regionalnett - Veiledning til vedlikehold av krafttransformatorer,» Rasjonell Elektrisk Nettvirksomhet, 2014.
- [30] Ø. Berg, «Tilstandskontroll av transformatorer,» ABB, Drammen, 2008.
- [31] E. Csanyi, «Electrical Engineering Portal,» 29 september 2012. [Internett]. Available: <http://electrical-engineering-portal.com/right-choice-of-dry-type-or-liquid-filled-transformer#4>. [Funnet 23 mars 2015].
- [32] K. Longva, «moretrafo.no,» Hvilken høyspent transformator bør man velge - en oljeisolert eller en tørrisolert epoxytransformator?, 15 januar 2014. [Internett]. Available: <http://moretrafo.no/hvilken-hoyspent-transformator-bor-man-velge-en-oljeisolert-eller-en-torrisolert-epoxytransformator/>. [Funnet april 4 2015].
- [33] K. A. Rosvold, «Store norske leksikon,» 9 september 2013. [Internett]. Available: <https://snl.no/spenningsregulator>. [Funnet 24 mars 2015].
- [34] O. Bjerkås, «Turbininspeksjon 2013,» TrønderEnergi, 2013.
- [35] J. A. K.-T. F. Øyvind Linnebo, *Ekspertvurderinger - Estimation of failure probability*, Trondheim: SINTEF, 2007.
- [36] «Statnett,» [Internett]. Available: <http://necs.statnett.no/WebPartPages/AveragePricePage.aspx>. [Funnet 10 mai 2015].
- [37] NVE, «Kulturminner i norsk kraftproduksjon,» NVE, 2013.
- [38] NTNU, «ntnu.no/ivt,» [Internett]. Available: <http://www.ivt.ntnu.no/ept/fag/tep4195/innhold/Forelesninger/forelesninger%202006/8%20-%20Guide%20Vanes%20in%20Francisturbines.pdf>. [Funnet 1 november 2014].
- [39] Norges vassdrags- og energidirektorat, «Veiledning i risiko- og sårbarhetsanalyser for kraftforsyningen - Veileder nr. 2-2010,» NVEs hustrykkeri, Oslo, 2010.

- [40] Kunnskapsenteret, «ogbedreskaldetbli.no,» [Internett]. Available: http://www.ogbedreskaldetbli.no/metoder_verktoy/Verktoykasse/Forankre_og_organisere_forbedringsarbeidet/ROS-analyse/1299. [Funnet 26 mars 2015].
- [41] SAE, «Evaluation criteria for Reliability-Centered Maintenance (RCM) Processes,» 2009.
- [42] O.-. o. energidepartementet, «Lovdata,» 1 Januar 2013. [Internett]. Available: https://lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2012-12-07-1157#KAPITTEL_2. [Funnet 25 Februar 2015].
- [43] NVE, «Veileder til forskrift om forebyggende sikkerhet og beredskap i energiforsyningen,» Norges vassdrag- og energidirektorat, Oslo, 2013.
- [44] A. Steen-Hansen, J. P. Stensaas, S. Fjær og K. Storesund, «Elektriske kabler og brannrisiko,» SINTEF NBL as, Trondheim, 2012.
- [45] Nexans, «Nexans,» [Internett]. Available: http://www.nexans.no/eservice/Norway-no_NO/navigate_268113/Brann_kostnader_og_konsekvenser.html. [Funnet 28 mars 2015].
- [46] Buskerud brannservice, «Buskerud brannservice,» [Internett]. Available: http://www.buskerud-brannservice.no/nettbutikk/msa_s_cap_flukthette_veggboks/376/vis_prod/897. [Funnet 29 mars 2015].
- [47] H. Strandgaard, Forfatter, *NEK's El.sikkerhetskonferanse 2009*. [Performance]. Unitech Power Systems, 2009.
- [48] J. Idsø, «Store norske leksikon,» [Internett]. Available: <https://snl.no/n%C3%A5verdi>. [Funnet 8 mai 2015].
- [49] «Google Maps,» 2014. [Internett]. Available: www.google.no/maps.
- [50] O. Bjerkås, «Turbininspeksjon Litjfossen 2011,» TrønderEnergi, 2011.
- [51] S. Jørgensen, «Brattset 1 & 2 Litjfossen lageroppretting,» Norconsult, Sandvika, 2001.

- [52] J. Asphaug, *Litjfossen kraftverk - prinsippskisse*, TrønderEnergi, 1982.
- [53] H. Sæle, «SINTEF Energi,» [Internett]. Available: <http://www.energy.sintef.no/Prosjekt/FeilstatistikkTrafo/Kjolertype.htm>. [Funnet 7 oktober 2014].
- [54] REN, «RENblad 7200 - Regionalnett - Vedlikehold av krafttransformatorer,» Rasjonell Elektrisk Nettvirksomhet, 2014.
- [55] ABB, «www.abb.no,» 2012. [Internett]. Available: [http://www05.abb.com/global/scot/scot252.nsf/veritydisplay/2b6dc941fc63a613c1257c9900564aa9/\\$file/3AJE000124-103_no_Analyse_Trafo_Olje.pdf](http://www05.abb.com/global/scot/scot252.nsf/veritydisplay/2b6dc941fc63a613c1257c9900564aa9/$file/3AJE000124-103_no_Analyse_Trafo_Olje.pdf). [Funnet 7 oktober 2014].
- [56] ABB, «Prosedyre - Dielektrisk tapsfaktor,» notonic, 2012.
- [57] ABB, «Prosedyre - Grenseflatespenning,» notonic, 2012.
- [58] H. Bjørndal, *Optimal tilstandsovervåking - Hvordan kombinere kontinuerlig overvåking med periodiske målinger og kontroller*, Gardemoen: Norconsult, 2010.
- [59] H. Bjørndal, «Lageroppsetting,» Norconsult, Sandvika, 2002.
- [60] Nordpool spot, «Nordpool spot,» [Internett]. Available: <http://www.nordpoolspot.com/#/nordic/chart>. [Funnet 5 November 2014].
- [61] Energi Norge, «Håndbok - Skademekanisme».
- [62] B. Stene, T. M. Sneve og K. Brekke, «Aldersfordeling for komponenter i kraftsystemet - Levetid og behov for reinvesteringer,» NVEs hustrykkeri, Oslo, 2005.
- [63] K. Stene, *e-post*, 2014.
- [64] NVE, «atlas.nve.no,» [Internett]. Available: <http://atlas.nve.no/ge/Viewer.aspx?Site=NVEAtlas>. [Funnet 10 oktober 2014].

- [65] B. Børresen, «dok.ebl-kompetanse.no,» Rainpower, [Internett]. Available: <http://dok.ebl-kompetanse.no/Foredrag/2009/PTK/Borresen.pdf>. [Funnet 23 November 2014].
- [66] O. G. Dahlhaug, *e-post*, Trondheim, 2014.
- [67] Energi Norge, «Energi Norge,» 5 November 2012. [Internett]. Available: <http://www.energinorge.no/skjulte-prosjektforslag-2013/glatte-roer-reduksjon-av-falltap-i-turbinroer-article9538-640.html>. [Funnet 25 Mars 2015].
- [68] T. Welte, J. Heggset, E. Solvang og D. E. Nordgård, «User's guide to optimal maintenance tool box,» SINTEF, Trondheim, 2011.

Vedlegg 2: Produksjonsdata og kjøremønster for aggregat i Litjossen kraftverk.

Det er innhentet datagrunnlag på produksjon og kjøremønster fra TrønderEnergi [8] for de 10 siste årene. Tabell 61 viser en oppsummering av datagrunnlaget.

Tabell 61: Produksjonsdata og kjøremønster for aggregat i Litjossen kraftverk.

Produksjonsdata og kjøremønster				
År	Produksjon per år [GWh]	Antall driftstimer per år [t]	Gjennomsnittseffekt [MW]	Antall start/stopp
2004	128	2155	59,4	186
2005	204	3231	63,1	230
2006	112	2091	53,7	166
2007	171	3043	56,0	213
2008	148	2794	53,1	230
2009	149	2885	51,8	221
2010	140	2573	54,3	257
2011	171	3085	55,3	221
2012	221	3856	57,2	263
2013	109	2203	49,7	230
Midlere 10 siste år	155	2792	55,4	221,7

Vedlegg 3: Tekniske data Litjossen kraftverk.

Tabell 62: Tekniske data for Litjossen kraftverk. [5]

Turbin	
Fabrikat	Kværner
Type	Vertikal Francisaggregat
Konstruksjonseffekt	75 MW
Nominelt turtall	428,6 o/min
Virkningsgradsmåling	94,5 %

Generator	
Type	Vertikal synkrongenerator
Leverandør	NEBB
Satt i drift	1 september 1982
Ytelse	83 MVA
Effektfaktor	0,9
Merkespenning	9,5 kV
Strøm	5044 A
Nominelt turtall	428,6 o/min

Hovedtransformator	
Fabrikant	ASEA - Per Kure A/S
Type	TMY 43
Kjøling	OFW
Fabrikat år	1982
Ytelse	83 MVA
Merkespenning	140,5/9,5 kV
Strøm	341/5055 A
Totalvekt	74,2 tonn

Reguleringsanlegg	
Tilsigsfelt	383,3 km ²
Innerdalsmagasinet [LRV - HRV]	Kote 778 – 813 m
Storfosdammen [LRV - HRV]	Kote 503 – 519 m
Effektiv fallhøyde	288,5 m
Tilløpstunnel	7,5 km råsprengt fjell

Vedlegg 4: RCM analyser for Litjfosse kraftverk.

SKJEMA 1: FUNKSJONSANALYSE				Utført av: MHK/JEA		
Kraftverk: LITJFOSSE KRAFTSTASJON				Dato: 12-Mai-98		
System: HJELPESYSTEM				Revisjon: 00		
Hovedtagnummer: 480.001 (Brannsignalanlegg)						
Funksjonsbeskrivelse	Skjult feil Ja/Nei	Funksjonsfeil	Undertagnummer	Driftsmerking	Komponent	Feilmode
Gi alarm lokalt og til driftsentral ved brann/røykutvikling i kraftverk.	J	Gir ikke alarm ved brann/røykutvikling.	480.001.063		Brannvarslings- anlegg	Svikt
Kommentar: Med feilmoden svikt mener vi brudd i sløyfer.						
						Side nr: 1 : 34

SKJEMA 2: ÅRSAKS- OG KONSEKVENNS ANALYSE														
Kraftverk: LITJOSSEN KRAFTSTASJON					Utført av: MHK/JEA									
System: HJELPESYSTEM					Dato: 12-Mai-98									
Hovedtagnummer: 480.001 (Brannsignalanlegg)					Revisjon: 00									
Komponent	Feilmode	Årsak	Feilkarakteri- stikk	GF	Estimert MTBF	GF	Deteksjonsmetode	GF	Beskrivelse av Konsekvens	Konsekvensnivå				
										S	M	T	V	
Brannvarslings- anlegg	Svikt	Kontaktfeil 1)	T	H	3	L	Alarm/ Funksjonstest	H	Utlisiktede alarmer og feilmeldinger. Stor konsekvens ved brann.	H	M	L	L	

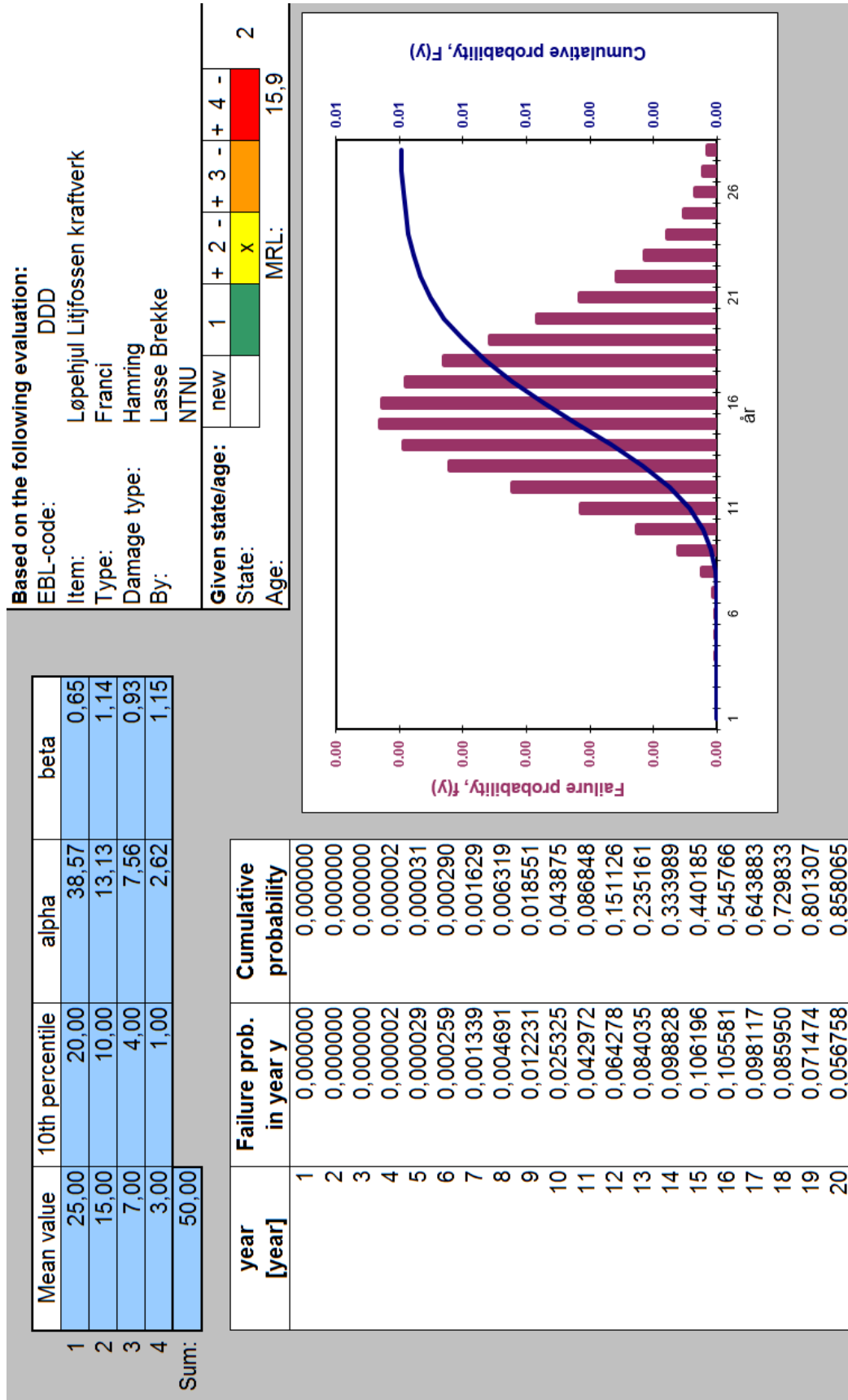
Kommentar: 1) Enten i detektor sløyfer eller i sentralen. Utlisiktet alarm i generatorsløyfen gir nedstengning av kraftverket. Konsekvenskodene avhenger av om det er folk i kraftverket.

Side nr: 2: 34

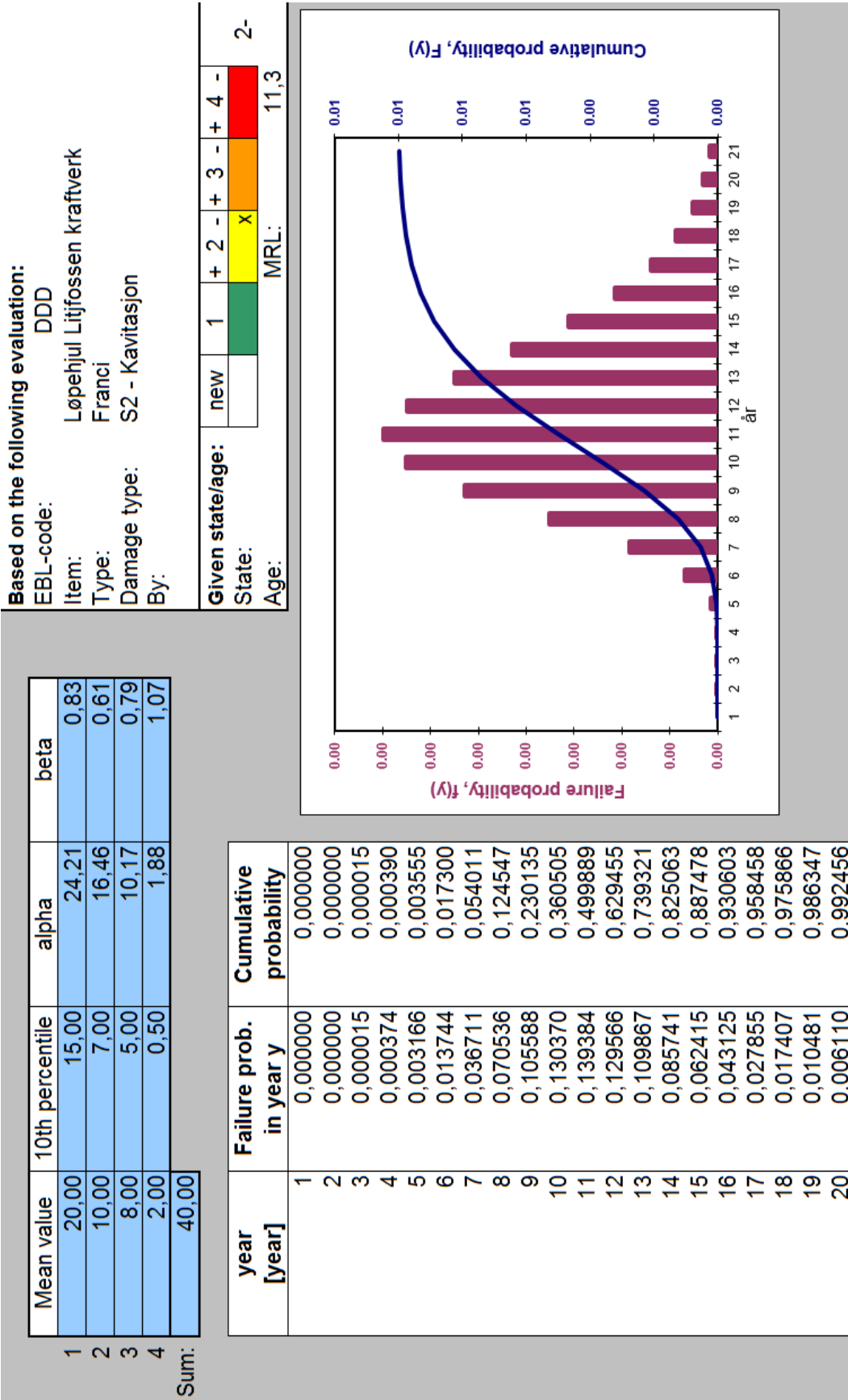
SKJEMA 3: FASTSETTELSE AV VEDLIKEHOLDSSTRATEGI											
Kraftverk: LITJOSSEN KRAFTSTASJON					Utført av: MHK/JEA						
System: HJELPESYSTEM					Dato: 12-Mai-98						
Hovedtagnummer: 480.001 (Brannsignalanlegg)					Revisjon: 00						
Komponent	Feilmode	Konsekvensnivå					Type Aksjon	Vedlikeholdsaksjon	Intervall	Nedstengning	Rep. tid
		1	2	3	4	5					
Brannvarslings- anlegg	Svikt	N	N	-	J	-	PV	Funksjonsprøve av detektorer og sløyfer.	1 år	J	1
Kommentar: <i>Årlig kontroll av myndighetstaker.</i>											

Vedlegg 5: Sviktmodeller

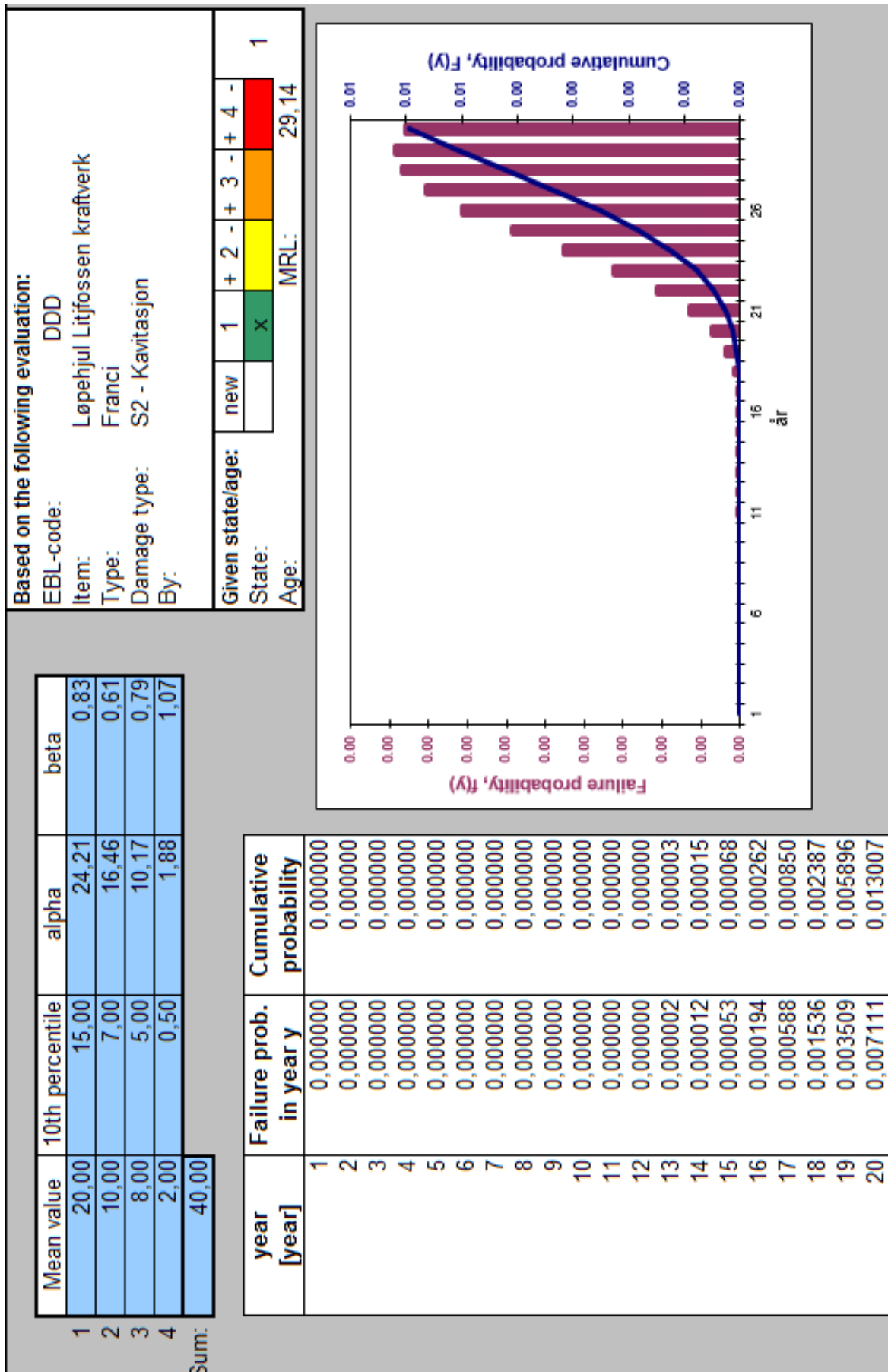
Vedlegg 5.1: Sviktmodell for skadetype *hamring* før rehabilitering.



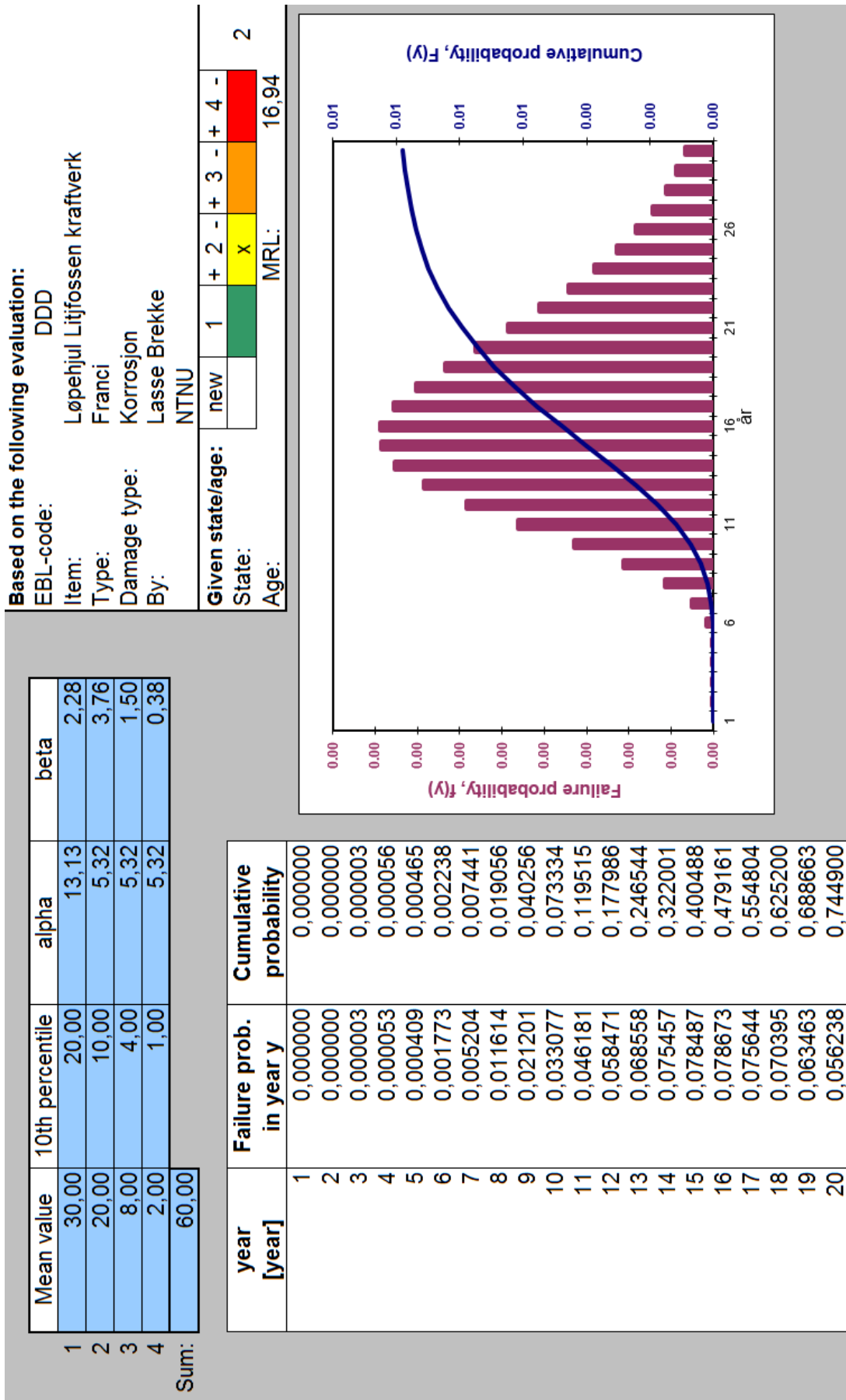
Vedlegg 5.3: Sviktmodell for skadetype *kavitasjon* før rehabilitering.



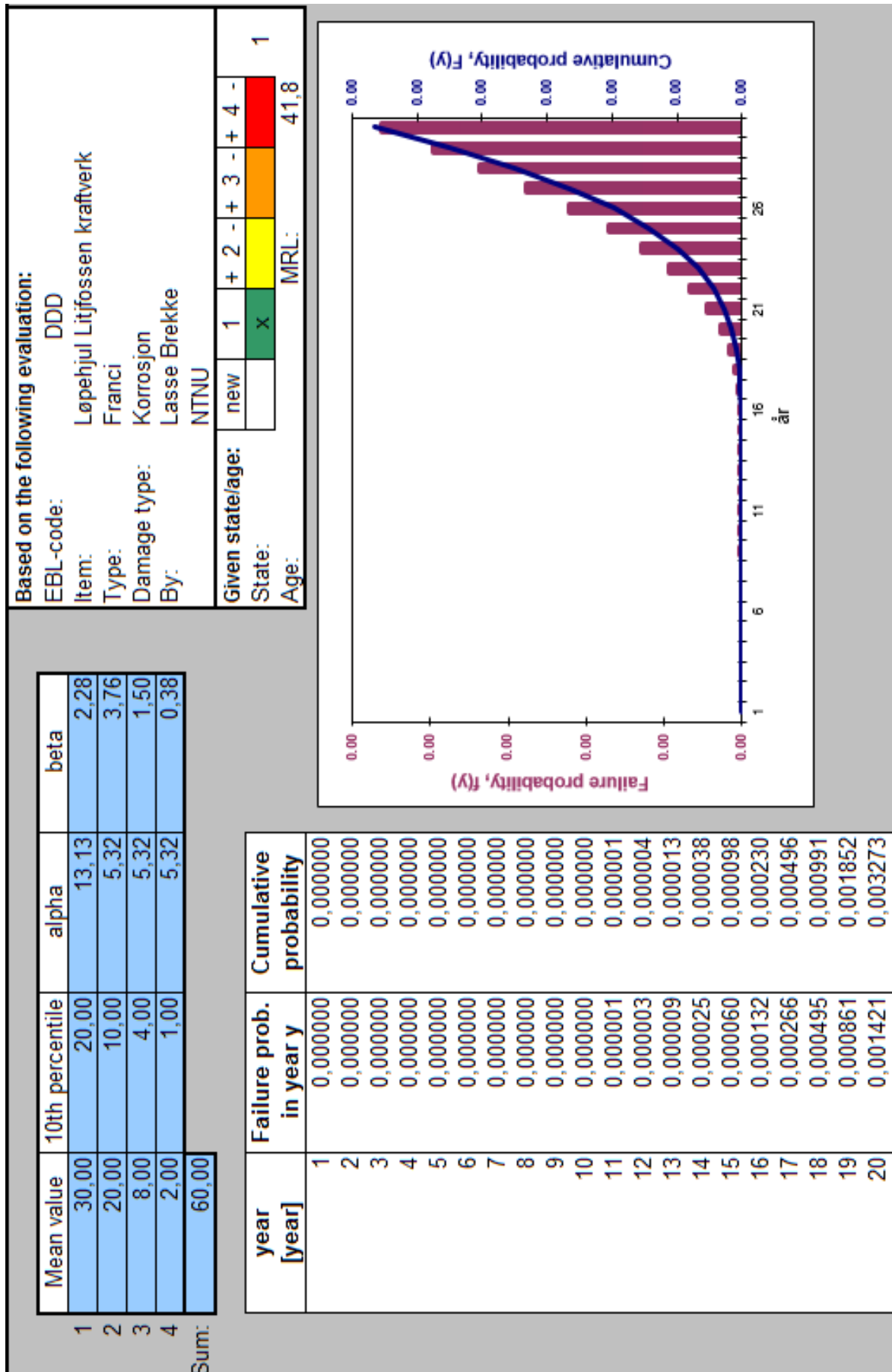
Vedlegg 5.4: Sviktmodell for skadetype *kavitasjon* etter rehabilitering.



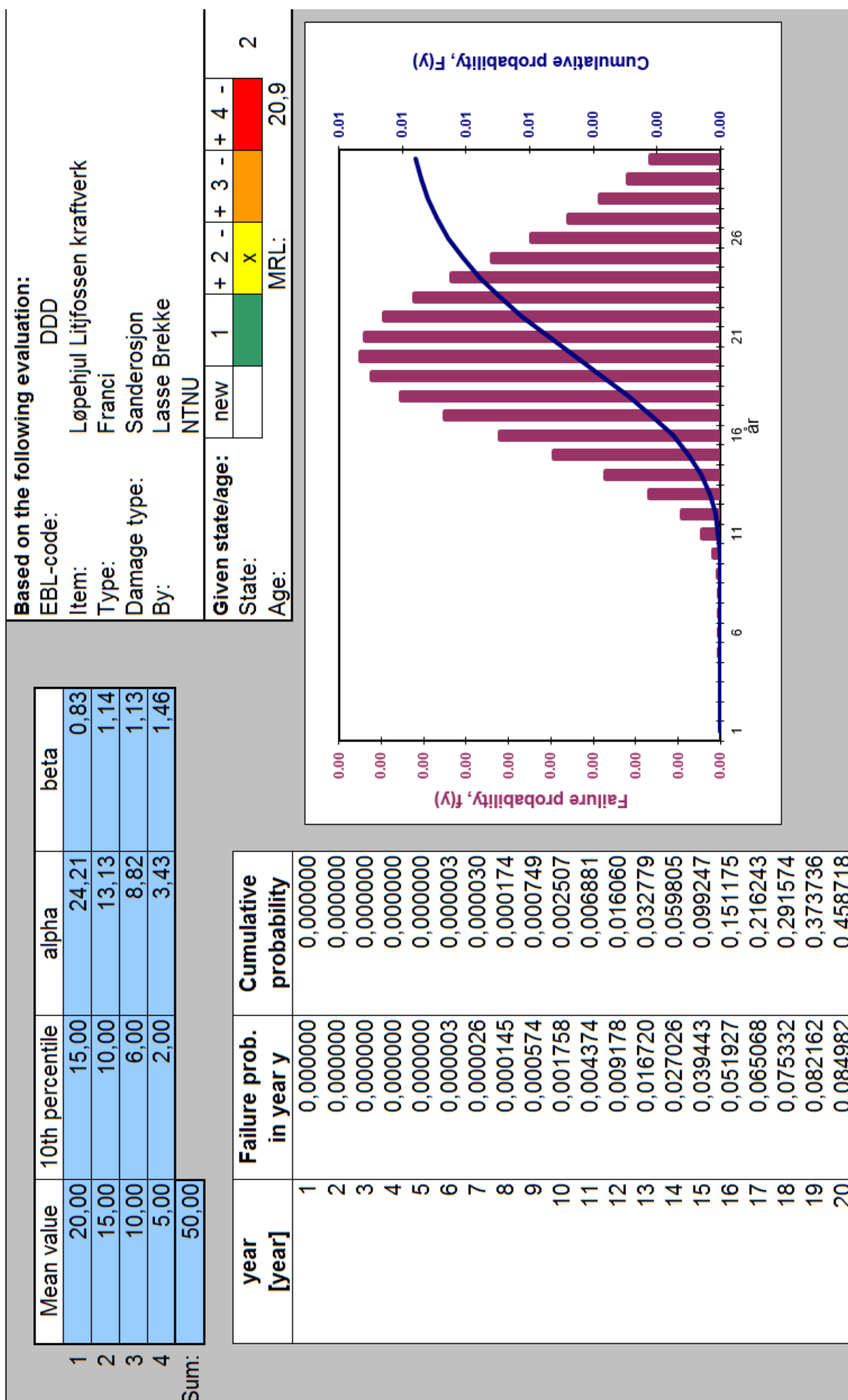
Vedlegg 5.5: Sviktmodell for skadetype *korrosjon* før rehabilitering.



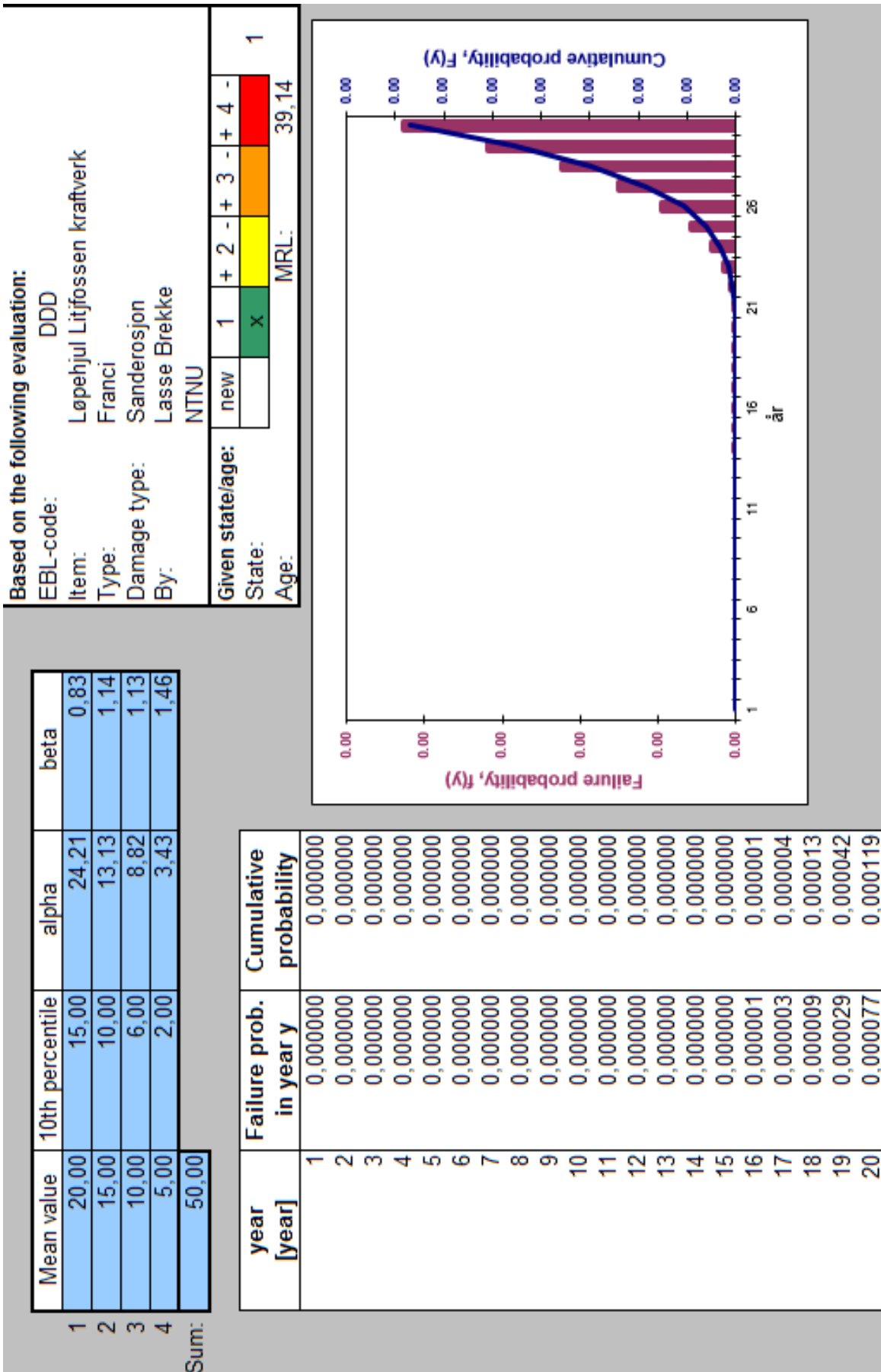
Vedlegg 5.6: Sviktmodell for skadetype korrosjon etter rehabilitering.



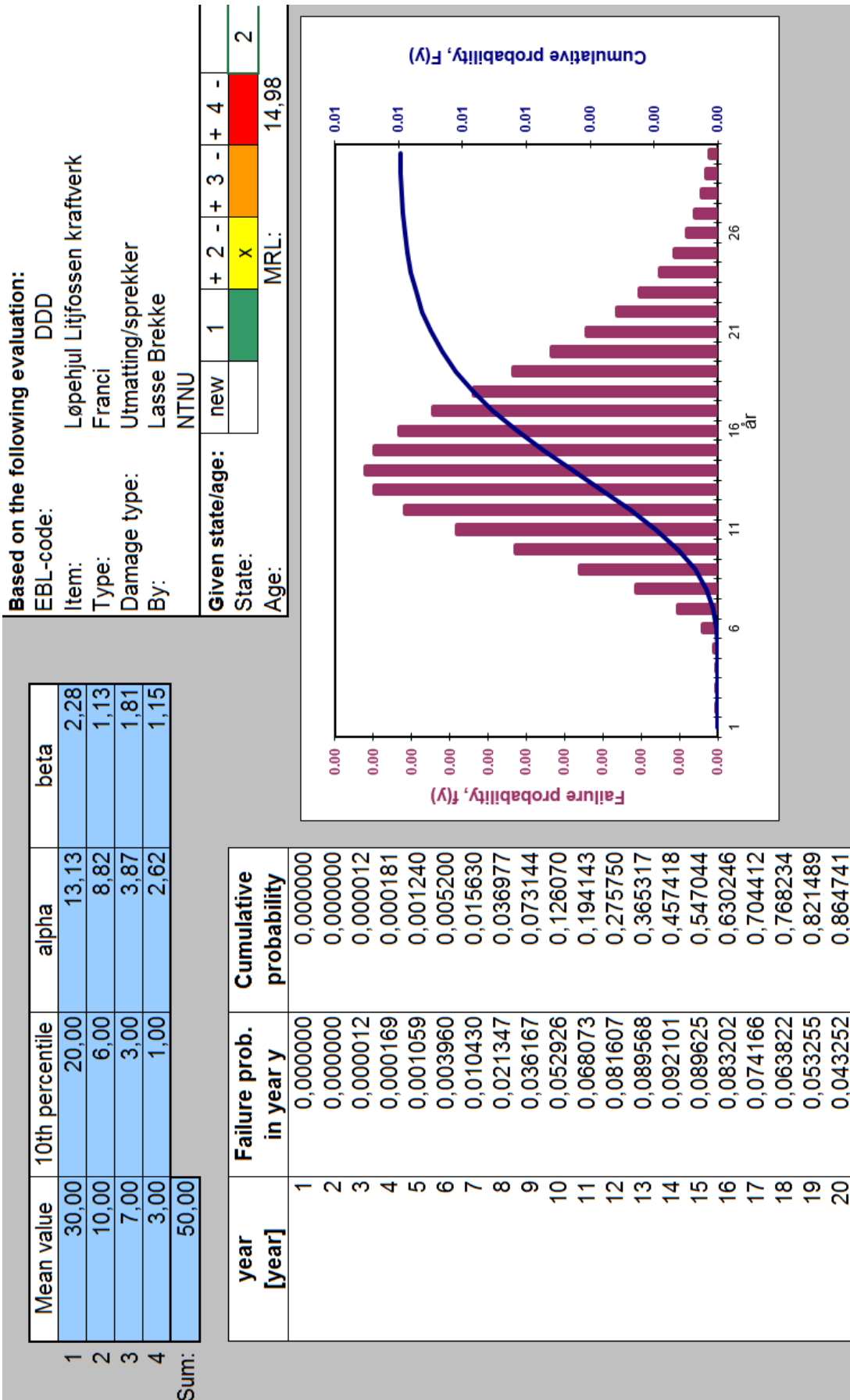
Vedlegg 5.7: Sviktmodell for skadetype *sanderosjon* før rehabilitering.



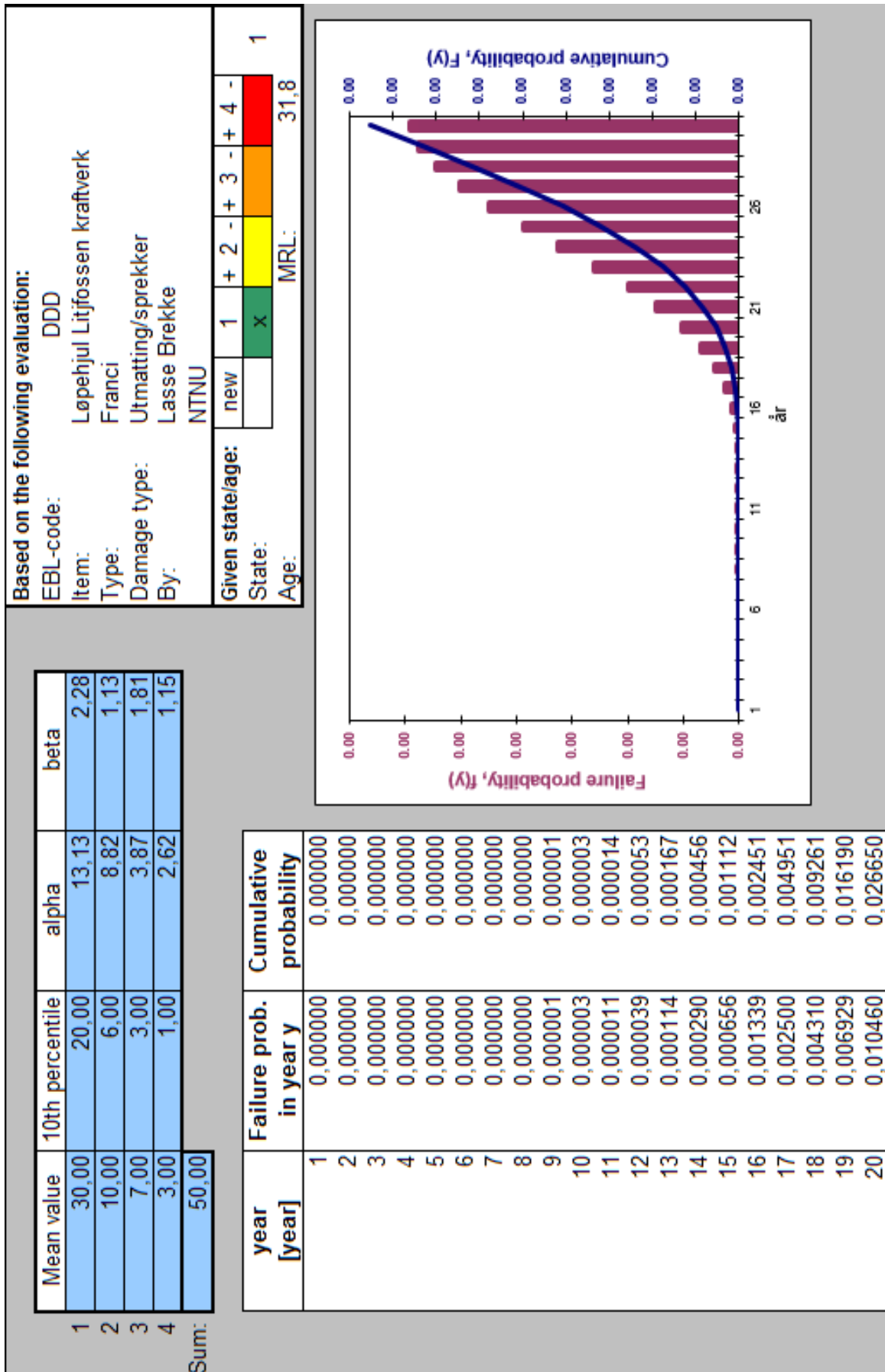
Vedlegg 5.8: Sviktmodell for skadetype *sanderosjon* etter rehabilitering.



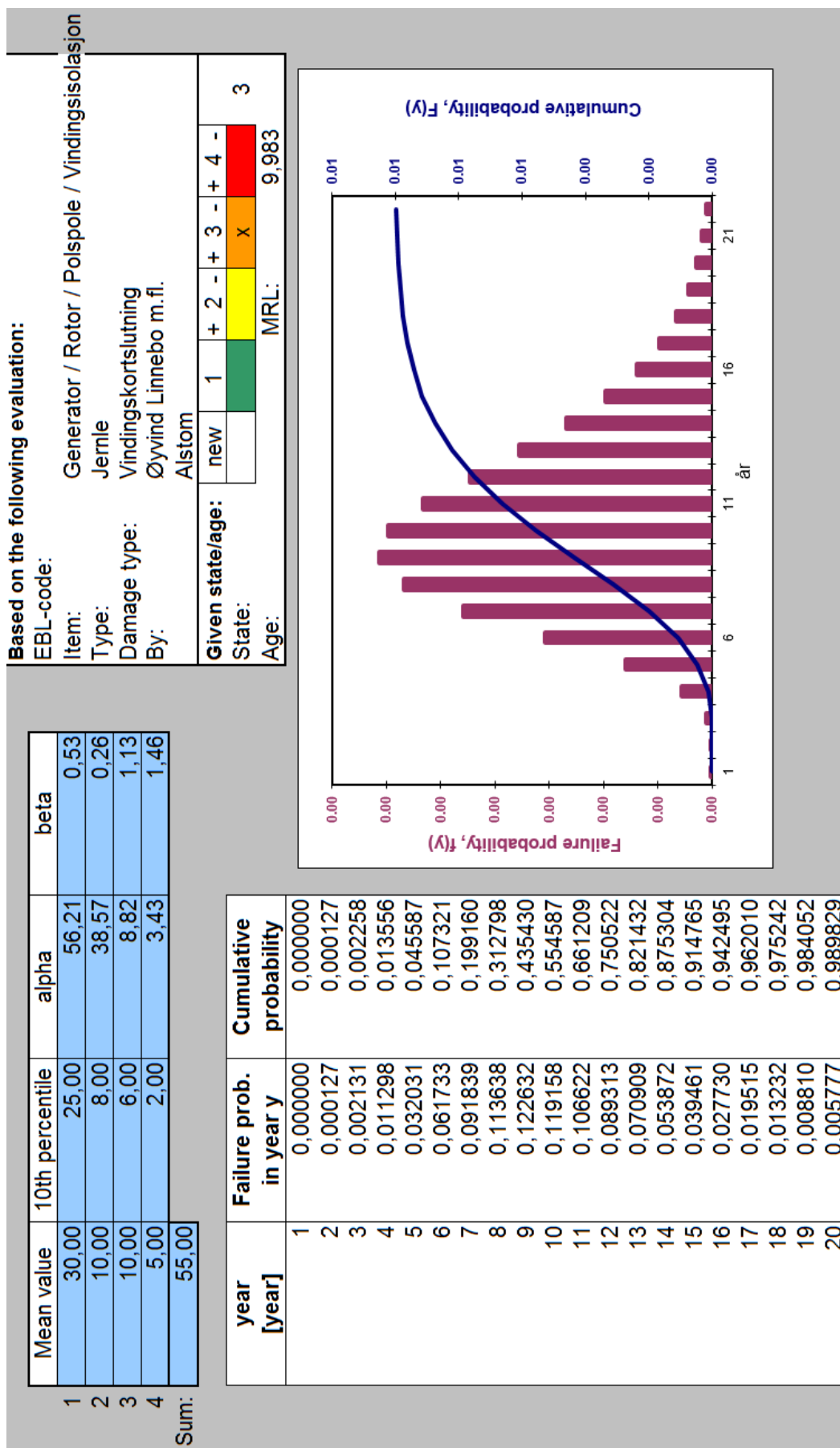
Vedlegg 5.9: Sviktmodell for skadetype *utmattning/sprekker* før rehabilitering.



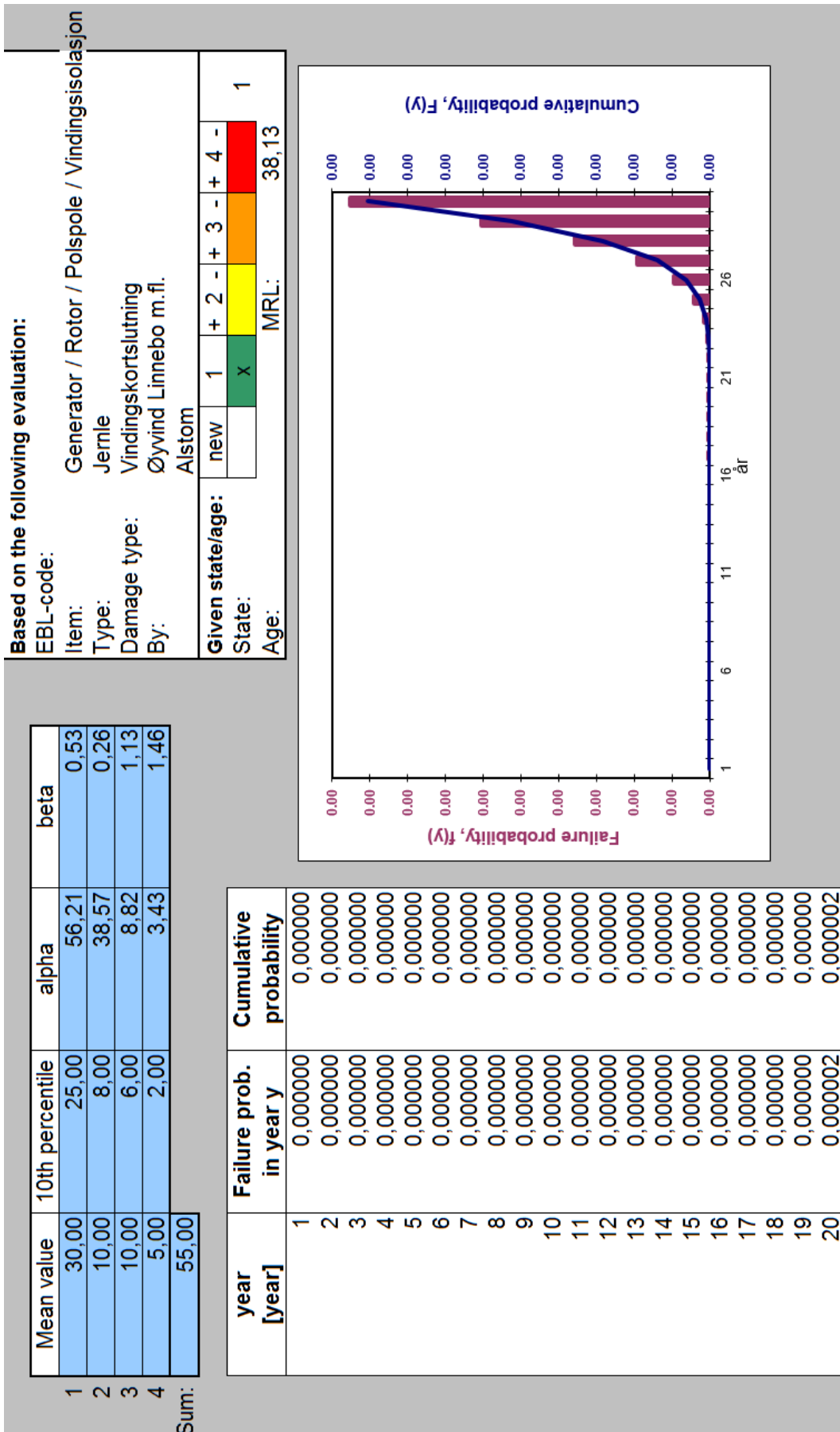
Vedlegg 5.10: Sviktmodell for skadetype *utmattning/sprekker* etter rehabilitering.



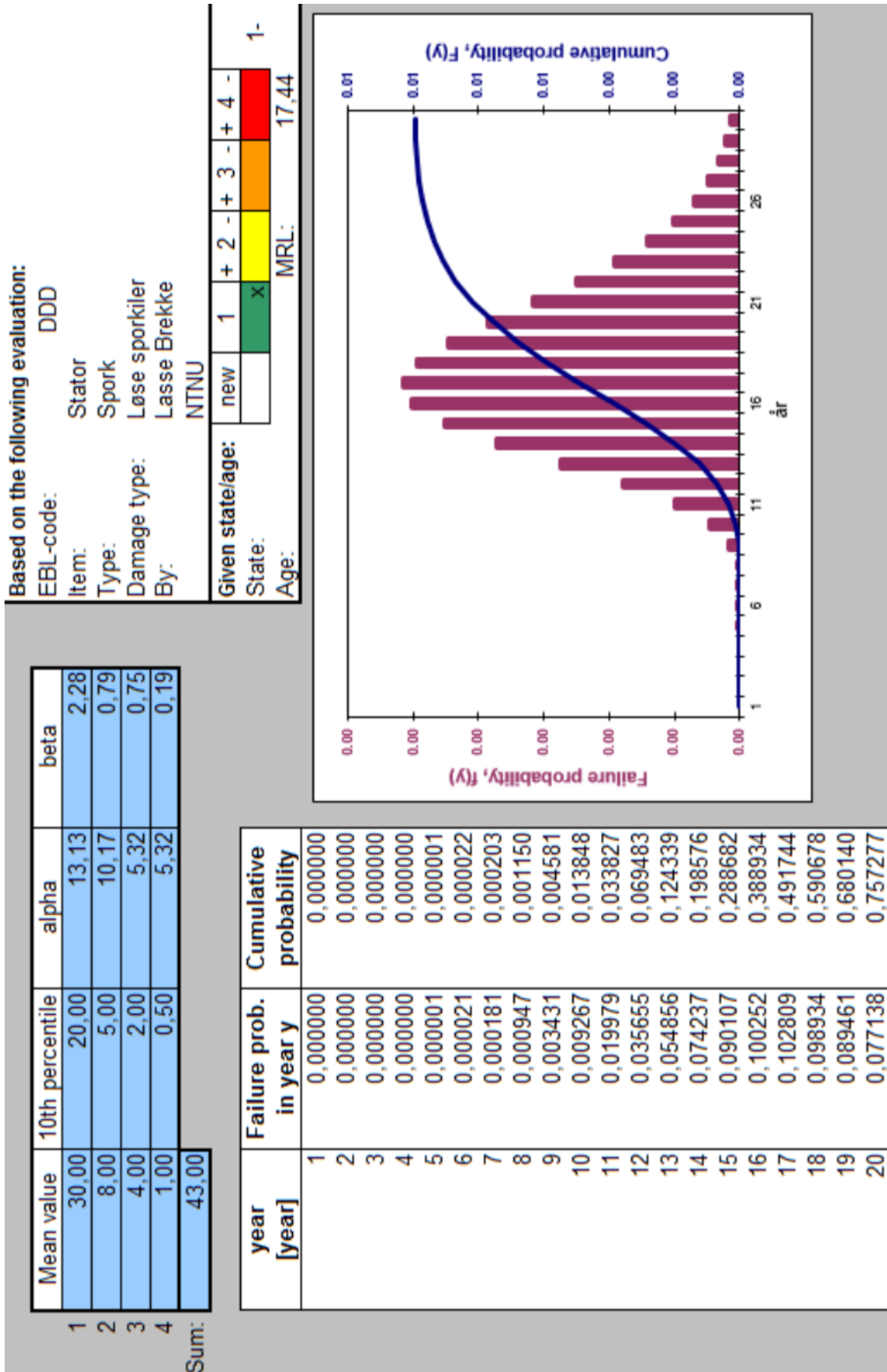
Vedlegg 5.11: Sviktmodell for skadetype *nedbrytning av vindingsisolasjon* før rehabilitering.



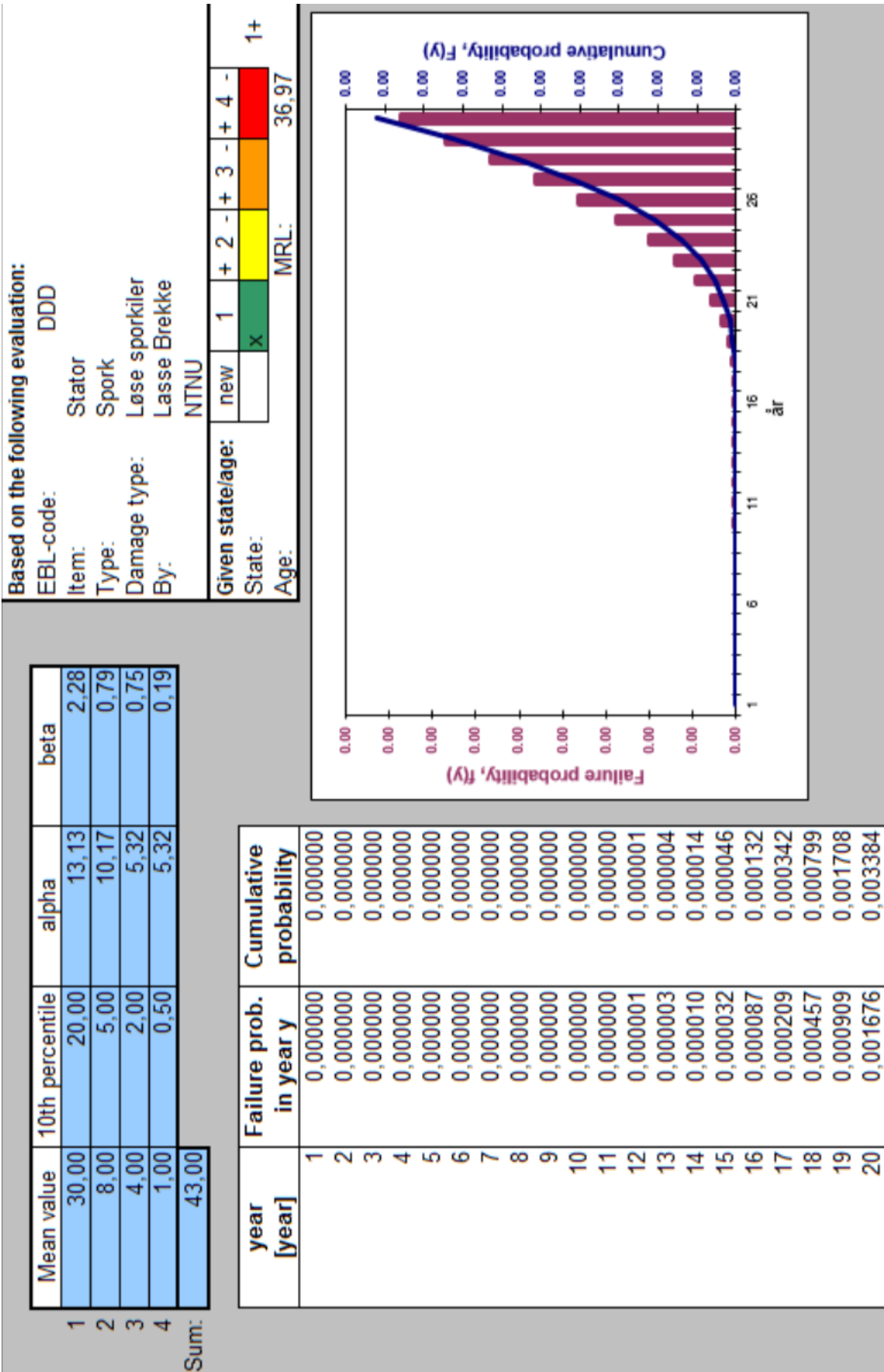
Vedlegg 5.12: Sviktmodell for skadetype *nedbrytning av vindingsisolasjon* etter rehabilitering.



Vedlegg 5.13: Sviktmodell for skadetype løse sporkiler før rehabilitering.



Vedlegg 5.14: Sviktmodell for skadetype løse sporkiler etter rehabilitering.



Vedlegg 6: Utførelse av lønnsomhetsberegningene

En gjennomgang av fremgangsmåten for lønnsomhetsberegningene blir forklart i dette vedlegget. For gjennomgangen er tiltaket *reinvestering turbin år 5* brukt som eksempel. Alle verdier i lønnsomhetsberegningene er oppgitt i kkr (tusen kroner). Fargekodene i Excelverktøyet har følgende betydning:

- Hvite felter er inputfelter.
- Rosa felter er beregnede felter.
- Blå felter viser overførte verdier fra andre felter.
- Grå benyttes som bakgrunnsfarge.

Kostnader ved svikt:

Kostnader som påløper ved svikt					
Tiltak:	<i>Reinvestering år 5, m/ nye endetninger</i>				
SVIKT 1					
Sviktkostnader (1000 kr)	Hendelse 11	Hendelse 12	Hendelse 13	Hendelse 14	Hendelse 15
Nytt løpehjul	7000	7000	0	0	0
Demontering, utbedring og montering (Stans 1)	2500	2500	0	0	0
Utilgjengelighetskostnader 1	6800	6800	0	0	0
Demontering og montering (Stans 2)	1000	1000	0	0	0
Utilgjengelighetskostnader 2	0	0	0	0	0
Utbedring sekundære skader	0	1000	0	0	0
	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0
Sum	17300	18300	0	0	0
Sannsynlighet for alternativ (%)	80	20	0	0	0

Figur 70: Sviktkostnader som påløper ved svikt.

Kostnadene knyttet til konsekvensene fra en svikthendelse oppgis i Excelarket *Kostnader ved evt. svikt*. Sviktmodellen for *reinvestering turbin* (Figur 42) har to konsekvenser, *Havari løpehjul* og *Sekundære skader* vektet henholdsvis 80% og 20 %. Kostnadene for hver enkelt konsekvens tastes inn under hendelse 11-15 og vektet med riktig sannsynlighet i cellen under kostnadene. I dette tiltaket er det kun to konsekvenser. Konsekvensen med *sekundære skader* har en ekstra kostnad på 1000 kkr i forhold til *Havari løpehjul*. Oppe i venstre hjørne er *Svikt 1* innskrevet. Excelverktøyet multipliserer sviktkostnadene med sviktsannsynlighetene for å beregne risikoen for svikt. Det betyr at kostnadene er linket opp mot sviktsannsynlighetene. Svikt 1 referer til hver enkelt skadetype og i dette tilfellet skadetypen *Hamring*. Dette blir nærmere forklart under Excelarket *Grunnlagsdata*. Det er mulig å legge inn sviktkostnader for 5 skadetyper med 5 konsekvenser per skadetype.

Grunnlagsdata:

I Excelarket *Grunnlagsdata* blir grunnlagsdata for lønnsomhetsberegningene oppgitt. Parametere som kraftpris, sertifikatpris, kalkulasjonsrente, analyseperiode, forventet produksjon, driftstid og ekstra produksjon kvalifisert for elsertifikater oppgis i arket og danner grunnlaget for beregningene. Dataene benyttet i lønnsomhetsberegningene i denne rapporten er fremvist i Figur 71.

Økonomiske grunnlagsdata			
	Startverdi (kr/MWh)	Årlig endring (%)	
Kraftpris 1	264	1	
Kraftpris 2			
Sertifikatpris	194		
	Startverdi (GWh)	Årlig endring (%)	
Kvalifisert produsert elektrisk kraft for elsertifikater	2,015		
Kalkulasjonsrente	6,3 %		
Start analyseperiode	2016		
Slutt analyseperiode	2046		
Forventet energitilgang	155		GWh/år
Driftstid	2443		timer/år
Vinterkraftsesong			timer
Tiltakets økonomiske levetid			år

Figur 71: Økonomiske grunnlagsdata.

2018	2019	2020	2021	→	2033	2034	2035	2036
269	272	274	277		312	315	318	322
0	0	0	0		0	0	0	0
194	194	194	194		194	194	194	194,3
0,0	0,0	2,0	2,0		2,0	2,0	0,0	0,0

Figur 72: Viser årlig kraft- og elsertifikatpris og kvalifisert produsert effekt for elsertifikater (GWh).

Figur 72 viser årlige inntekter fra kraftpris og elsertifikatpris. Kraftprisen øker hvert år med 1 % slik TrønderEnergi benytter i sine beregninger. Elsertifikatprisen er antatt å ha samme salgsverdi per sertifikat igjennom 15 år etter oppgradering. Den nederste raden i Figur 72 viser kvalifisert produsert effekt for elsertifikater. Det er viktig å merke seg at denne ekstra produserte energien ikke begynner før 2020, altså i det året tiltaket blir gjennomført. Elsertifikatordningen gir kun støtte i 15 år etter gjennomført tiltak. Det betyr at man må ta hensyn til dette ved å manuelt gå inn i cellene og justere verdien til null etter 15 år. Dette er vist i Figur 72.

Tekniske grunnlagsdata				2016	2017	2018	2019	2020	2021
Nye ledeskovler m/endetetninger		Startverdi (%)	Årlig reduksjon (%)						
Referansetiltak		0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak		0,5		0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5
Virkningsgradsøkning løpehjul		Startverdi (%)	Årlig reduksjon (%)						
Referansetiltak		0		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak		0,8		0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8

Figur 73: Tekniske grunnlagsdata - virkningsgradsøkning.

Virkningsgradsøkningen av løpehjul (+0,8 %) og nye ledeskovler med endetetninger (+0,5 %) er inntastet under tekniske grunnlagsdata som vist i Figur 73. Virkningsgradsøkningen er inntastet fra det året tiltaket gjennomføres, som i dette tilfellet er i 2020. Det betyr at ekstraintektene ved virkningsgradsøkning blir medberegnet fra og med tiltaksåret. Virkningsgradsøkningen varer analyseperioden ut og det er ikke medregnet noen årlig reduksjon av virkningsgraden.

Hamring-Før/Etter (5- og 25 år)									
Referansetiltak	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nytt tiltak	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	0,000000	0,000000	0,000000	0,000002	0,000000	0,000000
Kavitasjon-Før/Etter (5- og 25 år)									
Referansetiltak	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nytt tiltak	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	0,000000	0,000000	0,000015	0,000374	0,000000	0,000000
Korrosjon-Før/Etter (5- og 25 år)									
Referansetiltak	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nytt tiltak	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	0,000000	0,000000	0,000003	0,000053	0,000000	0,000000
Sanderosjon-Før/Etter (5- og 25 år)									
Referansetiltak	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nytt tiltak	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Utmatting/sprekker-Før/Etter (5- og 25 år)									
Referansetiltak	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nytt tiltak	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	<input type="radio"/>	0,000000	0,000000	0,000012	0,000169	0,000000	0,000000

Figur 74: Årlig sannsynlighet for svikt for hver skadetype gjennom hele analyseperioden.

Årlig sviktsannsynlighet beregnet i Excelverktøyet *Estimering sviktsannsynlighet* hentes ut og benyttes i lønnsomhetsberegningene som vist i Figur 74. Sviktsannsynlighetene for skadetyperne før reinvesteringstiltaket er vist i de fire cellene til venstre for de grønne cellene. Grønn celle betyr at tiltak er gjennomført og nye sviktsannsynligheter benyttes (etter tiltak). I dette tilfellet er det sviktsannsynligheter for et helt nytt løpehjul som gir veldig lave sviktsannsynligheter. I følge løsningsalternativene benyttet i denne rapporten, skal nytt tiltak (Vedlikehold) iverksettes etter 20 år. Dette er merket med nye grønne ruter (ikke vist her) og nye sviktsannsynligheter beregnet fra Excelverktøyet *Estimering sviktsannsynlighet* er benyttet. Disse sviktsannsynlighetene på skadetyperne er linket opp mot sviktkostnadene i Excelarket *Kostnader ved evt. svikt*. Hamring er linket opp mot Svikt 1, Kavitasjon er linket opp mot svikt 2, også videre. Sannsynlighet og konsekvens danner risikoen ved svikt og kostnadene knyttet til denne risikoen blir summert opp som en negativ inntekt under Excelarket *Inntekter*.

Kostnader:

Reinvestering løpehjul	Nåverdi	2016	2017	2018	2019	2020
Reinvestering av løpehjul	5482	0	0	0	0	7000
Demontering, montasje og rehabilitering øvrige turbinkomponenter	2741	0	0	0	0	3500
Konsulentjenester	940	0	0	0	0	1200
Egen arbeidskraft	783	0	0	0	0	1000
	0	0	0	0	0	0
Vedlikeholdskostnader	808	0	0	0	0	0
	0	0	0	0	0	0
Sum	10754	0	0	0	0	12700

Figur 75: Kostnader knyttet til tiltaket.

I Excelarket *Kostnader* blir alle relevante kostnader knyttet til tiltaket oppgitt. For reinvestering turbin innebærer dette kostnadene vist i Figur 75. Verdiene diskonteres tilbake til nåverdi. Vedlikeholdskostnadene er inntastet i år 2040, 20 år etter første tiltak.

Utilgj.het under tiltaket						
Produksjonstap (Ingen tap - 12 uker stopp)	0	0	0	0	0	0
Annet	0	0	0	0	0	0
Annet	0	0	0	0	0	0
Sum	0	0	0	0	0	0

Figur 76: Utilgjengelighetskostnader under tiltak.

Det foreligger ingen utilgjengelighetskostnader for tiltakene i Litjfossen kraftverk da alle tiltakene forventes å gjennomføres innen 12 uker uten flomtap.

Nåverdien av kostnadene summeres opp og bringes videre til Excelarket *Resultat*.

Inntekter:

Økt virkningsgrad	Nåverdi	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Nye ledeskovler m/endetetninger	2310	0	0	0	0	213	215	217
Virkningsgradsøkning løpehjul	3696	0	0	0	0	340	343	347
Virkningsgrad 3	0	0	0	0	0	0	0	0
Virkningsgrad 4	0	0	0	0	0	0	0	0
Virkningsgrad 5	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	6006	0	0	0	0	553	558	564

Figur 77: Inntekter fra virkningsgradsøkning.

Excelarket *Inntekter* viser inntektene knyttet til tiltaket. Figur 77 viser inntektene knyttet til økt produksjon som følge av virkningsgradsøkning på løpehjulet og ledeapparatet. Inntektene over hele analyseperioden er diskontert tilbake til nåverdier.

Økt tilgjengelighet/reduisert sviktsanssynlighet						
Unngåtte kostnader pga svikt 1	0	0	0	0	0	0
Unngåtte kostnader pga svikt 2	-5	0	0	0	-7	0
Unngåtte kostnader pga svikt 3	-1	0	0	0	-1	0
Unngåtte kostnader pga svikt 4	0	0	0	0	0	0
Unngåtte kostnader pga svikt 5	-3	0	0	0	-3	0
Sum	-9	0	0	-1	-10	0

Figur 78: Negativ inntekt knyttet til risiko for svikt.

Sviktkostnadene, multiplisert med sviktsanssynlighetene, danner kostnaden knyttet til risiko for svikt. Dette blir bokført som en negativ inntekt som vist i Figur 78. Kostnadene knyttet til risiko for svikt har ingen nevneverdig påvirkning på tiltaket reinvestering turbin år 5.

Elsertifikater							
Økt inntekt fra salg av grønn kraft	2921	0	0	0	0	392	392
Redusert forsikringspremie	0	0	0	0	0	0	0
Økt vedlikeholdsevne etter tiltak	0	0	0	0	0	0	0
Annet	0	0	0	0	0	0	0
Sum	2921	0	0	0	0	392	392

Figur 79: Inntekter knyttet til salg av elsertifikater.

Inntektene knyttet til salg av elsertifikater er vist i Figur 79. Inntektene begynner fra tiltaksåret og avsluttes 15 år senere. Verdiene blir diskontert tilbake til nåverdi.

Alle inntektene (i nåverdi) summeres opp og bringes videre til Excelarket *Resultat*.

Resultat:

Inntekter	Nåverdi	2016	2017	2018	2019	2020
Økt virkningsgrad	6006	0	0	0	0	553
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet	-9	0	0	-1	-10	0
Unngår/utsetter fremtidige kostnader	0	0	0	0	0	0
Elsertifikater	2921	0	0	0	0	392
Sum	8918	0	0	-1	-10	944
Kostnader						
Reinvestering løpehjul	-10754	0	0	0	0	-12700
Utilgj. het under tiltaket	0	0	0	0	0	0
Vedlikeholdsintroduserte feil	0	0	0	0	0	0
Andre kostnader	0	0	0	0	0	0
Sum	-10754	0	0	0	0	-12700
Resultat	-1836	0	0	-1	-10	-11756
Akkumulert nåverdi		0	0	0	-9	-9260
Kalkulasjonsrente	6,3 %					
Netto nåverdi pr budsjettkrone	-17,1 %					

Figur 80: Inneholder en sammenstilling av resultatet i analysen.

Excelarket *Resultat* viser en sammenstilling av alle inntektene og kostnadene knyttet til lønnsomhetsberegningene. Alle verdier blir diskontert tilbake til nåverdi og resultatet kan beregnes. Resultatarket er en fin måte å kontrollere at inntekter og kostnader er korrekt oppgitt i beregningene. For dette tiltaket ble resultatet beregnet til -1836 kkr.

Vedlegg 7: Følsomhetsanalyse reinvestering -, rehabilitering turbin og generatorrevisjon

Følsomhetsanalyse Reinvestering år 5												
Endring fra ref. alternativ	-20 %	-15 %	-10 %	-5 %	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %			
Virkningsgrad/kraftpris	Inntekter	7717	8017	8317	8618	8918	9218	9519	9819	10119		
	kostnader	-10754	-10754	-10754	-10754	-10754	-10754	-10754	-10754	-10754		
	Resultat	-3037	-2737	-2437	-2136	-1836	-1536	-1235	-935	-635		
Kraftpris	Inntekter	7717	8017	8317	8618	8918	9218	9519	9819	10119		
	kostnader	-10754	-10754	-10754	-10754	-10754	-10754	-10754	-10754	-10754		
	Resultat	-3037	-2737	-2437	-2136	-1836	-1536	-1235	-935	-635		
Investeringskostnader	Inntekter	8918	8918	8918	8918	8918	8918	8918	8918	8918		
	kostnader	-8603	-9141	-9679	-10216	-10754	-11292	-11830	-12367	-12905		
	Resultat	315	-223	-761	-1298	-1836	-2374	-2912	-3449	-3987		
Elsertifikater	Inntekter	8334	8480	8626	8772	8918	9064	9210	9356	9502		
	kostnader	-10754	-10754	-10754	-10754	-10754	-10754	-10754	-10754	-10754		
	Resultat	-2420	-2274	-2128	-1982	-1836	-1690	-1544	-1398	-1252		
Følsomhetsanalyse Rehabilitering år 5												
Endring fra ref. alternativ	-20 %	-15 %	-10 %	-5 %	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %			
Virkningsgrad/kraftpris	Inntekter	-2792	-2907	-3023	-3138	-3254	-3369	-3485	-3600	-3716		
	kostnader	-6055	-6055	-6055	-6055	-6055	-6055	-6055	-6055	-6055		
	Resultat	-3263	-3148	-3032	-2917	-2801	-2686	-2570	-2455	-2339		
Kraftpris	Inntekter	-2792	-2907	-3023	-3138	-3254	-3369	-3485	-3600	-3716		
	kostnader	-6055	-6055	-6055	-6055	-6055	-6055	-6055	-6055	-6055		
	Resultat	-3263	-3148	-3032	-2917	-2801	-2686	-2570	-2455	-2339		
Investeringskostnader	Inntekter	3254	3254	3254	3254	3254	3254	3254	3254	3254		
	kostnader	-4844	-5147	-5450	-5753	-6055	-6358	-6661	-6963	-7266		
	Resultat	-1590	-1893	-2196	-2499	-2801	-3104	-3407	-3710	-4012		
Elsertifikater	Inntekter	3025	3082	3139	3196	3254	3311	3368	3425	3482		
	kostnader	-6055	-6055	-6055	-6055	-6055	-6055	-6055	-6055	-6055		
	Resultat	-3030	-2973	-2916	-2859	-2801	-2744	-2687	-2630	-2573		
Følsomhetsanalyse Generator år 6												
Endring fra ref. alternativ	-20 %	-15 %	-10 %	-5 %	0 %	5 %	10 %	15 %	20 %			
Investeringskostnader	Inntekter	-175	-175	-175	-175	-175	-175	-175	-175	-175		
	kostnader	-2518	-2676	-2833	-2990	-3148	-3305	-3463	-3620	-3777		
	Resultat	-2693	-2850	-3008	-3165	-3323	-3480	-3637	-3795	-3952		

Vedlegg 8: Vedlikeholdskalkyler

Vedlegg 7.1: Reinvestering år 2 m/nye endetetninger – Grunndata.

		Reinvestering år 2, m/ nye endetetninger																
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Grunnlagsdata knyttet til kalkylen	Tiltak:																	
	Økonomiske grunnlagsdata																	
	Kraftpris 1	264	266	269	272	274	277	280	283	285	288	291	294	297	300	303	306	309
	Kraftpris 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sertifkatpris	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	
Kvalifisert produsert elektrisk kraft for eiesertifikk	1,995	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	
Kalkulasjonsrente	6,3 %																	
Start analyseperiode	2016																	
Slutt analyseperiode	2046																	
Fonement energitilgang	155																	
Driftstid	2443																	
Vinterkrafteesong																		
Tillakets økonomiske levetid																		
Tekniske grunnlagsdata		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Nye ledeskovler m/endetetninger																		
Referansetiltak		0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nyft tiltak		0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Virkningsgradsøkning løpehjul																		
Referansetiltak		0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nyft tiltak		0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Virkningsgrad 3																		
Referansetiltak		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nyft tiltak		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgrad 4																		
Referansetiltak		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nyft tiltak		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgrad 5																		
Referansetiltak		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nyft tiltak		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hamring-FørEtter (2- og 22 år)																		
Referansetiltak	Ref	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nyft tiltak	Nyft	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Kavitasjon-FørEtter (2- og 22 år)																		
Referansetiltak	Ref	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nyft tiltak	Nyft	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Korrosjon-FørEtter (2- og 22 år)																		
Referansetiltak	Ref	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nyft tiltak	Nyft	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Sanderosjon-FørEtter (2- og 22 år)																		
Referansetiltak	Ref	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nyft tiltak	Nyft	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Utmattings/sprekker-FørEtter (2- og 22 år)																		
Referansetiltak	Ref	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nyft tiltak	Nyft	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

Vedlegg 7.2: Reinvestering år 2 m/nye endetetninger – Resultat.

Vedlikeholdskalkyle (alle tall i 1000 kr)		Reinvestering år 2, m/nye endetetninger																
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Tiltak:																		
Inntekter	Nåverdi	7361																
Økt virkningsgrad		0	536	542	547	553	558	564	569	575	581	587	593	598	604	610	617	623
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unngår/utsetter fremtidige kostnader		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eiserfikkater		3473	388	388	388	388	388	388	388	388	388	388	388	388	388	388	388	388
Sum		10834	924	929	935	940	946	951	957	963	968	974	980	986	992	998	1004	623
Kostnader																		
Reinvestering løpehjul		-12918	-12700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilgjengelighet under tiltaket		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vedlikeholdsintroduserte feil		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre kostnader		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum		-12918	-12700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultat		-2084	-11776	929	935	940	946	951	957	963	968	974	980	986	992	998	1004	623
Akkumulert nåverdi			0	-11130	-10356	-9624	-8931	-8275	-7655	-7068	-6512	-5987	-5489	-5018	-4573	-4151	-3752	-3154
Kalkulasjonsrente		6,3 %																
Netto nåverdi pr budsjettkrone		-16,1 %																

Vedlegg 7.3: Reinvestering år 3 m/ nye endetetninger – Grunndata.

Grunnlagsdata knyttet til kalkylen		Reinvestering år 3, m/ nye endetetninger																
Tiltak:		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Økonomiske grunnlagsdata																		
Kraftpris 1	Startverdi (kr/MWh)	264	266	269	272	274	277	280	283	285	288	291	294	297	300	303	306	309
Kraftpris 2	Årlig endring (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sertifikaipris	1	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194
Kvalifisert produsert elektrisk kraft for eiesertifikk	Startverdi (GWh)	0,0	0,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	Årlig endring (%)																	
Kalkulasjonsrente	6,3%																	
Start analyseperiode	2016																	
Slutt analyseperiode	2046																	
Forventet energitilgang	155																	
Driftstid	2443																	
Vinterkraftsesong																		
Tiltakets økonomiske levetid																		
Tekniske grunnlagsdata																		
Nye ledeskovler mlendetninger																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Virkningsgradsøkning løpehjul	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referansellitak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Nytt tiltak	0,8																	
Virkningsgrad 3	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referansellitak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak																		
Virkningsgrad 4	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referansellitak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak																		
Virkningsgrad 5	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referansellitak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak																		
Hamring-Før Etter (3- og 23 år)																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Kavitasjon-Før Etter (3- og 23 år)																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Korrosjon-Før Etter (3- og 23 år)																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Sanderosjon-Før Etter (3- og 23 år)																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Utmattingsprekker-Før Etter (3- og 23 år)																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

Vedlegg 7.4: Reinvestering år 3 m/ nye endetetninger – Resultat.

Vedlikeholdskalkyle (alle tall i 1000 kr)		Reinvestering år 3, m/ nye endetetninger																	
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
Tiltak:		Rutine er lagt inn for å eksportere økonomiske nøkkeldata til FMBA Kontroll-																	
		Eksporter resultat...																	
Inntekter		Nåverdi	0	0	542	547	553	558	564	569	575	581	587	593	598	604	610	617	623
	Økt virkningsgrad	6886	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Ungår/utsetter fremtidige kostnader	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Eisertifkat	3300	0	0	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392
	Sum	10186	0	0	933	939	944	950	955	961	967	972	978	984	990	996	1002	1008	1014
Kostnader			0	0	-12700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Reinvestering løpehjul	-12152	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Utilgjengelighet under tiltaket	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Vedlikeholdsintroduserte feil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Andre kostnader	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sum	-12152	0	0	-12700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Resultat	-1966	0	0	-11767	939	944	950	955	961	967	972	978	984	990	996	1002	1008	1014
	Akkumulert nåverdi		0	0	-10462	-9727	-9031	-8373	-7750	-7161	-6603	-6075	-5576	-5103	-4656	-4232	-3832	-3452	-3093
	Kalkulasjonsrente	6,3 %																	
	Netto nåverdi pr budsjettkrone	-16,2 %																	

Vedlegg 7.5: Reinvestering år 4 m/ nye endetetninger - Grunndata.

Grunnleggsdata knyttet til kalkylen		Reinvestering år 4, m/ nye endetetninger																
Tiltak:		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Økonomiske grunnleggsdata																		
Kraftpris 1	Startverdi (kr/MWh)	264	266	269	272	274	277	280	283	285	288	291	294	297	300	303	306	309
Kraftpris 2	Årlig endring (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sertifkatpris	1	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194
Kvalifisert produsert elektrisk kraft for eiesertifikat	Startverdi (GWh)	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
	Årlig endring (%)																	
Kalkulasjonsrente	6,3 %																	
Start analyseperiode	2016																	
Slutt analyseperiode	2046																	
Forventet energitilgang	155																	
Driftstid	2443																	
Vinterkrafisesong																		
Tiltakets økonomiske levetid																		
Tekniske grunnleggsdata																		
Nye ledeskovler m/endetetninger																		
Referansetiltak	Startverdi (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Virkningsgradsøkning løpehjul	Startverdi (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)																	
Virkningsgrad 3	Startverdi (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)																	
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)																	
Virkningsgrad 4	Startverdi (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)																	
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)																	
Virkningsgrad 5	Startverdi (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)																	
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)																	
Hamning-FørEtter (4- og 24 år)																		
Referansetiltak	Ref	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nytt tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Kavitasjon-FørEtter (4- og 24 år)																		
Referansetiltak	Ref	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nytt tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Korrosjon-FørEtter (4- og 24 år)																		
Referansetiltak	Ref	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nytt tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Sanderosjon-FørEtter (4- og 24 år)																		
Referansetiltak	Ref	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nytt tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Utmattingsprekker-FørEtter (4- og 24 år)																		
Referansetiltak	Ref	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nytt tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

Vedlegg 7.7: Reinvestering år 5 m/ nye endetetninger – Grunndata.

Grunnlagsdata knyttet til kalkylen		Reinvestering år 5, m/ nye endetetninger																
Tiltak:		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Økonomiske grunnlagsdata	Kraftpris 1	264	266	269	272	274	277	280	283	285	288	291	294	297	300	303	306	309
	Kraftpris 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Sertifika pris	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194
Kvalifisert produsert elektrisk kraft for eiesettifikk		0,0	0,0	0,0	0,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0	2,0
Kalkulasjonsrente		6,3 %																
Start analyseperiode		2016																
Slutt analyseperiode		2046																
Forventet energitilgang		155																
Driftstid		2443																
Vintertrafiksang																		
Tiltakets økonomiske levetid																		
Tekniske grunnlagsdata																		
Nye ledeskovler/mendetetninger																		
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Virkningsgradsøkning løpehjul	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Virkningsgrad 3	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgrad 4	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgrad 5	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hamring-Før/Etter (5- og 25 år)	Referanse tiltak	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000002	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Kavitasjon-Før/Etter (5- og 25 år)	Referanse tiltak	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0,000000	0,000000	0,000015	0,000374	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Korrosjon-Før/Etter (5- og 25 år)	Referanse tiltak	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0,000000	0,000000	0,000003	0,000053	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Sanderosjon-Før/Etter (5- og 25 år)	Referanse tiltak	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Utmattingsprekker-Før/Etter (5- og 25 år)	Referanse tiltak	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0,000000	0,000000	0,000012	0,000169	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

Vedlegg 7.8: Reinvestering år 5 m/ nye endetetninger - Resultat.

		Reinvestering år 5, m/ nye endetetninger																			
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032			
Vedlikeholdskalkyle (alle tall i 1000 kr)		Rutine er lagt inn for å eksportere økonomiske nøkkeldata til FMBA Kontroll-H																			
Tiltak:		Eksporter resultat...																			
Inntekter		Nåverdi	0	0	0	0	0	553	558	564	569	575	581	587	593	598	604	610	617	623	
Økt virkningsgrad			0	0	0	-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unngår/utsetter fremtidige kostnader			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eiserfikkater			2921	0	0	0	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392	392
Sum			8918	0	0	-1	-10	944	950	955	961	967	972	978	984	990	996	1002	1008	1014	
Kostnader																					
Reinvestering løpehjul			-10754	0	0	0	0	-12700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilgjengelig, het under tiltaket			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vedlikeholdsintroduserte feil			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre kostnader			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum			-10754	0	0	0	0	-12700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultat			-1836	0	0	-1	-10	-11756	950	955	961	967	972	978	984	990	996	1002	1008	1014	
Akkumulert nåverdi			0	0	0	0	-9	-9260	-8601	-7978	-7389	-6831	-6303	-5804	-5331	-4884	-4460	-4060	-3680	-3321	
Kalkulasjonsrente			6,3 %																		
Netto nåverdi pr budsjettkrone			-17,1 %																		

Vedlegg 7.9: Reinvestering år 6 m/ nye endetetninger - Grunndata.

Grunnlagsdata knyttet til kalkylen		Reinvestering år 6, m/ nye endetetninger																	
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
Tiltak:																			
Økonomiske grunnlagsdata																			
Kraftpris 1	Startverdi (kr/MWh)	264	266	269	272	274	277	280	283	285	288	291	294	297	300	303	306	309	
Kraftpris 2	Årlig endring (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sertifkatpris	1	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	
Kvalifisert produsert elektrisk kraft for eiesertifikk	Årlig endring (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Kalkulasjonsrente	Startverdi (GWh)	2,015																	
Start analyseperiode	6,3 %																		
Slutt analyseperiode	2016																		
Forventet energitilgang	2046																		
Driftstid	155																		
Vinterkrafisesong	2443																		
Tiltakets økonomiske levetid	GWh/år timer/år																		
	år																		
Tekniske grunnlagsdata																			
Nye ledeskover/mendetetninger																			
Referansetiltak	Startverdi (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0.5	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
Virkningsgradsøkning løpehjul	Startverdi (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
Virkningsgrad 3	Årlig reduksjon (%)	0.8	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	
Referansetiltak	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Virkningsgrad 4	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Virkningsgrad 5	Årlig reduksjon (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Referansetiltak	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Hamring-FørEtter (6- og 26 år)	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Kavitasjon-FørEtter (6- og 26 år)	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Korrosjon-FørEtter (6- og 26 år)	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Sanderosjon-FørEtter (6- og 26 år)	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Utmattingsprekker-FørEtter (6- og 26 år)	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	

Vedlegg 7.10: Reinvestering år 6 m/ nye endetetninger - Resultat.

Vedlikeholdskalkyle (alle tall i 1000 kr)		Reinvestering år 6, m/ nye endetetninger																				
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032				
Tiltak:		Rutine er lagt inn for å eksportere økonomiske nøkkeldata til FMBA Kontroll- Eksporter resultat...																				
Inntekter		Nåverdi	0	0	0	0	0	0	0	0	558	564	569	575	581	587	593	598	604	610	617	623
Økt virkningsgrad		5599	0	0	0	0	0	0	0	0	0	564	569	575	581	587	593	598	604	610	617	623
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet		-69	0	0	-1	-10	-82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unngå/utsetter fremtidige kostnader		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eisertifikater		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum		5530	0	0	-1	-10	-82	558	564	569	575	581	587	593	598	604	610	617	623			
Kostnader			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Reinvestering løpehjul		-10117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilgjengelighet under tiltaket		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vedlikeholdsintroduserte feil		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre kostnader		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum		-10117	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultat		-4587	0	0	-1	-10	-82	-12142	564	569	575	581	587	593	598	604	610	617	623			
Akkumulert nåverdi			0	0	0	-9	-69	-9039	-8671	-8322	-7990	-7675	-7375	-7091	-6820	-6563	-6319	-6087	-5867			
Kalkulasjonsrente		6,3 %																				
Netto nåverdi pr budsjettkrone		-45,3 %																				

Vedlegg 7.11: Reinvestering år 7 m/ nye endetetninger - Grunndata.

Økonomiske grunnlagsdata		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
Kraftpris 1	Startverdi (kr/MWh)	264	266	269	272	274	277	280	283	285	288	291	294	297	300	303	306	309	
Kraftpris 2	Årlig endring (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sertifkatpris	1	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	
Kvalifisert produsert elektrisk kraft for eiesertifikate	Startverdi (GWh)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Kalkulasjonsrente	Årlig endring (%)	6.3 %																	
Start analyseperiode		2016																	
Slutt analyseperiode		2046																	
Forventet energitilgang	GWh/år	155																	
Driftstid	timer/år	2443																	
Vinterkraftsesong	timer/år																		
Tiltakets økonomiske levetid	år																		
Tekniske grunnlagsdata																			
Nye ledeskovler m/endetetninger		Startverdi (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	
Nytt tiltak	0.5																		
Virkningsgradsøkning løpehjul		Startverdi (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Nytt tiltak	0.8																		
Virkningsgrad 3		Startverdi (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Nytt tiltak	0.8																		
Virkningsgrad 4		Startverdi (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Nytt tiltak	0.8																		
Virkningsgrad 5		Startverdi (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	
Nytt tiltak	0.8																		
Hamring-Før/Etter (7- og 27 år)		Ref	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
Referansetiltak	Nytt	0																	
Nytt tiltak	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
Kavitasjon-Før/Etter (7- og 27 år)		Ref	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
Referansetiltak	Nytt	0																	
Nytt tiltak	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
Korrosjon-Før/Etter (7- og 27 år)		Ref	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
Referansetiltak	Nytt	0																	
Nytt tiltak	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
Sanderosjon-Før/Etter (7- og 27 år)		Ref	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
Referansetiltak	Nytt	0																	
Nytt tiltak	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
Utmattingsprekker-Før/Etter (7- og 27 år)		Ref	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	
Referansetiltak	Nytt	0																	
Nytt tiltak	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	

Vedlegg 7.12: Reinvestering år 7 m/ nye endetetninger - Resultat.

Vedlikeholdskalkyle (alle tall i 1000 kr)		Reinvestering år 7, m/ nye endetetninger																
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Tiltak:		Rutine er lagt inn for å eksportere økonomiske nøkkeldata til FMBA Kontroll-																
		Eksporter resultat...																
Inntekter	Nåverdi	0	0	0	0	0	0	564	569	575	581	587	593	598	604	610	617	623
Økt virkningsgrad	5212																	
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet	-308	0	0	-1	-10	-82	-345	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ungår/utsetter fremtidige kostnader	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eisertifkat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	4904	0	0	-1	-10	-82	-345	564	569	575	581	587	593	598	604	610	617	623
Kostnader																		
Reinvestering løpehjul	-9517	0	0	0	0	0	0	-12700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utligj. het under tiltaket	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vedlikeholdsintroduserte feil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre kostnader	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	-9517	0	0	0	0	0	0	-12700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultat	-4613	0	0	-1	-10	-82	-345	-12136	569	575	581	587	593	598	604	610	617	623
Akkumulert nåverdi		0	0	0	-9	-69	-308	-8743	-8394	-8062	-7747	-7447	-7162	-6892	-6635	-6391	-6159	-5938
Kalkulasjonsrente	6,3 %																	
Netto nåverdi pr budsjettkrone	-48,5 %																	

Vedlegg 7.13: Reinvestering år 8 m/ nye endetetninger - Grunndata.

Grunnlagsdata knyttet til kalkylen		Reinvestering år 8, m/ nye endetetninger																
Tiltak:		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Økonomiske grunnlagsdata																		
Kraftpris 1	Startverdi (kr/MWh)	264	266	269	272	274	277	280	283	285	288	291	294	297	300	303	306	309
Kraftpris 2	Årlig endring (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sertifika pris	1	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194
Kvalifisert produsert elektrisk kraft for eiesertifikk	Startverdi (GWh)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Årlig endring (%)	2,015																
Kalkulasjonsrente	6,3 %																	
Start analyseperiode	2016																	
Slutt analyseperiode	2046																	
Forventet energitilgang	155																	
Driftstid	2443																	
Vinterkraftsesong																		
Tillets økonomiske levetid																		
	GWh/år timer/år																	
	timer/år																	
	år																	
Tekniske grunnlagsdata																		
Nye ledesklover miendetetninger																		
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,5																
Virkningsgradsøkning løpehjul	Startverdi (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0,8																
Virkningsgrad 3	Årlig reduksjon (%)																	
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgrad 4	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgrad 5	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hamring-Før/Etter (8- og 28 år)	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000002	0,000029	0,000259	0,001339	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Kavitasjon-Før/Etter (8- og 28 år)	Startverdi (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Korrosjon-Før/Etter (8- og 28 år)	Startverdi (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Sanderosjon-Før/Etter (8- og 28 år)	Startverdi (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Utmatting/Sprekker-Før/Etter (8- og 28 år)	Startverdi (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

Vedlegg 7.15: Rehabilitering år 3 m/ nye endetetninger - Grunndata.

Grunnlagsdata knyttet til kalkylen		Rehabilitering år 3, m/ nye endetetninger																
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Tiltak:																		
Økonomiske grunnlagsdata																		
Kraftpris 1	Startverdi (kr/MWh)	264	266	269	272	274	277	280	283	285	288	291	294	297	300	303	306	309
Kraftpris 2	Årlig endring (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sertifika pris	Startverdi (GWh)	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194
Mengde grønn kraft	Årlig endring (%)	0,0	0,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
Kalkulasjonsrente		6,3 %																
Start analyseperiode		2016																
Slutt analyseperiode		2046																
Forventet energitilgang		155																
Driftstid		2443																
Vintertraffsesong																		
Tiltakets økonomiske levetid																		
	GWh/år timer/år timer år																	
Tekniske grunnlagsdata																		
Nye ledeskovler m/endetetninger																		
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,5	0,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Virkningsgrad 2																		
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgrad 3																		
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgrad 4																		
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgrad 5																		
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hamring-Før/Etter (3- og 23 år)																		
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kavitasjon-Før/Etter (3- og 23 år)																		
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Korrosjon-Før/Etter (3- og 23 år)																		
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Sanderosjon-Før/Etter (3- og 23 år)																		
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Urtmatting/sprekker-Før/Etter (3- og 23 år)																		
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Vedlegg 7.16: Rehabilitering år 3 m/ nye endetetninger - Resultat.

		Rehabilitering år 3, m/ nye endetetninger																	
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
Vedlikeholdskalkyle (alle tall i 1000 kr)		Rutine er lagt inn for å eksportere økonomiske nøkkeldata til FMBA Kontroll-H																	
Tiltak:		Eksporter resultat...																	
Inntekter		Nåverdi	0	0	208	210	213	215	217	219	221	223	226	228	230	232	235	237	240
Økt virkningsgrad		2648	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet		-231	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-6	-13
Unngår/utsetter fremtidige kostnader		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eisertifkater		1310	0	0	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155	155
Sum		3728	0	0	364	366	368	370	372	374	377	379	381	383	385	388	387	387	381
Kostnader			0	0	-6700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rehabilitering eksisterende løpehjul		-6842	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilgjengelig het under tiltaket		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vedlikeholdsintroduserte feil		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre kostnader		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum		-6842	0	0	-6700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultat		-3114	0	0	-6336	366	368	370	372	374	377	379	381	383	385	388	387	387	381
Akkumulert nåverdi			0	0	-5626	-5340	-5069	-4812	-4570	-4340	-4123	-3917	-3722	-3538	-3364	-3199	-3044	-2899	-2764
Kalkulasjonsrente		6,3 %																	
Netto nåverdi pr budsjettkrone		-45,5 %																	

Vedlegg 7.17: Rehabilitering år 4 m/ nye endetetninger - Grunndata.

Grunnlagsdata knyttet til kalkylen		Rehabilitering år 4, m/ nye endetetninger																
Tiltak:		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Økonomiske grunnlagsdata																		
Kraftpris 1	Startverdi (kr/MWh)	264	266	269	272	274	277	280	283	285	288	291	294	297	300	303	306	309
Kraftpris 2	Årlig endring (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sertifika pris	1	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194
Kvalifisert produsert elektrisk kraft for eiesertifikk	Startverdi (GWh)	0.0	0.0	0.0	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8	0.8
	Årlig endring (%)																	
Kalkulasjonsrente	6.3 %																	
Start analyseperiode	2016																	
Slutt analyseperiode	2046																	
Forventet energitilgang	155																	
Driftstid	2443																	
Vinterkraftsøng																		
Tiltakets økonomiske levetid																		
Tekniske grunnlagsdata																		
Nye ledeskivler miendetetninger																		
Referansetiltak	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Virkningsgradsøkning løpehjul	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0																
Nytt tiltak	0																	
Virkningsgrad 3	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Virkningsgrad 4	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Virkningsgrad 5	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Hamring-Før/Etter (4- og 24 år)																		
Referansetiltak	Ref	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Kavitasjon-Før/Etter (4- og 24 år)																		
Referansetiltak	Ref	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000015	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000002	0,000012
Korrosjon-Før/Etter (4- og 24 år)																		
Referansetiltak	Ref	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000003	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000001	0,000003	0,000009	0,000025
Sanderosjon-Før/Etter (4- og 24 år)																		
Referansetiltak	Ref	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Utmatting/Isprekker-Før/Etter (4- og 24 år)																		
Referansetiltak	Ref	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000012	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000001	0,000003	0,000011	0,000039	0,000114	0,000290

Vedlegg 7.18: Rehabilitering år 4 m/ nye endetetninger - Resultat.

		Rehabilitering år 4, m/ nye endetetninger																		
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032		
Vedlikeholdskalkyle (alle tall i 1000 kr)		Rutine er lagt inn for å eksportere økonomiske nøkkeldata til FMBA Kontroll-																		
Tiltak:		Eksporter resultat...																		
Inntekter		Nåverdi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Økt virkingsgrad		2475																		
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet		-209																		
Ungjør/utsetter fremtidige kostnader		0																		
Elsertifikkater		1194																		
Sum		3460	0	0	-1	361	363	365	367	370	372	374	376	378	381	383	385	386	384	
Kostnader			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rehabilitering eksisterende løpehjul		-6437																		
Utilgjengelighet under tiltaket		0																		
Vedlikeholdsintroduserte feil		0																		
Andre kostnader		0																		
Sum		-6437	0	0	0	-6700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultat		-2976	0	0	-1	-6339	363	365	367	370	372	374	376	378	381	383	385	386	384	
Akkumulert nåverdi			0	0	0	-5296	-5028	-4775	-4535	-4309	-4094	-3891	-3699	-3517	-3345	-3182	-3029	-2883	-2747	
Kalkulasjonsrente		6,3 %																		
Netto nåverdi pr budsjettkrone		-46,2 %																		

Vedlegg 7.19: Rehabilitering år 5 m/ nye endetetninger - Grunndata.

Grunnlagsdata knyttet til kalkylen		Rehabilitering år 5, m/ nye endetetninger																
Tiltak:		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Økonomiske grunnlagsdata																		
Kraftpris 1	Startverdi (kr/MWh)	264	266	269	272	274	277	280	283	285	288	291	294	297	300	303	306	309
Kraftpris 2	Årlig endring (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sertifika pris	1	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194
Kvalifisert produsert elektrisk kraft for eiesertifikat	Startverdi (GWh)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8	0,8
	Årlig endring (%)	0,775																
Kalkulasjonsrente		6,3 %																
Start analyseperiode		2016																
Slutt analyseperiode		2046																
Forventet energitilgang		155																
Driftstid		2443																
Vinterkraftsesong																		
Tiltakets økonomiske levetid																		
Tekniske grunnlagsdata																		
Nye ledeskovler/mendetetninger	Startverdi (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,5																
Nytt tiltak		0																
Virkningsgradsøkning løpehjul	Startverdi (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																
Nytt tiltak		0																
Virkningsgrad 3	Startverdi (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																
Nytt tiltak		0																
Virkningsgrad 4	Startverdi (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																
Nytt tiltak		0																
Virkningsgrad 5	Startverdi (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																
Nytt tiltak		0																
Hamring-FørEtter (5- og 25 år)	Ref	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000000	0,000002	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nytt tiltak		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Kavitasjon-FørEtter (5- og 25 år)	Ref	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000015	0,000374	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000002
Nytt tiltak		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Korrosjon-FørEtter (5- og 25 år)	Ref	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000003	0,000053	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000001	0,000003	0,000009
Nytt tiltak		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Sandrosjon-FørEtter (5- og 25 år)	Ref	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nytt tiltak		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Utmatting/sprekker-FørEtter (5- og 25 år)	Ref	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000012	0,000169	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000003	0,000011	0,000039	0,000114
Nytt tiltak		0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

Vedlegg 7.20: Rehabilitering år 5 m/ nye endetetninger - Resultat.

Vedlikeholdskalkyle (alle tall i 1000 kr)		Rutine er lagt inn for å eksportere økonomiske nøkkeldata til FMBA Kontroll-																
Tiltak:		Eksporter resultat...																
Rehabilitering år 5, m/ nye endetetninger		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Inntekter	Nåverdi	0	0	0	0	213	215	217	219	221	223	226	228	230	232	235	237	240
Økt virkningsgrad	2310	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet	-200	0	0	-1	-10	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2
Umgjør/lutsetter fremtidige kostnader	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Eisertifkat	1144	0	0	0	0	151	151	151	151	151	155	155	155	155	155	155	155	155
Sum	3254	0	0	-1	-10	363	365	367	370	372	379	381	383	386	388	390	392	393
Kostnader		0	0	0	0	-6700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rehabilitering eksisterende løpehjul	-6055	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utiligj.het under tiltaket	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vedlikeholdsintroduserte feil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre kostnader	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	-6055	0	0	0	0	-6700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultat	-2801	0	0	-1	-10	-6337	365	367	370	372	379	381	383	386	388	390	392	393
Akkumulert nåverdi		0	0	0	-9	-4988	-4735	-4496	-4269	-4054	-3849	-3654	-3470	-3296	-3131	-2975	-2828	-2688
Kalkulasjonsrente	6,3 %																	
Netto nåverdi pr budsjettkrone	-46,3 %																	

Vedlegg 7.21: Rehabilitering år 6 m/ nye endeteneringer - Grunndata.

Grunnlagsdata knyttet til kalkylen		Rehabilitering år 6, m/ nye endeteneringer																
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Tiltak:																		
Økonomiske grunnlagsdata																		
Kraftpris 1	Startverdi (kr/MWh)	264	266	269	272	274	277	280	283	285	288	291	294	297	300	303	306	309
Kraftpris 2	Årlig endring (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Seurtifika pris	1	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194
Kvalifisert produsert elektrisk kraft for eiesertifikk	Startverdi (GWh)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Årlig endring (%)	0.775																
Kalkulasjonsrente		6.3 %																
Start analyseperiode		2016																
Slutt analyseperiode		2046																
Foventet energitilgang		155																
Driftstid		2443																
Vinterkrafteffekt																		
Tiltakets økonomiske levetid																		
Tekniske grunnlagsdata																		
Nye ledeskriver m/endeteneringer																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5
Virkningsgradsøkning løpehjul																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Virkningsgrad 3																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Virkningsgrad 4																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Virkningsgrad 5																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Hamring-Før/etter (6- og 26 år)																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0.000000	0.000000	0.000000	0.000002	0.000029	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Kavitasjon-Før/etter (6- og 26 år)																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0.000000	0.000000	0.000015	0.000374	0.003166	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Korrosjon-Før/etter (6- og 26 år)																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0.000000	0.000000	0.000003	0.000053	0.000409	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000001	0.000003
Saunderson-Før/etter (6- og 26 år)																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Utmattingsprekker-Før/etter (6- og 26 år)																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0.000000	0.000000	0.000012	0.000169	0.001059	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000001	0.000003

Vedlegg 7.22: Rehabilitering år 6/ nye endetetninger - Resultat.

		Rehabilitering år 6, m/ nye endetetninger																		
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032		
Vedlikeholdskalkyle (alle tall i 1000 kr)		Rutine er lagt inn for å eksportere økonomiske nøkkeldata til FMBA Kontroll-																		
Tiltak:		Eksporter resultat...																		
Inntekter		Nåverdi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Økt virkningsgrad		2154	0	0	0	0	215	217	219	221	223	226	228	230	232	235	237	240		
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet		-247	0	-1	-10	-82	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	-1		
Umgjør/utsetter fremtidige kostnader		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Eiserfikator		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Sum		1907	0	0	-1	-82	215	217	219	221	223	226	228	230	232	235	237	239		
Kostnader			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Rehabilitering eksisterende løpehjul		-5744	0	0	0	0	-6700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Utiligg. het under tiltaket		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Vedlikeholdsintroduserte feil		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Andre kostnader		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Sum		-5744	0	0	0	0	-6700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0		
Resultat		-3837	0	0	-1	-82	-6485	217	219	221	223	226	228	230	232	235	237	239		
Akkumulert nåverdi			0	0	0	-9	-69	-4856	-4715	-4581	-4453	-4332	-4216	-4107	-4003	-3904	-3810	-3637		
Kalkulasjonsrente		6,3 %																		
Netto nåverdi pr budsjettkrone		-66,8 %																		

Vedlegg 7.23: Rehabilitering år 7 m/ nye endetetninger - Grunndata.

Grunnlagsdata knyttet til kalkylen		Rehabilitering år 7, m/ nye endetetninger																
Tiltak:		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Økonomiske grunnlagsdata																		
Kraftpris 1	Startverdi (kr/MWh)	264	266	269	272	274	277	280	283	285	288	291	294	297	300	303	306	309
Kraftpris 2	Årlig endring (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sertifika pris	1	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194
Kvalifisert produsert elektrisk kraft for eiesertifikk	Startverdi (GWh)	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
	Årlig endring (%)	0.775																
Kalkulasjonsrente		6.3 %																
Start analyseperiode		2016																
Slutt analyseperiode		2046																
Forventet energitilgang		155																
Driftstid		2443																
Vinterkraftsøng																		
Tillets økonomiske levetid																		
	GWh/år timer/år timer år																	
Tekniske grunnlagsdata																		
Nye ledeskovler miendetetninger																		
Referanse tiltak	Startverdi (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0.5																0.5
Virkningsgradsøkning løpehjul	Startverdi (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																0.0
Nytt tiltak																		
Virkningsgrad 3	Startverdi (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)																	
Nytt tiltak																		
Virkningsgrad 4	Startverdi (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)																	
Nytt tiltak																		
Virkningsgrad 5	Startverdi (%)	0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)																	
Nytt tiltak																		
Hamring-Før/Etter (7- og 27 år)																		
Referanse tiltak	Ref	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Nytt	0.000000	0.000000	0.000000	0.000002	0.000029	0.000259	0.001339	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Kavitasjon-Før/Etter (7- og 27 år)																		
Referanse tiltak	Ref	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Nytt	0.000000	0.000000	0.000015	0.000374	0.003166	0.013744	0.036711	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Korrosjon-Før/Etter (7- og 27 år)																		
Referanse tiltak	Ref	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Nytt	0.000000	0.000000	0.000003	0.000053	0.000409	0.001773	0.005204	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Sanderosjon-Før/Etter (7- og 27 år)																		
Referanse tiltak	Ref	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Nytt	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000003	0.000026	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000
Utmattingsprekker-Før/Etter (7- og 27 år)																		
Referanse tiltak	Ref	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0	0.0
Nytt tiltak	Nytt	0.000000	0.000000	0.000012	0.000169	0.001059	0.003960	0.010430	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000000	0.000001	0.000003

Vedlegg 7.24: Rehabilitering år 7 m/ nye endetetninger - Resultat.

Vedlikeholdskalkyle (alle tall i 1000 kr)		Rehabilitering år 7, m/ nye endetetninger													Eksporter resultat...				
		Nåverdi	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Tiltak:																			
Inntekter																			
Økt virkningsgrad	2005	0	0	0	0	0	0	217	219	221	223	226	228	230	232	235	237	240	
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet	-1078	0	0	-1	-10	-82	-345	-940	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Unngår/utsetter fremtidige kostnader	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Eisertifkat	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sum	927	0	0	-1	-10	-82	-345	-723	219	221	223	226	228	230	232	235	237	239	
Kostnader																			
Rehabilitering eksisterende løpehjul	-5359	0	0	0	0	0	0	-6700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Utilgi: het under tiltaket	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Vedlikeholdsintroduserte feil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Andre kostnader	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sum	-5359	0	0	0	0	0	0	-6700	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Resultat																			
Akkumulert nåverdi		0	0	-1	-10	-82	-345	-7423	219	221	223	226	228	230	232	235	237	239	
Kalkulasjonsrente	6,3 %																		
Netto nåverdi pr budsjettkrone	-82,7 %	0	0	0	-9	-69	-308	-5423	-5289	-5162	-5040	-4925	-4816	-4712	-4613	-4519	-4430	-4345	

Vedlegg 7.25: Rehabilitering år 8 m/ nye endetetninger - Grunndata.

Grunnlagsdata knyttet til kalkylen		Rehabilitering år 8, m/ nye endetetninger																
Tiltak:		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Økonomiske grunnlagsdata																		
Kraftpris 1	Startverdi (kr/MWh)	264	266	269	272	274	277	280	283	285	288	291	294	297	300	303	306	309
Kraftpris 2	Årlig endring (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sertifkatpris	1	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194	194
Kvalifisert produsert elektrisk kraft for eiesertifikat	Startverdi (GWh)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
	Årlig endring (%)	0,775																
Kalkulasjonsrente	6,3 %																	
Start analyseperiode	2016																	
Slutt analyseperiode	2046																	
Foventet energitilgang	155																	
Driftstid	2443																	
Vinterkraftsesong	GWh/år																	
Tiltakets økonomiske levetid	timer/år																	
	år																	
Tekniske grunnlagsdata																		
Nye ledeskovler m/endetetninger																		
Referansetiltak	Startverdi (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5	0,5
Virkningsgradsøkning løpehjul																		
Referansetiltak	Startverdi (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgrad 3																		
Referansetiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgrad 4																		
Referansetiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgrad 5																		
Referansetiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Hamring-Før/etter (8- og 28 år)																		
Referansetiltak	Ref	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nytt tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000000	0,000002	0,000029	0,000259	0,001339	0,000009	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Kavitasjon-Før/etter (8- og 28 år)																		
Referansetiltak	Ref	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nytt tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000015	0,000374	0,003166	0,013744	0,036711	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000001	0,000009
Korrosjon-Før/etter (8- og 28 år)																		
Referansetiltak	Ref	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nytt tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000000	0,000003	0,000409	0,001773	0,005204	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000002	0,000009	0,000032
Sanderosjon-Før/etter (8- og 28 år)																		
Referansetiltak	Ref	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nytt tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000003	0,000026	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Urmattingsprekker-Før/etter (8- og 28 år)																		
Referansetiltak	Ref	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00	0,00
Nytt tiltak	Nytt	0,000000	0,000000	0,000012	0,000169	0,001039	0,003960	0,010430	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000005	0,000031	0,000129	0,000420

Vedlegg 7.26: Rehabilitering år 8 m/ nye endetetninger - Resultat.

Vedlikeholdskalkyle (alle tall i 1000 kr)																	
Rehabilitering år 8, m/ nye endetetninger																	
Rutine er lagt inn for å eksportere økonomiske nøkkeldata til FMBA Kontroll- Eksporter resultat...																	
Tiltak:	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Inntekter																	
Økt virkningsgrad	1863	0	0	0	0	0	0	219	221	223	226	228	230	232	235	237	240
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet	-2941	0	-1	-10	-82	-345	-940	0	0	0	0	0	0	0	-1	-2	-8
Unngår/utsetter fremtidige kostnader	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Elserifikater	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	-1078	0	0	-1	-82	-345	-940	219	221	223	226	228	230	232	234	235	231
Kostnader																	
Rehabilitering eksisterende løpehjul	-5041	0	0	0	0	0	0	-6700	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utiliggjehet under tiltaket	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vedlikeholdsintroduserte feil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre kostnader	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	-5041	0	0	0	0	0	0	-6700	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultat	-6119	0	0	-1	-82	-345	-940	-6481	221	223	226	228	230	232	234	235	231
Akkumulert nåverdi																	
Kalkulasjonsrente	6,3 %																
Netto nåverdi pr budsjettkrone	-121,4 %																

Vedlegg 7.27: Generatorrevisjon år 3 og år 23 - Grunndata.

Generatorrevisjon Ar 3 og Ar 23																	
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Grunnlagsdata knyttet til kalkylen																	
Tiltak:																	
Økonomiske grunnlagsdata																	
Kraftpris 1	264	266	269	272	274	277	280	283	285	288	291	294	297	300	303	306	309
Kraftpris 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sertifkatpris	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kvalifisert produsert elektrisk kraft for eiesertifikk	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kalkulasjonsrente	6,3 %																
Start analyseperiode	2016																
Slutt analyseperiode	2046																
Forventet energitilgang	155																
Driftstid	2443																
Vinterkraftsesong																	
Tiltakets økonomiske levetid																	
Tekniske grunnlagsdata																	
Nye ledeskovler m/endetetninger																	
Referanse tiltak	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgradsøkning løpehjul	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgrad 3	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgrad 4	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgrad 5	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Referanse tiltak	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
"S2" Medbrytning av vindingsisolasjon																	
Referanse tiltak	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	0,000000	0,000127	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
"S1" Løse sporkiler																	
Referanse tiltak	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

Vedlegg 7.28: Generatorrevisjon år 3 og år 23 - Resultat.

Vedlikeholdskalkyle (alle tall i 1000 kr)		Generatorrevisjon År 3 og År 23																	
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	2032
Tiltak:		Rutine er lagt inn for å eksportere økonomiske nøkkeldata til FMBA Kontroll- Eksporter resultat...																	
Inntekter		Nåverdi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Økt virkningsgrad			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet			-8	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Ungår/utsetter fremtidige kostnader			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre inntekter			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum			-8	-1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kostnader																			
Rehabilitering generatorkomponenter			-3781	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilgi.het under tiltaket			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vedlikeholdsintroduserte feil			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre kostnader			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum			-3781	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultat																			
Akkumulert nåverdi			-3789	-1	-3300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kalkulasjonsrente			6,3 %	-1	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921
Netto nåverdi pr budsjettkrone			-100,2 %	-1	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921	-2921

Vedlegg 7.29: Generatorrevisjon år 5 og år 25 - Grunndata.

Grunnlagsdata knyttet til kalkylen		Generatorrevisjon år 5 og år 25																
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Tiltak:																		
Økonomiske grunnlagsdata																		
Kraftpris 1	Startverdi (kr/MWh)	264	266	269	272	274	277	280	283	285	288	291	294	297	300	303	306	309
Kraftpris 2	Årlig endring (%)	1																
Sertifikaipris		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kvalifisert produsert elektrisk kraft for eiesertifikk	Startverdi (GWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Årlig endring (%)	0																
Kalkulasjonsrente		6.3 %																
Start analyseperiode		2016																
Slutt analyseperiode		2046																
Fornøtet energitilgang		155																
Driftstid		2443																
Vinterkraftsesong																		
Tiltakets økonomiske levetid																		
Tekniske grunnlagsdata																		
Nye ledeskivler mündetninger																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																
Virkningsgradsøkning løpehjul																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																
Virkningsgrad 3																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																
Virkningsgrad 4																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																
Virkningsgrad 5																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																
"S2" Nedbrytning av vindingsløsasjon																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																
"S1" Løse sporkiler																		
Referansellitak	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																

Vedlegg 7.30: Generatorrevisjon år 5 og år 25 - Resultat.

Vedlikeholdskalkyle (alle tall i 1000 kr)		Generatorrevisjon år 5 og år 25																	
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
Tiltak:		Rutine er lagt inn for å eksportere økonomiske nøkkeldata til FMBA Kontroll- Eksporter resultat...																	
Inntekter		Nåverdi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Økt virkningsgrad																			
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet		-60																	
Umgjør/utsetter fremtidige kostnader		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre inntekter		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum		-60	-1	-10	-55	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kostnader																			
Rehabilitering generatorkomponenter		-3346	0	0	0	-3300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilgjengelighet under tiltaket		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vedlikeholdsintroduserte feil		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre kostnader		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum		-3346	0	0	0	-3300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultat																			
Akkumulert nåverdi		-3406	-1	-10	-55	-3300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kalkulasjonsrente		6.3 %																	
Netto nåverdi pr budsjettkrone		-101.8 %	-1	-9	-53	-2637	-2637	-2637	-2637	-2637	-2637	-2637	-2637	-2637	-2637	-2637	-2637	-2637	-2637

Vedlegg 31: Generatorrevisjon år 6 og år 26 - Grunndata.

Generatorrevisjon år 6 og år 26																	
	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Grunnlagsdata knyttet til kalkylen																	
Tiltak:																	
Økonomiske grunnlagsdata																	
Kraftpris 1	277	280	283	286	288	291	294	297	300	303	306	309	312	315	319	322	325
Kraftpris 2	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sertifkatpris	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kvalifisert produsent elektrisk kraft for eiesertifika	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Kalkulasjonsrente	6,3 %																
Start analyseperiode	2016																
Slutt analyseperiode	2046																
Fornyet energitilgang	155																
Driftstid	2443																
Vinterkraftsesong																	
Tiltakets økonomiske levetid																	
Tekniske grunnlagsdata																	
Nye ledeskovler m/andretninger																	
Referansetiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgradsøkning løpehjul																	
Referansetiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgrad 3																	
Referansetiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgrad 4																	
Referansetiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Virkningsgrad 5																	
Referansetiltak	Startverdi (%)	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0
"S2" Nedbrytning av vindingsisolasjon																	
Referansetiltak	Startverdi (%)	0,000000	0,000127	0,0002131	0,0011298	0,0032031	0,0060909	0,0090000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
"S1" Løse sporkiler																	
Referansetiltak	Startverdi (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nytt tiltak	Årlig reduksjon (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000

Vedlegg 32: Generatorrevisjon år 6 og år 26 - Resultat.

Vedlikeholdskalkyle (alle tall i 1000 kr)		Generatorrevisjon år 6 og år 26																		
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032		
Tiltak:		Rutine er lagt inn for å eksportere økonomiske nøkkeldata til FMBA Kontroll-IA																		
		Eksporter resultat...																		
Inntekter		Nåverdi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Økt virkningsgrad			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsamsynlighet			-175	-10	-55	-157	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unggår/utsetter fremtidige kostnader			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre inntekter			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum			-175	-10	-55	-157	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kostnader																				
Rehabilitering generatorkomponenter			-3148	0	0	0	-3300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utlagt, het under tiltaket			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vedlikeholdsintroduserte feil			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre kostnader			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum			-3148	0	0	0	-3300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultat			-3323	-10	-55	-157	-3300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Akkumulert nåverdi			0	-1	-9	-53	-168	-2600	-2600	-2600	-2600	-2600	-2600	-2600	-2600	-2600	-2600	-2600	-2600	-2600
Kalkulasjonsrente			6,3 %																	
Netto nåverdi pr budsjettkrone			-105,6 %																	

Vedlegg 7.33: Generatorrevisjon år 7 og år 27 – Grunndata.

		Generatorrevisjon år 7 og år 27																
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Grunnlagsdata knyttet til kalkylen																		
Tiltak:																		
Økonomiske grunnlagsdata																		
Kraftpris 1	Startverdi (kr/MWh)	264	266	269	272	274	277	280	283	285	288	291	294	297	300	303	306	309
Kraftpris 2	Årlig endring (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sertifkatpris	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kvalifisert produsert elektrisk kraft for eiesertifikat	Startverdi (GWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	Årlig endring (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kalkulasjonsrente	6.3 %																	
Start analyseperiode	2016																	
Slutt analyseperiode	2046																	
Foventiet energitilgang	155																	
Driftstid	2443																	
Vinterkraftsesong																		
Tiltakets økonomiske levetid																		
Tekniske grunnlagsdata																		
Nye ledeskovler m/endetetninger	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nytt tiltak																		
Virkningsgradsøkning løpehjul	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nytt tiltak																		
Virkningsgrad 3	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nytt tiltak																		
Virkningsgrad 4	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nytt tiltak																		
Virkningsgrad 5	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Nytt tiltak																		
"S2" Nedbrytning av vindingsisolasjon	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0,000000	0,000127	0,0002131	0,011298	0,032031	0,061733	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nytt tiltak																		
"S1" Løse sporkiler	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Referansetiltak	Årlig reduksjon (%)	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000001	0,000001	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000	0,000000
Nytt tiltak																		

Vedlegg 7.34: Generatorrevisjon år 7 og år 27 - Resultat.

Vedlikeholdskalkyle (alle tall i 1000 kr)		Generatorrevisjon år 7 og år 27																	
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
Tiltak:		Rutine er lagt inn for å eksportere økonomiske nøkkeldata til FMBA Kontroll- Eksporter resultat...																	
Inntekter		Nåverdi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Økt virkningsgrad			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet		-384	-1	-10	-55	-157	-303	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Unngå/utsetter fremtidige kostnader		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Andre inntekter		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sum		-384	-1	-10	-55	-157	-303	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Kostnader			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Rehabilitering generatorkomponenter		-2961	0	0	0	0	0	-3300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Utiljhet under tiltaket		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Vedlikeholdsintroduserte feil		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Andre kostnader		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Sum		-2961	0	0	0	0	0	-3300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Resultat			0	-1	-10	-55	-157	-303	-3300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Akkumulert nåverdi		-3345	-1	-10	-55	-157	-303	-3300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
Kalkulasjonsrente		6,3 %	0	-1	-9	-53	-168	-378	-2665	-2665	-2665	-2665	-2665	-2665	-2665	-2665	-2665	-2665	
Netto nåverdi pr budsjettkrone		-113,0 %																	

Vedlegg 7.35: Generatorrevisjon år 8 og år 28 - Grunndata.

Grunnlagsdata knyttet til kalkylen		Generatorrevisjon år 8 og år 28																
Tiltak:		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Økonomiske grunnlagsdata																		
Kraftpris 1	Startverdi (kr/MWh)	264	266	269	272	274	277	280	283	285	288	291	294	297	300	303	306	309
Kraftpris 2	Årlig endring (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sertifkatpris	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kvalifisert produsert elektrisk kraft for eiesertifikate		0																
Kalkulasjonsrente		6.3 %																
Start analyseperiode		2016																
Slutt analyseperiode		2046																
Forventet energitilgang		GW/h/år																
Driftstid		timer/år																
Vinterkraftsesong		timer																
Tiltakets økonomiske levetid		år																
Tekniske grunnlagsdata																		
Nye ledeskovler m/endetninger	Startverdi (%)	0																
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																
Nytt tiltak	0	0																
Virkningsgradsøkning løpehjul	Startverdi (%)	0																
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																
Nytt tiltak	0	0																
Virkningsgrad 3	Startverdi (%)	0																
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																
Nytt tiltak	0	0																
Virkningsgrad 4	Startverdi (%)	0																
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																
Nytt tiltak	0	0																
Virkningsgrad 5	Startverdi (%)	0																
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																
Nytt tiltak	0	0																
S2 Nedbrytning av vindingsisolasjon	Startverdi (%)	0																
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																
Nytt tiltak	0	0																
S1 Løse sporkiler	Startverdi (%)	0																
Referanse tiltak	Årlig reduksjon (%)	0																
Nytt tiltak	0	0																

Vedlegg 7.36: Generatorrevisjon år 8 og år 28 - Resultat.

Vedlikeholdskalkyle (alle tall i 1000 kr)		Generatorrevisjon år 8 og år 28																	
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
Tiltak:		Rutine er lagt inn for å eksportere økonomiske nøkkeldata til FMBA Kontroll- Eksporter resultat...																	
Inntekter		Nåverdi	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Økt virkningsgrad		-678	-1	-10	-55	-157	-303	-452	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Økt tilgjengelighet/reduert sviktsannsynlighet		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Unggår/utsetter fremtidige kostnader		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre inntekter		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum		-678	-1	-10	-55	-157	-303	-452	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Kostnader			0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Rehabilitering generatorkomponenter		-2786	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Utilgj.het under tiltaket		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vedlikeholdsintroduserte feil		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre kostnader		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum		-2786	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultat		-3464	-1	-10	-55	-157	-303	-452	-3300	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Akkumulert nåverdi			0	-1	-9	-53	-168	-672	-2824	-2824	-2824	-2824	-2824	-2824	-2824	-2824	-2824	-2824	-2824
Kalkulasjonsrente		6,3 %																	
Netto nåverdi pr budsjettkrone		-124,3 %																	

Vedlegg 7.37: Generatorrevisjon år 10 og år 30 - Grunndata.

		Generatorrevisjon år 10 og år 30																	
		2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032	
Grunnlagsdata knyttet til kalkylen Tiltak:	Økonomiske grunnlagsdata	Startverdi (kr/MWh)	264	266	269	272	274	277	280	283	285	288	291	294	297	300	303	306	309
		Årlig ending (%)	1																
		Startverdi (GWh)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
		Årlig ending (%)	0																
	Kvalifisert produsert elektrisk kraft for eiesertifikater	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Kalkulasjonsrente	6.3 %																	
	Start analyseperiode	2016																	
	Slutt analyseperiode	2046																	
	Foventet energitilgang	155																	
	Driftstid	2443																	
	Vinterkraftsesong																		
	Tiltakets økonomiske levetid																		
	Tekniske grunnlagsdata	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Nye ledeskovler m/endetninger	Årlig reduksjon (%)	0																
	Nytt tiltak	0																	
	Virkningsgradsøkning løpehjul	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Referanseiltak	0																	
	Nytt tiltak	0																	
	Virkningsgrad 3	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Referanseiltak	0																	
	Nytt tiltak	0																	
	Virkningsgrad 4	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Referanseiltak	0																	
	Nytt tiltak	0																	
	Virkningsgrad 5	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Referanseiltak	0																	
	Nytt tiltak	0																	
	"S2" Nedbrytning av vindingsisolasjon	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Referanseiltak	0																	
	Nytt tiltak	0																	
	"S1" Løse sporkiler	Startverdi (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	
	Referanseiltak	0																	
	Nytt tiltak	0																	

Vedlegg 7.38: Generatorrevisjon år 10 og år 30 - Resultat.

Rutine er lagt inn for å eksportere økonomiske nøkkeldata til FMBA Kontroll-H

Eksporter resultat...

Generatorrevisjon år 10 og år 30

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023	2024	2025	2026	2027	2028	2029	2030	2031	2032
Vedlikeholdskalkyle (alle tall i 1000 kr)																	
Tiltak:																	
Inntekter																	
Økt virkningsgrad	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Økt tilgjengelighet/ redusert sviktsannsynlighet	-1387	-1	-10	-55	-157	-303	-452	-565	-630	0	0	0	0	0	0	0	0
Unngår/utsetter fremtidige kostnader	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre inntekter	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	-1387	-1	-10	-55	-157	-303	-452	-565	-630	0	0	0	0	0	0	0	0
Kostnader																	
Rehabilitering generatorkomponenter	-2465	0	0	0	0	0	0	0	0	-3300	0	0	0	0	0	0	0
Utilgjengelighet under tiltaket	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Vedlikeholdsintroduserte feil	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Andre kostnader	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Sum	-2465	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Resultat	-3853	-1	-10	-55	-157	-303	-452	-565	-630	-3300	0	0	0	0	0	0	0
Akkumulert nåverdi																	
	0	-1	-9	-53	-168	-378	-672	-1019	-1382	-3286	-3286	-3286	-3286	-3286	-3286	-3286	-3286
Kalkulasjonsrente																	
	6,3 %																
Netto nåverdi pr budsjettkrone																	
	-156,3 %																

Vedlegg 9: Økonomiske begreper

Nåverdi

Nåverdi er per definisjon dagens verdi av fremtidige beløp. Normalt sett vil et beløp være mer verdt i dag enn om ett år. Dette skyldes inflasjon, tapt rente og risiko forbundet med beholdningen. Nåverdimetoden benyttes for å kunne sammenligne ulike beløp fra forskjellige tidspunkt, slik at beløpene blir sammenlignbare. Dette gjøres ved å omregne fremtidige beløp om til nåverdier. Dette kalles å diskontere. [48]

Kalkulasjonsrente

Kalkulasjonsrente, også ofte kalt rentekrav, er en kalkulatorisk rente benyttet i investeringskalkyler for å kunne beregne nåverdien på investeringer. Denne kalkulasjonsrenten er den avkastningen som bedriften kan oppnå for at en investering skal være lønnsom. Kalkulasjonsrenten er sammensatt av en risikofri rente og et risikotillegg. Større usikkerhet i fremtidige kontantstrømmer gir høyere risikotillegg og kalkulasjonsrente. TrønderEnergi benytter seg av en kalkulasjonsrente på 6,3 %. Det velges derfor å benytte samme kalkulasjonsrente ved beregning av optimalt tidspunkt i oppgaven.

Oppsummering økonomiske nøkkeldata

Tabell 63 gir en oppsummering av de økonomiske nøkkeldata brukt i de økonomiske beregningene senere i rapporten.

Tabell 63: Oppsummering av økonomiske nøkkeldata.

Økonomiske nøkkeldata	
Kalkulasjonsrente	6,3 %
Midlere årsproduksjon	155 GWh
Midlere Kraftpris	263,57 kr/MWh +1 % hvert år.
Analyseperiode	30 år
Økonomisk levetid reinvestering	20 år
Økonomisk levetid rehabilitering	20 år
Økonomisk levetid generatorrevisjon	20 år
Økonomisk levetid vedlikehold	10 år