



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

Studieprogram/spesialisering: Industriell Økonomi/ Prosjektledelse	Vårsemesteret, 2016 Åpen
Forfatter: Ronny Steine (signatur forfatter)
Fagansvarlig: Tore Markeset Veileder: Arve Jakobsen, Lyse Produksjon AS	
Tittel på masteroppgaven: Vurdering av potensialet for tilstandsovervåking ved Jøssang Kraftverk Engelsk tittel: Assessment of the potential for condition monitoring at Jøssang Power Plant	
Studiepoeng: 30	
Emneord: Kraftverk, vannkraft, generator, transformator, francisturbin, tilstandsbasert vedlikehold, tilstandsovervåking, vedlikehold	Sidetall: 136 + vedlegg/annet: 40 Stavanger, 15. juni 2016

Masteroppgave (INDMAS)

Vurdering av potensialet for
tilstandsovervåking ved Jøssang Kraftverk



Universitetet
i Stavanger

Ronny Steine

Universitetet i Stavanger

15. juni 2016

Sammendrag

Utviklingen innen vedlikehold har vært stor de siste 100 årene, og har resultert i mange hjelpemidler for å utføre rett vedlikehold til rett tid. Slike teknologier er likevel ikke i utstrakt bruk innen kraftindustrien. Godt vedlikehold kan skille mellom positivt og negativt resultat i regnskapet. Denne oppgaven er basert på en case-studie av Jøssang Kraftverk med mål om å identifisere parametre som ved overvåking vil tilføre verdi i form av redusert risiko, redusert kostnad, økt inntjening eller utvikling for selskapet og ansatte. Oppgaven har undersøkt tekniske utfordringer, samt organisasjonens forutsetninger og holdninger for valgte tilstandsovervåking. Undersøkelsene er basert på intervjuer, spørreundersøkelse, interne data i Lyse, litteratur og håndbøker.

Analysene viser at de ansatte har mye erfaring og er positive til å lære mer om nye teknikker. De har også en sunn holdning til lønnsomhet i investeringer og bør derfor inkluderes i endringsprosessen.

Jøssang Kraftverk har liten reguleringsevne og høyt krav til minstevannføring. Dette fører til begrensede muligheter til å utnytte prissvingningene i markedet. Minstevannføring fører til at Jøssang ikke driftes de tre tørreste månedene om sommeren, og øker dermed kravet til pålitelighet de resterende månedene. Dagens vedlikeholdsstrategi baseres på forebyggende aktiviteter, inspeksjoner, og målinger. For enkelte maskiner er inspeksjoner den beste overvåkningsmetoden. Ved andre er det identifisert degraderingsmekanismer eller vanskelig tilkomst som gjør kontinuerlig måling mer hensiktsmessig. Det er også identifisert noen mangler i planlagt vedlikehold sett i forhold til anbefalinger i håndbøker og annen litteratur. På dette grunnlag er det anbefalt en liste med måleparametre som kritikalitet og nytteverdi må beregnes for.

Det tegnes et fremtidsscenario om at norske kraftverk vil få strengere krav til fleksibilitet og pålitelighet, og samtidig konkurrere med utenlandske kostnadsnivåer. Dette er en spennende utfordringer som kan løses med teknologi.

Nøkkelord: Kraftverk, vannkraft, generator, transformator, francisturbin, tilstandsbasert vedlikehold, tilstandsovervåking, vedlikehold

Antall ord: 31 065

Forord

Denne rapporten er resultatet av hovedprosjektet i Industriell Økonomi ved Universitet i Stavanger. Det teller 30 studiepoeng og er det eneste faget det siste semesteret i mastergraden. Oppgaven er utført i samarbeid med Lyse. Fra før har jeg bachelorgrad i elkraftteknikk fra Høgskolen i Bergen, samt elektrikerfagbrev fra Statoil Mongstad. Jeg regner all type skole, jobb og verv som en del av utdanningen, og vil takke alle som har hjulpet meg på veien.

Jeg vil også takke instituttleder og Professor Tore Markeset for god hjelp gjennom skriveprosessen. Du har vært tilgjengelig for spørsmål og hjulpet meg på rett kurs.

Så vil jeg takke kraftverkssjef i Lyse, Arve Jakobsen, og de andre i Lyse for å være så positiv til problemstillingen min. Dere har gitt meg anledning til å snakke med ansatte, tatt meg med på besøk til kraftverket og gitt meg innsyn i driften deres. Jeg kunne ikke gjennomført oppgaven uten deres støtte.

Til slutt vil jeg takke min tålmodige kjæreste.

Ronny Steine

Stavanger, 15. juni 2016

Egenskaper i rapporten

Det er brukt klikkbare linker i den digitale versjonen av rapporten. Linker til nettsider er blå, referanser er gul og referanser internt i dokumentet er lilla. Fargene er ikke brukt i papirversjonen.

Innhold

Figurliste	xii
Tabelliste	xiii
Forkortelser	xiv
1 Introduksjon	1
2 Teori	5
2.1 Sentrale definisjoner	5
2.1.1 Kvantitativ og kvalitativ informasjon	5
2.1.2 Hva er en feil?	6
2.1.3 Pålitelighet og tilgjengelighet	7
2.2 Vannkraft	7
2.2.1 Generator	9
2.2.2 Francisturbin	10
2.3 Energimarkedet	11
2.4 Industrielt vedlikehold	12
2.5 Ulike vedlikeholdsstrategier	14
2.5.1 Definisjoner i litteratur	15
2.5.2 Korrektivt vedlikehold	16
2.5.3 Preventivt vedlikehold	17
2.5.4 Prediktivt vedlikehold	18
2.6 Tilstandsparameter	19
2.6.1 Vibrasjonsanalyse	20
2.6.2 Velge vibrasjonssensor	21
2.6.3 Inspeksjon	24
2.6.4 Prosessparametre	25
2.6.5 Termografi	26
2.6.6 Oljeanalyse	26
2.6.7 Elektrisk testing	28
3 Metode	33
3.1 Valg og beskrivelse av case	35
3.2 Litteraturstudie	36
3.3 Datainnsamling	36
3.3.1 Intervjuer	37
3.3.2 Spørreundersøkelse	38
3.3.3 Data fra Lyse sine IT-systemer	38
3.4 Begrensninger	38
4 Analyse del 1: Organisasjon og drift	41

4.1	Organisasjonen	41
4.1.1	Holdning og kultur	42
4.2	Arbeidsmetode	44
4.2.1	Rutinearbeid og forebyggende vedlikehold	45
4.2.2	Revisjoner	46
4.2.3	Planlagte operasjoner 2016-2026	46
4.3	Jørpeland Kraft AS	48
4.4	Oppbygging	49
4.5	Produksjon	52
5	Analyse del 2: Kraftverkskomponenter	57
5.1	Turbin	58
5.1.1	Gjennomgang av håndbok	59
5.1.2	Oppsummering av håndbok - Turbin	62
5.1.3	Vedlikeholdshistorikk - Turbin	63
5.1.4	Planlagt vedlikehold 2016-2026 - Turbin	63
5.1.5	Instrumentering på turbinen	65
5.1.6	Oppsummering - Turbin	68
5.2	Generator	69
5.2.1	Gjennomgang av håndbøker	69
5.2.2	Oppsummering av håndbøkene - Generator	75
5.2.3	Vedlikeholdshistorikk - Generator	76
5.2.4	Planlagt vedlikehold 2016-2026 - Generator	76
5.2.5	Instrumentering på generator	78
5.2.6	Oppsummering - Generator	79
5.3	Lager	82
5.3.1	Gjennomgang av håndbok	82
5.3.2	Vedlikeholdshistorikk - Lager	85
5.3.3	Planlagt vedlikehold 2016-2026 - Lager	86
5.3.4	Instrumentering på oljelagre	86
5.3.5	Oppsummering - Lager	89
5.4	Transformator	91
5.4.1	Vedlikeholdshistorikk - Transformator	92
5.4.2	Planlagt vedlikehold 2016-2026 - Transformator	92
5.4.3	Instrumentering på transformator	94
5.4.4	Oppsummering - Transformator	95
6	Resultat og diskusjon	97
6.1	Del 1	97
6.2	Del 2	100
6.2.1	Bakenforliggende årsak	102
6.2.2	Turbin	102
6.2.3	Generator	104

6.2.4	Lager	105
6.2.5	Transformator	106
6.2.6	Instrumentering	106
6.3	Helhetlig vurdering	107
6.3.1	Optimal bruk av personell	109
6.3.2	Suksesskriterier	110
6.3.3	Det nye risikoperspektivet	111
6.3.4	Faktisk tilstand	111
6.3.5	Nye og gamle kraftverk	112
7	Konklusjon	114
8	Videre arbeid	116
	Ordliste	117
	Referanser	118
	Vedlegg A Tabell	123
	Vedlegg B Utdrag fra Beredskapsforskriften	125
	Vedlegg C Intervjuguider	126
	Vedlegg D Referat fra intervjuer	129
	Vedlegg E Spørreundersøkelse med svar	143

Figurliste

2.1	Lean vs. Rich media (Daft and Lengel, 1986)	5
2.2	Failure - Fault - Error (Rausand and Høyland, 2004, s.84)	6
2.3	Total virkningsgrad i et vannkraftverk (Nielsen, 2014)	8
2.4	Spiraltromme og Francisturbin (learnengineering.org, 2016)	9
2.5	Komponenter i en francisturbin	10
2.6	Prisområder i Nord Pool (NordPool, 2016)	11
2.7	Utvikling av vedlikeholdsfunksjonen (Pintelon and Parodi-Herz, 2008, s.26)	13
2.8	Definisjoner av vedlikehold brukt i oppgaven (Pintelon and Parodi-Herz, 2008, s.28)	17
2.9	“Bathtub curve”, badekarkurve. Illustrerer normal sannsynlighet for feil på maskiner (Etelämäki, 2015)	18
2.10	Fast Fourier Transformasjon (IMV-Co, 2016)	21
2.11	FFT analyse i feilsøking (Active-Acoustic, 2016)	22
2.12	Måling av S-Max (Sulzer-Pumps, 2010, s.138)	24
2.13	Sensorer for tilstandsovervåking av olje (IFM, 2016)	27
2.14	Partiell utladning gjennom isolasjon (Brüel&Kjær-Vibro, 2016)	29
2.15	Funksjonsillustrasjon av flux-måling (Brüel&Kjær-Vibro, 2016)	30
2.16	Sensorplassering ved luftgapsmåling (Brüel&Kjær-Vibro, 2016)	31
3.1	Prinsipiell modell for nytteverdivurdering (Solvang and Eggen, 2006, s.11)	34
4.1	Maskinhallen i Jøssang kraftverk rett før ferdigstilling (Bygg.no, 2013)	48
4.2	Bilde av aksling mellom turbin i bunn og generator i toppen ved Jøssang	50
4.3	Snittpris hver måned i 2015 (NordPool, 2016)	53
4.4	Prisgjennomsnitt fordelt per time i døgnet i 2015. Sammenligning mellom årsgjennomsnitt og vintermånedene	54
4.5	Gjennomsnittlig effekt per uke i 2013, 2014 og 2015	56
5.1	Avstandsmålere på aksel over turbin. Måler S-Max	65
5.2	Lagerplassering i vertikale aggregat. Byggeform: IM 8425 (W41) (Eggen, 2005)	83
6.1	Vedlikehold av asfalt ved amerikanske flyplasser(US-FAA, 2014)	112
6.2	Prinsipp for asfaltvedlikehold på amerikanske veier (US-FHA, 2015)	113
A.1	Prisgjennomsnitt fordelt per time i døgnet. Sammenligner gjennomsnittlig pris per time fra Nord Pool og oppnådd pris ved produksjon av Jøssang	123

Tabelliste

2.1	Oversikt over sensortyper for vibrasjon (White, 1997, s.45)	23
3.1	Hovedpunktene i Figur 1 i ISO 17359:2011 (E)	34
3.2	Oversikt over data og kilder	37
3.3	Oversikt over intervjuobjekter	37
4.1	Arbeidsordrer mellom 2016-2026. Sortert etter intervall	47
4.2	Arbeidsordrer mellom 2016-2026. Sortert etter antall planlagte timer	47
4.3	Hovedkomponentene i Jøssang Kraftverk	52
5.1	Komponentene i Jøssang Kraftverk	58
5.2	Planlagte jobber på turbinen mellom 2016-2026	64
5.3	Analoge signaler tilknyttet turbinen	67
5.4	Digitale signaler tilknyttet turbinen	67
5.5	Planlagte jobber på generator mellom 2016-2026	77
5.6	Analoge signaler tilknyttet generatoren	80
5.7	Digitale signaler tilknyttet generatoren	80
5.8	Planlagte jobber på generatorlagrene mellom 2016-2026	86
5.9	Analoge signaler tilknyttet generatorlagrene	88
5.10	Digitale signaler tilknyttet generatorlagrene	88
5.11	Planlagte jobber på transformator mellom 2016-2026	93
5.12	Analoge signaler tilknyttet transformatoren	94
5.13	Kontrollsignaler tilknyttet transformatoren	94
6.1	Funn i analyse del 2	101
6.2	Funn i analyse del 2, sortert etter analysemetode	103
A.1	Oversikt over kategorier for planlagt vedlikehold/kontroller	124

Forkortelser

CBM Condition Based Maintenance 15, 18, 19, 24, 25, 112, 113

CTOD Crack Tip Opening Displacement 58

DGA Dissolved Gas Analyses 28, 92, 93

DLA Dielectric Loss Analysis 30, 72, 73

DOM Design-out of maintenance 16

DP Degree of Polymerization 28

FBM Failure based maintenance 16

FFT Fast Fourier Transform 20, 21, 66, 68, 75, 79, 81, 89, 90, 102, 115

GOT General Oil Tests 28, 92, 93

LCC Life Cycle Cost 12, 14

LTTF Lead-time-to-failure 19

MTBF Mean-time-between-failures 112

MTTF Mean-time-to-failure 16, 17, 112

NDT Nondestructive testing 24, 46, 64

OBM Opportunity-based maintenance 16, 46

OED Olje- og energidepartementet 48

OEE Overall equipment effectiveness 14

PD Partial discharge 29, 30, 72, 73, 78, 81, 104, 106, 115

PDA Partial discharge analyzer 29, 30, 72, 73, 75, 78, 79, 81, 104, 106, 115

RCM Reliability-based maintenance 1

ROA Return on assets 14

ROS Risiko og sårbarhet 91–93

SAT Site acceptance test 19

TBM Time-based maintenance 15–17

UBM Use-based maintenance 15–17

UiS Universitetet i Stavanger 25, 26

1 Introduksjon

Utviklingen innen vedlikehold har de siste 70 årene vært enorm. [Pintelon and Parodi-Herz \(2008\)](#) forklarer hvordan industrien sitt syn på vedlikehold har gått fra et nødvendig onde til målsetninger om verdiskapende vedlikehold. Sinted og Energi Norge startet i 2015 prosjektet MonitorX i samarbeid med flere store norske kraftprodusenter ([Sintef, 2007](#); [Aanonsen, 2016](#)). Prosjektet har som mål å bruke mye ulik informasjon og selvlærende modeller for å predikere vedlikeholdsbehov. Målsetningen ved tilstandsovervåkingen i prosjektet vil være å unngå kostbare havarier og redusere unødvendige inspeksjoner. Utviklingen har likevel stort sett vært innenfor arbeids- og analysemetodikk. Metodene som brukes er gamle og velprøvde. Preventivt vedlikehold ble utviklet på 60-tallet, prediktivt på 70- og 80-tallet. På 80- og 90-tallet kom [Reliability-based maintenance \(RCM\)](#) og tankegangen rundt livssyklus kostnader ([Pintelon and Parodi-Herz, 2008](#)). Av analysemetoder ble FMEA utviklet på 50-tallet og på 60-tallet ble Fault tree analyse og HAZOP utviklet ([Kletz, 1997](#); [Aven, 2008](#)). Dette viser at grunnteorien ikke har endret seg mye siden 90-tallet.

Energimarkedet i Europa har siden dereguleringen av norsk kraftmarked i 1991, blitt stadig mer sammenflettet. Nord Pool ble startet i regi av Statnett i 1993 og er i dag et viktig kraftmarked med 7 medlemsland og flere partnere. Norge har kabler og linjer til Sverige, Danmark og Nederland, og har planer om å bygge kabler til England og Tyskland. Sverige og Danmark har ytterligere utbyggingsplaner. Norge sitter med 50% av lagringskapasiteten til vannkraft i Europa ([Nilsen, 2014](#)). Med fri konkurranse vil nye tilkoblinger mellom land endre konkurransebildet. Dette kan føre til nye muligheter for kraftprodusenter i Norge, men samtidig by på ekstra utfordringer. [Nilsen \(2014\)](#) skriver at Norge har flere hundre kraftverk med en gjennomsnittsalder på 45 år. Med økte økonomiske insentiver for hyppigere start og stopp vil det føre til ekstra slitasje på blant annet generatoren ([Elstrøm et al., 1996](#)). Norsk media har lenge fokusert på at Norge kan bli Europas grønne batteri. Som Petter Støa og Ole T. Dønnestad spøkefullt skrev i Dagens Næringsliv: "Som konkurrent til hus-utgaven av Teslas batteri, ville Norges største kraftmagasin være verdt ett oljefond" ([Støa and Dønnestad, 2015](#)).

Kraftverksbransjen i Norge kan i grove trekk kalles en konservativ bransje. Maskiner blir oppgradert og styringen mer kompleks, men i det store bildet er et vannkraftverk ikke så ulikt slik det var tidlig på 1900-tallet. Mange av de store kraftverkene ble bygd lenge før en hadde avanserte måleinstrument og datasimuleringer. Den ekstra usikkerheten medførte høyere designmarginer. En kan tenke seg at mangelen på utvikling skyldes mangel på behov. Som

Grønbech (2015), administrerende direktør i Google Norge, skrev i Aftenposten: "Innovasjon oppstår der behovet er størst for nyvinning". Med store endringer i kraftsammensetninger og tilkoblinger til stadig nye land, kan det se ut som behovet for endring vil oppstå. Med forgubbing i staben må trolig mange selskaper ta grep for å posisjonere seg for endringene som vil komme (Nilsen, 2007). Langdal and Trætteberg (2002) skriver at utarming av teknisk fagkompetanse skyldes mangel av store utbygginger. "Forskning viser at tradisjonsrike suksessbedrifter gjerne går på en smell ved teknologiske endringer. De makter ikke omstillingen, eller det omstiller seg for sent", svarte næringsstipendiat Rikke Stoud Platou i en artikkel (Christiansen, 2014).

Rundt 1990 begynte produktutviklerne for fullt å designe elektriske maskiner med datasimulering (Herdlevær, 2016). Datasimulering i drift og vedlikehold er derimot ikke brukt i utstrakt grad. Dette kan skyldes at et nivå er nådd der mer kunnskap trengs om hvordan teknologien skal brukes. Alle nødvendige målinger som kan gi forståelse for tilstanden til et kraftverk har eksistert lenge, men kostnadene og kompleksiteten til informasjonssystemet har vært en barriere for mange. Nye trender som etterhvert også vil komme til kraftindustrien er "The Internet of things (IoT)" og "Big data". Dette kan bli en faktor som endrer måten det jobbes på i dag.

Vedlikeholdsstyring og tilstandskontroll er et tema det har vært fokusert på i Norge i flere år. Store deler av forskningen er utført av Sintef og Energi Norge, men er bare tilgjengelig mot betaling. Derfor har rapporten få referanser til nye norske studier. Lyse har vært behjelpelige med å skaffe noen rapporter. Elstrøm et al. (1996) ser på konsekvenser for generatorer ved endring av driftsmønster og effektøkning. De viser blant annet at stator og viklinger kan løsne som følge av temperaturendringer ved lastvariasjon og start/stopp. Solvang and Eggen (2006) ser på metoder for å beregne nytteverdi av tilstandskontrollsystemer. De viser flere positive punkter som ikke lar seg måle økonomisk og baserer rapporten på en kombinasjon av kvalitativ og kvantitativ vurdering. De ser også på ulike system på markedet og utfører en spørreundersøkelse for å kartlegge selskapenes erfaringer. Langdal and Trætteberg (2002) ser på utfordringer vedrørende endrede arbeidsmetoder, IKT-systemer og nye utfordringer for de tekniske miljøene. De har gjort et case-studie på Sira-Kvina kraftselskap og Nord-Trøndelag Elektrisitetsverk og funne at en av hovedutfordringene ved innføring av nye systemer er motivasjon og informasjon til fagarbeiderne, spesielt de eldre. Langdal et al. (2005) er en veileder for innføring av tilstandskontrollsystemer. Blant annet må både tekniske og organisatoriske forutsetninger oppfylles for å få nytteverdi av

tilstandskontroll.

Litteraturen er utarbeidet på generell basis eller som studier av store kraftverk. Fokuset i denne rapporten vil derfor være på et lite kraftverk og organisasjonen rundt. Oppgaven ser på behov og fordeler ved tilstandsovervåking ved Jøssang Kraftstasjon, som er valgt som case-studie. For å avgrense arbeidsomfanget vil oppgaven omhandle turbin, generator, generatorlagrene og transformatoren. Her vil mulige degraderingsmekanismer og måleparametre identifiseres gjennom vedlikeholdshistorikk, intervjuer og håndbøker. Jøssang ble satt i drift i 2011 og regnes som rimelig nytt. Nye kraftverk har mange målepunkt, så en del av oppgaven vil se om eksisterende målinger kan brukes annerledes for å få bedre oversikt over tilstanden. I tillegg vil ytterligere måleparametre anbefales der mulighet for nytteverdi identifiseres. Drøfting og konklusjon er basert på løsninger som vil gi anvendelig informasjon for utførende part og beslutningstakere. For endelig anbefaling av hva utstyr som vil gi nytteverdi må videre arbeid omfatte analyser av kritikalitet og økonomi.

Oppgaven vil ikke bare fokusere på tekniske utfordringer og løsninger, men også organisatoriske. Vurderingene holdes helhetlig for å nå den beste løsningen for selskapet. Forslag i oppgaven vurderes å ha potensiale for redusert risiko, redusert kostnad, økt inntjening eller utvikling for selskapet og ansatte. Som student uten tilknytning til selskapet og uten erfaring fra denne industrien vil det i oppgaven vektlegges et objektivt syn på utført arbeid.

Oppgaven har som mål å bygge forståelse for behov, løsninger og utfordringer for implementering av tilstandsovervåking i Jøssang Kraftverk. I tillegg til tekniske undersøkelser vil oppgaven søke etter å avdekke hva forutsetninger organisasjonen har for slike løsninger. Med forutsetning menes forhold som kunnskap, holdninger og interesse.

Delmål

- 1:** Undersøk hvordan Lyse drifter Jøssang Kraftverk.
- 2:** Undersøk kraftverket sin virkemåte og identifiser kritiske komponenter.
- 3:** Se på mulig bruk av eksisterende parametre og alarmer, samt behov for andre typer målinger som kan hjelpe planlegging og styring av vedlikeholdet.

Jøssang Kraftstasjon er driftet gjennom selskapet Jørpeland Kraft AS der Lyse eier 2/3. Eventuelle utfordringer knyttet til eierskap ses bort fra. Oppgaven bruker noen standardiserte tekniske engelske uttrykk.

2 Teori

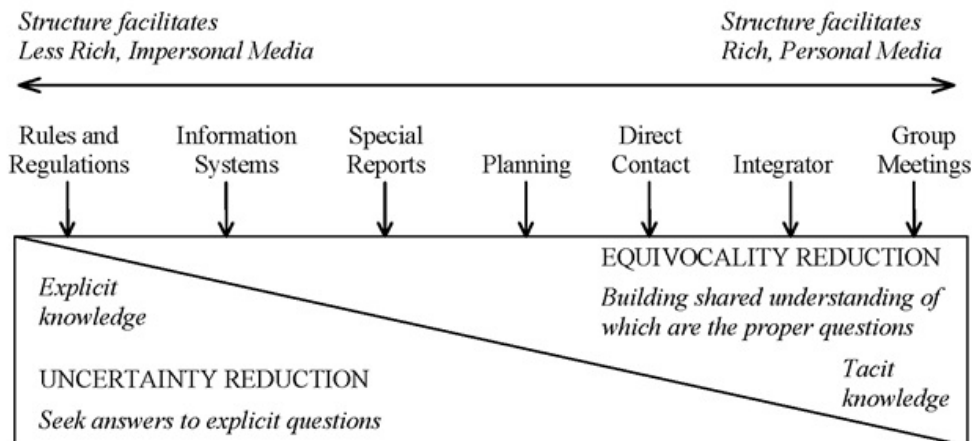
I dette kapittelet vil leseren bli introdusert for nødvendig grunnkunnskap i lys av oppgaven. Dette innebærer litt historisk tilbakeblikk, virkemåte for vannkraft, vedlikeholdsfilosofier og måleteknikker.

2.1 Sentrale definisjoner

Mange ord og uttrykk i et hvert språk tolkes forskjellig av ulike mennesker. For å hindre dette blir noen begreper gjennomgått under. Først blir forskjellen mellom kvantitativ og kvalitativ informasjon diskutert. Så forklares forskjellen på begreper rundt feil og forskjellen på pålitelighet og tilgjengelighet.

2.1.1 Kvantitativ og kvalitativ informasjon

Informasjon deles inn i kvantitativ og kvalitativ informasjon. Kvantitativ er data i form av tall som driftsdata, spørreundersøkelse, eksperiment, statistikk osv. Kvalitativ informasjon er data i form av tekst. Dette kan medføre en større usikkerhet og mindre nøyaktighet. Eksempel på denne typen informasjon er feltobservasjoner, intervjuer, møtereferat og kommentarer. Kvalitativ informasjon er mer fleksibel om åpen for tolkning (UiO, 2016).



Figur 2.1: Lean vs. Rich media (Daft and Lengel, 1986)

Daft and Lengel (1986) forklarte hvordan ulike kommunikasjonsmetoder har ulik fare for å bli tolket forskjellig av ulike personer. Hver person har ulik bakgrunn og har et verdensbilde basert på sin livserfaring. Hver ny informasjon en mottar blir tolket mot den forståelsen en allerede har. Dette kan skape stor forvirring rundt den samme informasjonen. Dess rikere informasjonen er, dess større rom for tolkning er det. Tar vi eksempelet helt til høyre i Figur 2.1 så vet

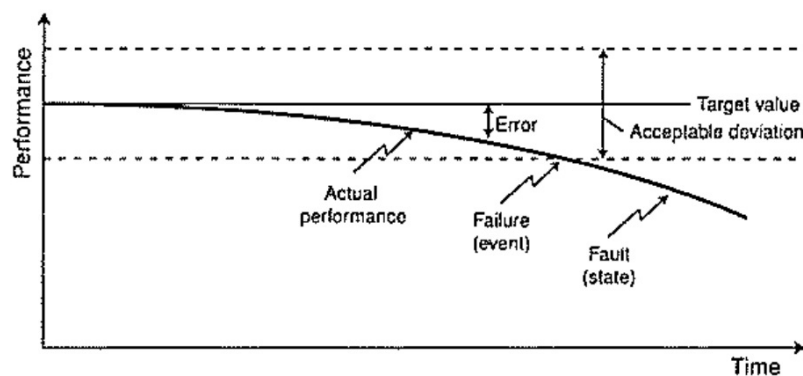
man at deltakere i gruppemøter kan ende opp med ulik oppfatning uten å vite om det. Ved å skrive et møtereferat og sende det rundt til deltakerne, vil en flytte informasjonen mot venstre i Figur 2.1 og dermed redusere sannsynligheten for ulik oppfatning. Dette er også viktig å tenke på i vedlikehold og styringssystemer. Ulike personer kan tolke situasjoner med ulik alvorlighetsgrad. Tall og målinger er “Lean” informasjon, men det at en person vurderer en situasjonen som “OK” er rik informasjon.

2.1.2 Hva er en feil?

På grunn av begrensinger i det norske språket er det viktig å forklare forskjellen på hva ordet feil betyr og hvor det skal brukes. I Norge vil man kalle de fleste uønskede situasjoner for en feil, noe som kan skape litt forvirring når vi refererer til engelske tekster. Det engelske språket skiller mellom “error”, “failure” og “fault”.

I følge [van der Meulen \(2012\)](#) er det også full forvirring rundt de ulike betydningene i engelsk språk og presenterer flere eksempler. Her er en av de klarere tolkninger han presenterer i boken:

“A failure occurs because the system is erroneous: an error is that part of the system state which is liable to lead to failure. An error is, in short, a detected deviation from the agreed specification of requirements (IEC65A 122) (IEC65A 94)”



Figur 2.2: Failure - Fault - Error ([Rausand and Høyland, 2004](#), s.84)

[Rausand and Høyland \(2004, s.83\)](#) forklarer det litt tydeligere:

“According to IEC50(191) *failure* is the event when a required function is terminated (exceeding the acceptable limits), while *fault* is “the state of an item characterized by inability to perform a required function, [...]” A fault is hence a state resulting from a failure.”

Det hele blir lettere å oversette når en ser på Figur 2.2. “Error” kan oversettes til avvik. Det er avviket fra ønsket/normal/ny tilstand. Når avviket når nedre tillatt grense oppstår svikt. Svikt er en hendelse som fører maskinen inn i en tilstand med feil. Feil er da en tilstand der maskinen ikke kan brukes.

Error = Avvik

Failure = Svikt

Fault = Feil

En kan bruke jordfeil på en elektromotor som eksempel. Ved å bruke en isolasjonstester, “megger”, kan en måle motstanden fra elektrisk krets til jordet metall. Når motoren er ny viser instrumentet $500\text{M } \Omega$. Dette blir da referansemålingen. Etterhvert som årene går blir målingen dårligere og dårligere, med andre ord; avviket øker. En dag slår jordfeilvernet ut. Denne hendelsen er en svikt og motoren har nå en feil.

2.1.3 Pålitelighet og tilgjengelighet

Det er ikke så lett å skille mellom forskjellen mellom pålitelighet og tilgjengelighet ettersom de begge omhandler hvor mye problemer en maskin eller et anlegg har. Men forskjellen kan være stor.

Definisjon av **tilgjengelighet** fra Høyland and Rausand (2009, s.6):

“The ability of an item (under combined aspects of its reliability, maintainability, and maintenance support) to perform its required function at a stated instant of time or over a stated period of time (BS 4778).”

Dette kan tolkes som at tilgjengelighet har med hvor lang tid et utstyr fungerer, målt i oppetid.

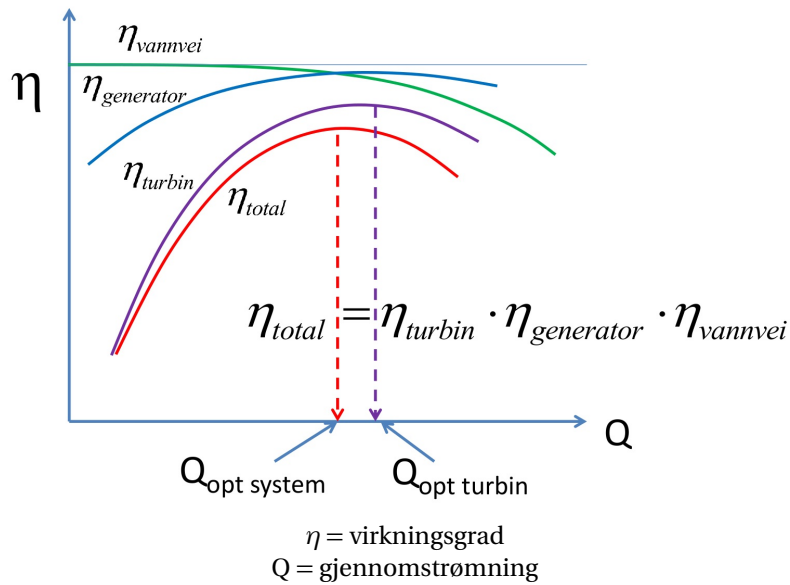
Definisjon av **pålitelighet** fra Høyland and Rausand (2009, s.5):

“The ability of an item to perform a required function, under given environmental and operational conditions and for a stated period of time (ISO 8402).”

Dette kan en tolke som antall ganger utstyret feiler, målt i antall stopp.

2.2 Vannkraft

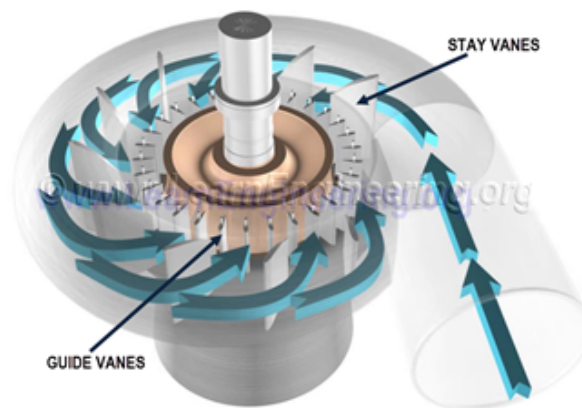
Norge har vært en av de ledende landene i verden innenfor vannkraft helt siden Norsk Hydro ASA bygde verdens største kraftverk to ganger på rad. I 1911 ble Vemork satt i drift og 1915 var Såheim ferdig. Begge ligger i Rjukan i Telemark og utnytter det samme vannet. Disse verdensrekordene satte Norge på kartet innen vannkraft og har bidratt til den sterke posisjonen Norge har i dag.



Figur 2.3: Total virkningsgrad i et vannkraftverk (Nielsen, 2014)

Et vannkraftverk består av hovedkomponentene: vannveier, turbin, generator og transformator. Vanninntaket kan være i en elv, fjellvann eller kunstig magasin. I et magasin lagres ren energi med null tap, så lenge det ikke renner mer over dammen enn hva minstevannføring tilsier. Når det er behov for energien føres vannet fra magasinet gjennom tunneler og rør til et kraftverk som ligger lavere i terrenget. Høydeforskjellen fra magasinet til kraftverket skaper trykk. Når vannet ankommer kraftverket snevrer røret inn til en mindre dimensjon for å skape mer trykk og øke hastigheten på vannet inn i turbinen. Energien har da endret seg fra statisk energi i magasinet, til kinetisk energi når det ankommer turbinen. Den kinetiske kraften blir ført inn på vannhjulet slik at turbinen omdanner nesten all den kinetiske energien om til roterende mekanisk energi. Denne blir så overført til generatoren hvor den transformerer roterende mekanisk energi til elektrisk energi.

Turbiner i Norge er normalt pelton-, francis- eller kaplanturbin. Virkningsgraden til hver turbin varierer med fallhøyde og hver av de tre passer ulike bruksområder. Kaplan er god på lav fallhøyde og stor vannføring, Francis er god på mellomhøyt fall og Pelton passer til høye fall (Store-Norske-Leksikon, 2015b). Se Kapittel 2.2.2 for mer informasjon om Francisturbiner. Når en turbin er valgt for et kraftverk vil den også ha varierende virkningsgrad utifra pådraget. I Figur 2.3 ser en et tenkt eksempel på virkningsgrader i et kraftverk. Den grønne streken illustrerer vannveien. Virkningsgraden synker dess større vannføringen er. Dette skyldes større friksjon mot vegger, turbulens og andre fenomen. Virkningsgraden til generatoren er illustrert med blå strek. En ser at den er mest effektiv når den går



Figur 2.4: Spiraltromme og Francisturbin (learnengineering.org, 2016)

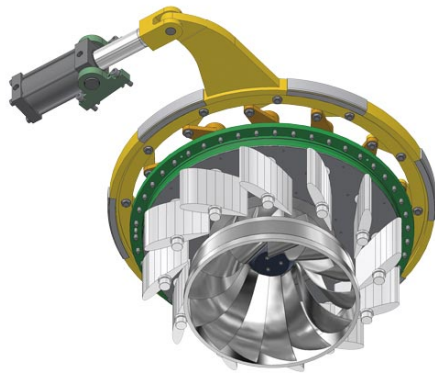
med over 50% last. Turbinen, illustrert i lilla, er i eksempelet mest avgjørende for den totale virkningsgraden. Den har dårlig virkningsgrad i hver ende av skalaen, men god i området rundt 60-80%. Summen av disse tilsvarer den totale virkningsgraden η_{total} . Slike grafer er brukt ved produksjonsplanlegging for å få mest mulig betalt for hver liter vann.

2.2.1 Generator

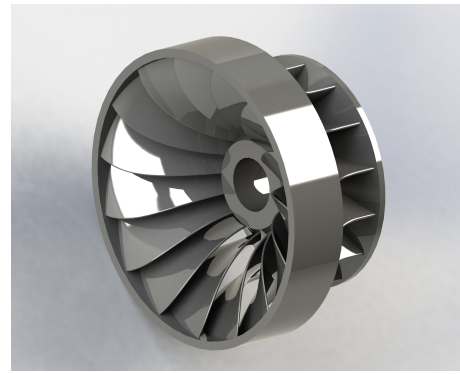
En generator er en maskin som omdanner roterende mekanisk energi til elektrisk energi. Denne energien kan komme fra ulike kilder som atomkraft, vann, vind, sol, fossilt brennstoff med flere. Jøssang og de fleste norske kraftverk blir drevet av ren energi fra en vannturbin.

En generator er bygd opp av rotor, stator og magnetiseringskrets. Det er rotoren som er koblet til turbinen. Ved kraftproduksjon tilføres rotorkretsen spenning via magnetiseringskretsen. Dette skaper et kraftig magnetfelt som fører til vekslende polaritet i den stasjonære stator i takt med turtallet til rotor. Det vekslende magnetfeltet inducerer vekselspenning i stator og denne energien ledes så ut til nettet. Størrelsen på induisert spenningen er proporsjonal med styrken på magnetfeltet.

Virkningsgraden for store moderne generatorer er veldig god. Mange har i dag 95-97% virkningsgrad. Tapene må ikke bli for store fordi den tapte energien omdannes til varme. Dersom temperaturgrensen for isolasjonsmaterialet inni generatoren overskrides vil det redusere levetiden. Temperatursvingninger ved start og stopp fører til utvidelse og sammentrekninger i metaller inni generatoren og kan medføre driftsproblemer ([Store-Norske-Leksikon, 2015a,b](#)).



(a) Ledeskovler (grabcad.com, 2014)



(b) Løpehjul ([Skoland, 2014](#))

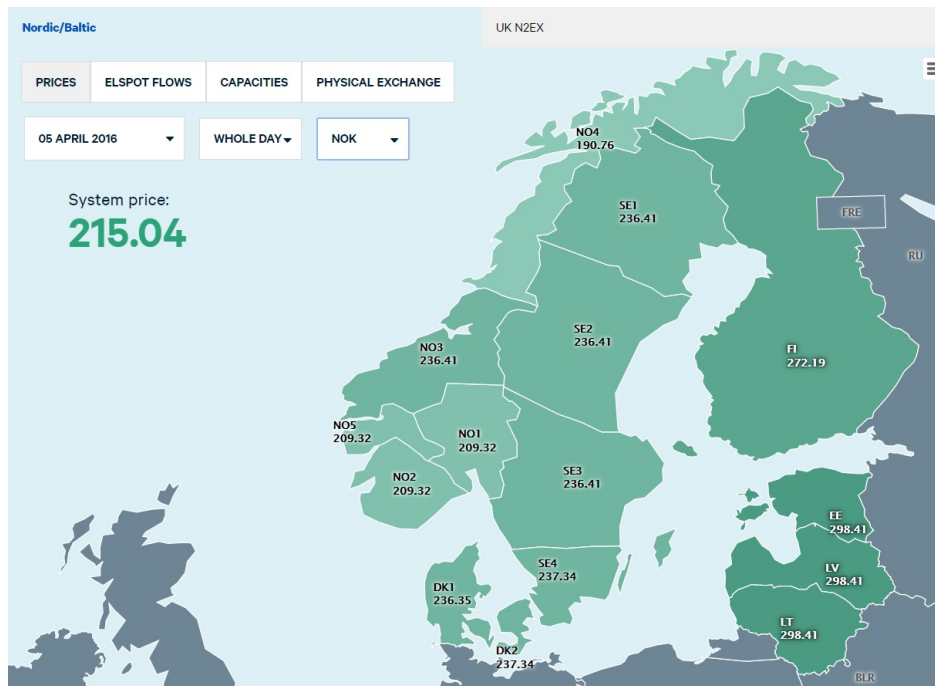
Figur 2.5: Komponenter i en francisturbin

2.2.2 Francisturbin

Francisturbinen er en reaksjonsturbin som utnytter både radiale og aksiale krefter i vannet. Turbinen ble oppfunnet av den amerikanske ingeniøren James Bicheno Francis i 1849 og er den mest brukte typen turbin i Norge. Den passer godt for lave til mellomstore fallhøgder (50-750m.), og kan monteres både vertikalt og horisontalt ([Store-Norske-Leksikon, 2009](#)). Hovedkomponentene i en francisturbin er spiralromme, ledeskovler, løpehjul og sugerør.

I [Figur 2.4](#) ser en vannet kommer inn i francisturbinen i det som minner om et sneglehus. Dette kammeret heter spiralromme og minsker i diameter hele veien rundt, som vist i [Figur 2.4](#). Dette fører til tilnærmet likt trykk i hele turbinen. Utenfor det roterende løpehjulet står justerbare ledeskovler som hjelper vannet til å få en optimal vinkel inn på løpehjulet ved den gitte vannmengden. Se [Figur 2.5a](#). Ledeskovlene justerer også vannmengden inn på løpehjulet. En oppstart utføres normalt mot stengte ledeskovler for å redusere de store kreftene involvert i å få turbin og generator til å spinne.

Ved hjelp av ledeskovlene går vannet fra roterende til en radial retning inn på løpehjulet. To typer krefter oppstår når vannet kommer inn på løpehjulet; vannet skubber på hjulet og det oppstår undertrykk på baksiden av hvert blad på samme måte som en flyvinge. Disse kreftene virker i samme retning. Vannet bøyes så nedover i aksial retning skaper de samme kreftene ved utgang av hjulet ettersom bladene er vridd utover mot bunnen, som vist på [Figur 2.5b](#). Vannet går deretter videre gjennom det som kalles sugerør.



Figur 2.6: Prisområder i Nord Pool (NordPool, 2016)

2.3 Energimarkedet

Det globale energimarkedet er i sterk endring. Mange land er avhengige av forurensende energikilder som kull eller gasskraft, men ønsker å øke fornybarandelen i kraftproduksjonen sin. Etter Fukushima-ulykken 11. mars 2011 har også faremomentene ved atomkraft fått mye fokus. Atomkraftverk slipper ikke ut drivhusgasser, men representerer en betydelig risiko for store områder rundt kraftverket. I tillegg kommer utfordringer ved å lagre avfallet til evig tid. En sitter da igjen med sol, vind, vann og termisk energi som fornybare energikilder. Problemet med slike kilder er at en ikke kan bestemme når det skal være sol eller vind. Ulike former for energilagring og energihandel mellom land er derfor viktig for å sikre stabil energiforsyning.

Nord Pool startet som en markeds plass i regi av Statnett i 1993 og har siden vokst til å bli en stor handels plass for energi i Nord-Europa. I dag er alle land i Figur 2.6 medlemmer i Nord Pool og omkringliggende land som Tyskland handler mye på spotmarkedet i Nord Pool. Prisområdene i Figur 2.6 er skapt av praktiske årsaker som overføringskapasitet, forbruk og produksjon. Sverige var inntil nylig ett prisområde, men ble splittet opp i fire områder for å kunne gi de individuell pris ut fra lokale forhold. Nord Pool er et eksempel på institusjoner som fører til et mer integrert marked.

I løpet av de siste årene har det blitt bygget mye fornybar kraft, spesielt i Tyskland,

men også i Sverige og Norge. I Norge har det for det meste kommet i form av små kraftverk som ikke kan reguleres. De svake strømprisene de siste årene skyldes et misforhold mellom produksjon og forbruk. Flaskehalsen i strømmettet kan føre til lokale og nasjonale prisforskjeller. Norge har linjer over til Sverige og sjøkabler til Tyskland og Danmark for eksport når det produseres for mye, og import når det produseres for lite. Statnett planlegger også kabel til England kalt "North Sea Link". Statnett (2016) skriver på nettsiden for prosjektet:

"Når det blåser i Storbritannia og vindkraftproduksjonen er høy, kan vi i Norge kjøpe rimelig kraft fra britene og la vannet ligge i magasinene våre. Når det er lite vind og større behov for kraft i Storbritannia kan de så kjøpe vannkraft fra oss."

Statnett (2013) nevner andre prosjekter som er under utvikling av andre aktører for å knytte Nord-Europa tettere sammen som et energimarked:

- NordBalt mellom Sverige og Litauen
- Cobra mellom Danmark og Nederland
- Jylland og Tyskland
- Sverige og Finland
- Sverige og Tyskland
- En forbindelse mellom Danmark og Storbritannia diskuteres også

En kan ikke vite helt sikkert hvordan dette vil påvirke prisene i fremtiden. Det som er sikkert er at slike krafttilkoblinger gjør det tryggere for land å øke sin andel fornybar energi ettersom de har flere leverandører å støtte seg til. Et fremtidsscenario for kraftproduksjon på Vestlandet er at de må stå med tilgjengelig reservekraft for andre områder og utjevne variasjon i kraftproduksjonen. Da må kraftverkene ha rask respons og høy pålitelighet.

2.4 Industrielt vedlikehold

Vedlikehold har lenge blitt sett på som et nødvendig onde som vanskelig lar seg kontrollere, se Figur 2.7. Tidligere fokuserte ledelsen på å redusere kostnadene ved vedlikehold i stedet for å fokusere på redusert *Life Cycle Cost (LCC)* og økt inntjening. De siste 50 årene har ledelsens syn på vedlikehold endret seg til noe som kan forebygges, til risiko- og tilstandsbasert vedlikehold og til de siste årene å snakke om verdiskapende vedlikehold (Sintef, 2007; Pintelon and Parodi-Herz, 2008, s.21).

Før den industrielle revolusjonen utførte mennesker og hester jobben maskiner gjør i dag. Mennesker brukte spader, slegger, sager osv., og hester gjorde det

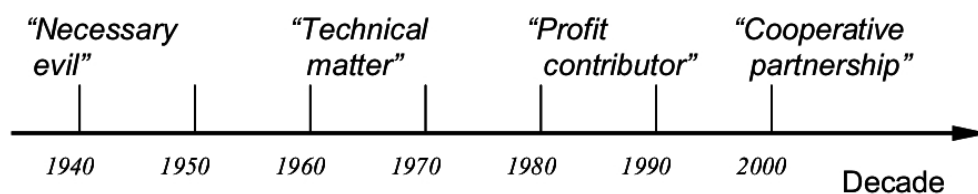
tyngste delen av jobben som å dra tømmer eller pløye jord. Utstyret var lagd av tau, treverk, jern og lær og kunne stort sett ganske enkelt repareres eller erstattes (Rao, 1996, kap.2).

I det som vi kaller for den første industrielle revolusjonen lå fortsatt de gamle prinsippene i grunn, men en byttet ut hesten mot traktor og drev fabrikkene ved hjelp av kullfyrte dampmaskiner. Denne startet i England på slutten av 1700-tallet, og spredde seg videre til resten av Europa og Nord-Amerika i løpet av de neste 100 årene. Revolusjonen var drevet av billig kull og billige råvarer fra koloniene. Råvarene ble bearbeidet på fabrikker i de industrialiserte landene.

Den andre industrielle revolusjonen varte fra slutten av 1800-tallet til omlag 1920. Industrien baserte seg mer på elektrisitet, samtidig med at nye produkter som eksempelvis aluminium og kunstgjødsel ble utviklet. Norge var midt oppe i denne utviklingen med både verdensledende teknologi og høye fosser som kunne temmes for industrien (Store-Norske-Leksikon, 2016).

Store endringer innen vedlikeholdsfilosofier kom likevel ikke før etter den andre verdenskrig. Industrien i Japan og Tyskland var knekt etter tapet av krigen. Større deler av arbeidet ble gjort av maskiner i stedet for mennesker. Med økt vekt på maskinering betydde det at større deler av inntjeningen til selskapet var avhengig av påliteligheten til maskinene. Risikoen for havari økte ikke bare på grunn av kompleksiteten, men også av strengere krav og spesifikasjoner til utstyr og produkter for å bruke mindre materialer (Rao, 1996, kap. 2). For å håndtere dette ble systemer utviklet for å unngå feil på utstyr. Fra denne perioden kommer blant annet analysemetodene FMECA, utviklet av det amerikanske forsvaret på 1950-talet, HAZOP og Fault Tree på 1960-talet (Kletz, 1997; Aven, 2008, kap.6).

Pintelon and Parodi-Herz (2008) skriver at de meste av vedlikeholdet rundt 1950 var korrektivt, men at ledelsen begynte å se aldersrelaterte feilmekanismer. Dette førte til at mange brukte forebyggende vedlikehold på 60-tallet i håp om at en investering nå ville gi innsparing i lengden. På 70- og 80-tallet ble



Figur 2.7: Utvikling av vedlikeholdsfunksjonen (Pintelon and Parodi-Herz, 2008, s.26)

utstyret mer kompleks og fulgte ikke alltid tydelige aldersbestemte mønster. En vanlig bekymring ble dermed “overvedlikehold”. Dette førte til introduksjonen av tilstands- og inspeksjonsbasert vedlikehold. På slutten av 80- og tidlig 90-tallet kom LCC. LCC har bidratt til at vedlikehold har blitt en del av designkriteriene og utstyrvalg.

2.5 Ulike vedlikeholdsstrategier

Målet med enhver form for vedlikeholdsstyring kan oppsummeres i ønsket om å maksimere tilgjengelighet, kvalitet, regularitet og fleksibilitet på en kostnadseffektiv måte (Pintelon et al., 1997, kap.1). Wireman (2008, s.xviii) forklarer at lav Overall equipment effectiveness (OEE) betyr mye nedetid og mye tap. En må unngå lav OEE, men han advarer samtidig mot at en ved å fokusere på å maksimere OEE kan ende opp med å betale mer enn hva en sparer. Når en har forstått dette kan en jobbe for å finne den optimale metoden for å maksimere Return on assets (ROA). Videre forklarer han at mange bedrifter prøver å hindre det han mener ikke kan gjøres noe med, og det er barnesykdommer (infant mortality) og tilfeldige feil.

Pintelon and Parodi-Herz (2008, s.22) skriver at vedlikehold er en kompleks oppgave som består av en blanding av ledelse, teknologi, drift og logistikk. Fysiske eiendeler er viktigere enn noen gang for å oppnå suksess i business, skriver de. Dette kan knyttes opp mot det grunnleggende normene i aksjemarkedet; dersom selskapet ikke klarer å reinvestere overskuddet på en måte som gir høy nok avkastning så skal aksjonærene få utbytte som de igjen kan reinvestere som de vil. I denne sammenhengen betyr det at en ikke skal bruke midler på oppgraderinger eller vedlikehold uten at det lønner seg i lengden. En skal bruke selskapet sine midler til å maksimere eiendelene sin verdiskaping. På grunn av at vedlikehold er kritisk for å nå forretningsmålene er det ikke vanlig for selskap å leie inn eksterne bedrifter til å ta seg av hele vedlikeholdet. Flere bedrifter blir fristet til å kutte på vedlikehold i dårlige tider fordi det er lett, men før eller siden vil det koste mye på grunn av uventede feil, lengre reparasjonstider, økt slitasje etc.

Når det settes opp et vedlikeholdsprogram vil en risiko- og kostnadsanalyse ligge til grunn for hvilke vedlikeholdstrategi en velger. Wireman (2008, s.31) skriver at et godt vedlikeholdsprogram benytter en kombinasjon av metodene i dette kapittelet. En kombinasjon av flere strategier er en måte å tilpasse seg de ulike maskinene sine egenskaper og miljø. For maskiner som ikke medfører betydelige konsekvenser ved svikt kan en velge korrektivt vedlikehold. For litt viktigere

utstyr kan en utføre preventive tiltak for å heve prestasjon og pålitelighet. For utstyr som er viktige, og har en degraderingsprosess som lar seg detektere før svikt, kan man velge prediktivt vedlikehold.

2.5.1 Definisjoner i litteratur

Litteraturen er ikke enstemmig når det kommer til definisjoner for de ulike metodene. [Pintelon and Parodi-Herz \(2008, s.27\)](#) grupperer Predictive, Preventive, Proactive og Passive sammen i det de kaller "Precautionary actions", se Figur 2.8. Dette er tydelige og lettfattelige klassifikasjoner. De skriver at det likevel kan være vanskelig å plassere en vedlikeholdsoppgave i en spesifikk kategori på grunn av stadige tekniske endringer, samt endringer i synet på vedlikehold. Annen litteratur er stort sett enig i de definisjonene, men har litt andre nyanser i hva de legger i korrektivt, preventivt og prediktivt vedlikehold.

[Mobley \(2002, kap.1.1\)](#) og [ISO 17359:2011 \(E, 7.4\)](#) bruker bare Run-to-Failure, Preventive og Predictive uten å gruppere de på noen måte. Run-to-Failure er en relativt svart-hvit versjon av korrektivt vedlikehold som beskrives ved at ingen vedlikehold blir utført på utstyret før det svikter. [Mobley \(2002, kap.1.1\)](#) legger til at de fleste anlegg vil utføre grunnleggende preventive oppgaver i kombinasjon med en slik korrektiv tilnærming.

[Wireman \(2008, kap.5\)](#) bruker Preventive Maintenance som gruppe for Basic Preventive, Proactive, Predictive, Condition Based og Reliability Engineering. Han ser på de som verktøy og metoder i et godt preventivt vedlikeholdsprogram. Dette skiller seg fra [Mobley \(2002, kap.1.1\)](#) og [Pintelon and Parodi-Herz \(2008\)](#) som beskriver preventivt vedlikehold som tidsbaserte oppgaver. Enten ved løpt tid, [Time-based maintenance \(TBM\)](#), eller driftstid, [Use-based maintenance \(UBM\)](#).

[Wireman \(2008, kap.5\)](#) skiller prediktivt vedlikehold som en egen kategori fra tilstandsbasert vedlikehold. Han mener prediktivt er en mer avansert inspeksjon hvor en bruker teknologiske hjelpemidler til å vurdere tilstanden. Videre mener han [Condition Based Maintenance \(CBM\)](#) er en videreutvikling av prediktivt vedlikehold som bruker kontinuerlig overvåking i et datasystem. En trender så tilstanden og planlegger vedlikehold ut fra behov. [Pintelon and Parodi-Herz \(2008, s.29\)](#) skriver helt generelt at prediktivt vedlikehold er basert på inspeksjoner og tilstandsverdier. Dette kan tolkes som all tilgjengelig informasjon. [Mobley \(2002, kap.1.1\)](#) er tydeligere i ordvalgene og sier at prediktivt vedlikehold kan være mye ulikt. Det er en metode som kan tilpasses ulike maskiner, bedrifter, personer og situasjoner. Han eksemplifiserer med å

skrive at for en elektriker kan det være termografering av tavler og elektrisk testing av motorer. For andre kan det være vibrasjon, mekanisk tilstand, virkningsgrad og prosessverdier. Han sier at prediktivt vedlikehold er et omfattende program som tar de mest kostnadseffektive metodene i bruk for å identifisere faktisk tilstand til et utstyr. Basert på denne informasjonen utføres vedlikehold ved behov.

[Pålitelighet.no](#) (2016) bruker Proaktiv som gruppebetegnelse for preventivt og prediktivt vedlikehold. Dette ville vært en god oversettelse til norsk for Precautionary hadde det ikke vært for at en metode under Precautionary heter Proactive.

Basert på litteraturstudiet over vil følgende definisjoner brukes videre i oppgaven:

Reactive Korrektivt vedlikehold består av reaktive aktiviteter. Arbeid utføres etter at svikt har oppstått.

Preventive TBM og UBM. De er skilt ved at TBM baserer seg på faste tidsintervaller og UBM på driftstid. Tidsintervaller baserer seg på [Mean-time-to-failure \(MTTF\)](#) og [badekarkurve](#).

Predictive Baserer seg på de mest kostnadseffektive metodene for å identifisere faktisk tilstand til et utstyr. Dette kan være inspeksjoner og ulike former for målinger målt ved intervaller eller kontinuerlig. Planlegger vedlikeholdet basert på tilstanden.

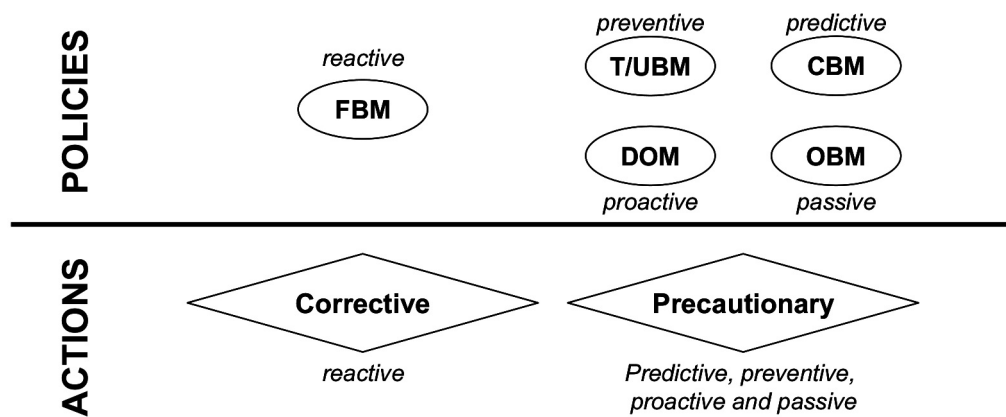
Proactive [Design-out of maintenance \(DOM\)](#). Design anlegget for minimalt vedlikehold og risiko.

Passive [Opportunity-based maintenance \(OBM\)](#). Prosedyre for å utnytte muligheter for vedlikehold. Eksempelvis skifte deler når kraftverket står som ellers ikke ville blitt byttet.

Videre i denne delen forklares bare korrektivt, preventivt og prediktivt vedlikehold, men tankegangen i [DOM](#) og [OBM](#) inkluderes der det passer.

2.5.2 Korrektivt vedlikehold

[Pintelon and Parodi-Herz](#) (2008, s.27) skriver at korrektivt vedlikehold er reaktive aktiviteter basert på metoden for [Failure based maintenance \(FBM\)](#). Vedlikeholdet blir utført etter svikt har oppstått. Korrektive aktiviteter er vanskelige å forutse ettersom svikt er stokastisk og uforutsett. De nevner at metoden kan være god på situasjoner som lyspærebytte, hvor konsekvensen og reparasjonskostnaden er liten. Samtidig sier [Moblely](#) (2002, s.2) at korrektivt vedlikehold er den dyreste metoden for mange typer utstyr.



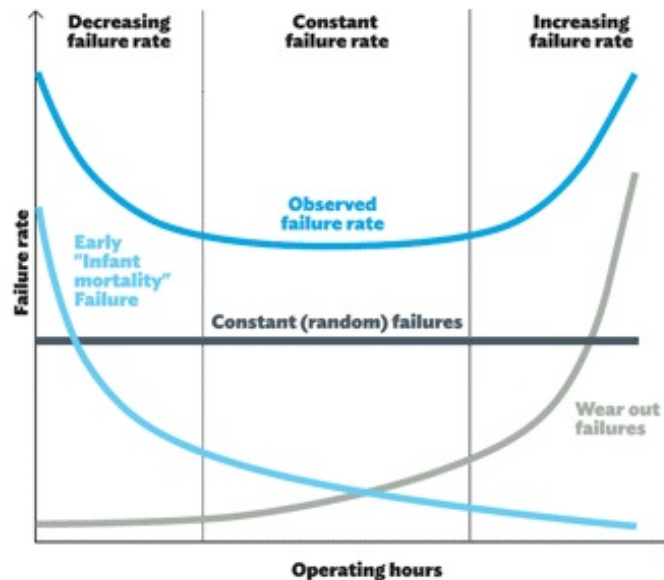
Figur 2.8: Definisjoner av vedlikehold brukt i oppgaven (Pintelon and Parodi-Herz, 2008, s.28)

Korrektivt vedlikehold har to former; uplanlagt og planlagt. Det er flere situasjoner denne metoden er lønnsom, som i eksempelet med lyspærer nevnt over. I lyspæreeksempelet planlegger en at pæren byttes når den ryker. Da vurderer en at kostnaden ved overvåking av tilstanden eller jevnlig bytte av lyspæren koster mer enn tapet av funksjonen. Vurderingen handler om risiko; sannsynligheten, kostnad og konsekvens.

De fleste korrektive program vil utføre basis preventivt vedlikehold som smøring, justering etc. I denne metoden blir det derimot ikke utført noen utskiftninger før maskinen havarerer. Hovedkostnadene forbundet med denne filosofien er stort lager for reservedeler, overtidskostnader, nedetid og lav tilgjengelighet (Moble, 2002, s.3). Fordi denne metoden ikke kontrollerer tilstanden på noen maskiner må organisasjonen være klar for enhver situasjon. Dette betyr at en må lagreføre alle viktige maskindeler som ikke kan skaffes innen kort tid.

2.5.3 Preventivt vedlikehold

Forebyggende vedlikehold er kort forklart alle aktiviteter ment for å redusere sannsynligheten for svikt og øke levetiden til utstyret (Pintelon and Parodi-Herz, 2008, s.27). Dette kan være oljeskift, smøring, lagerbytte, filterbytte etc. I det lange løp kan kostnadene bli redusert som følge av lavere sannsynlighet for svikt. Utfordringen ved både TBM og UBM er å finne det beste intervallet for jobben. Metoden baserer seg på MTTF og badekarkurven som illustreres i Figur 2.9. Dersom det statistisk sett viser seg at en pumpe vil vare etter 18.000 timer kan et preventivt program legge opp til å overhale den etter 17.000 timer. Problemet med en slik metode er blant annet at pumper som står i ulike miljø kan ha ulik levetid. En risikerer dermed å sløse ressurser på unødvendige overhalinger som



Figur 2.9: “Bathtub curve”, badekarkurve. Illustrerer normal sannsynlighet for feil på maskiner (Etelämäki, 2015)

er for tidlig eller så havarerer pumpen før den har gått 17.000 timer. Da blir jobben reaktivt, noe Mobley (2002, s.4) mener er tre ganger dyrere enn planlagt vedlikehold.

Eksempelvis anbefaler ABB å skifte de smørefrie lagrene i en spesifikk elektromotor etter 52.000 timer ved driftstemperatur på 25° Celcius og 33.000 timer ved 40° Celsius (ABB, 2015). Dette er en pekepinne basert på deres erfaringer. Dersom temperaturen og miljøet motoren står i er veldig forskjellig fra det ABB sine anbefalinger er basert på vil behovet endre seg. Står motoren i et smelteverk eller inne i en kjølig fjellhall vil levetiden til et lager variere kraftig.

2.5.4 Prediktivt vedlikehold

CBM faller under kategorien prediktivt vedlikehold som ble utviklet på 70- og 80-tallet for å takle den voksende kompleksiteten i maskiner. Kompleksiteten førte til at mye utstyr ikke fulgte forutsigbare aldersrelaterte sviktmønstre (Pintelon and Parodi-Herz, 2008, s.29). Forebyggende vedlikehold var derfor ikke lengre like effektiv metode på den typen systemer. Inspeksjoner og tilstandskontroll ble mer vanlig som basis i vedlikeholdet, med forbehold om at det var teknisk mulig og økonomisk lønnsomt.

De vanligste måletypene i CBM er visuell inspeksjon, vibrasjon, prosess parametre, tribologi og termografi.

Pintelon and Parodi-Herz (2008, s.4) vektlegger at prediktivt vedlikehold ikke

bare er **CBM**, men en filosofi og holdning som bruker reelle data fra anlegget til å optimalisere driften. Et komplett prediktivt program vil bruke de mest kostnadseffektive måleteknikkene fra **CBM** til å planlegge vedlikehold etter behov. Statisk data fra tradisjonelt preventivt vedlikehold kan brukes som en pekepinn i utarbeidelsen av programmet. De fleste prediktive program bruker vibrasjonsanalyse som hovedmåling.

En fordel ved et ferdig tilstandsovervåkingssystem er at en kan verifisere at kvaliteten av nye eller reparerte maskiner er i henhold til spesifikasjonene. Etter større vedlikeholdprosjekt kan dette være med på å hindre at dårlige maskiner blir satt tilbake i full drift. Som følge av krav fra industrien leverer mange produsenter av roterende maskiner med referanse vibrasjonssignatur. Denne kan brukes som en sammenligning ved **Site acceptance test (SAT)** (Moble, 1990, s.115).

En enkel illustrasjon på tilstandsbasert vedlikehold er å fylle olje på bilmotoren. Hver gang du fyller noterer du ned ca. hvor mye olje du fylte på. Dersom denne mengde øker en periode vil du se en negativ trend du kan reagere på. Dette vil tilsvare en endring i et måleparameter. Ut fra denne tilstandsendingen kan du gjøre enkle diagnoser på hva feilen kan være. Ved å ha noen visuelle kontroller, som for eksempel se etter oljesøl under bilen, vil en ha mer grunnlag for diagnosen.

2.6 Tilstandsparameter

I følge **ISO 17359:2011 (E)** skal målet med tilstandskontroll være rettet mot å finne den bakenforliggende årsaken til skadetypen. Det vil for eksempel si at det ikke er godt nok å måle at utstyret vibrerer, men at kombinasjonen av måleparametrene på maskinen, og analysene fra de, skal gi en indikasjon på årsaken til avviket.

For å vurdere tilstanden til en maskin eller utstyr må en gå ut fra målte eller observerte verdier og situasjoner av forhåndsdefinerte parametre. Ut fra resultatet, målemetode, plassering og driftsforhold må en så analysere det totale bildet mot referansemålinger utført ved implementering av tilstandssystemet. På tidspunktet for implementering må naturlig nok maskinen være frisk for å få et godt sammenligningsgrunnlag. I **ISO 17359:2011 (E, s.6)** står det at **Lead-time-to-failure (LTF)** er spesielt viktig for valg av målemetode. **LTF** er tiden fra avviksdeteksjon til svikt.

I spørreundersøkelsen, i Vedlegg E, ble respondentene spurt om hva faktorer

som er avgjørende for at de skal bruke et system for tilstandsbasert vedlikehold i deres arbeid. Da svarte 80% brukervennlig og pålitelig, 70% at det må bidra til feilsøking, 60% at det må være nøyaktig og 50% svarte at det må være informativt, kan utføre analyser og må kunne kommunisere med andre IKT-systemer i Lyse.

Oppgaven vil vurdere løsninger basert på punktene under:

1. Evne til å detektere utvikling av degradering før svikt
2. Pålitelighet
 - Må ikke medføre nye feilkilder
3. Nøyaktighet
 - Måleverdier må være nøyaktige og gi rett prediksjon
4. Fleksibilitet
 - Et system for ulikt utstyr
5. Automatisert datainnsamling
 - Må veie mellom automatisk og manuell inspeksjon
6. Automatisert analyse
7. Brukervennlig maskin- og programvare
 - Lett å forstå for brukere og servicepersonell
 - Kreves ekspertkunnskaper eller kan alle bruke det?
 - Presentasjon av informasjon bør være entydig og oversiktlig

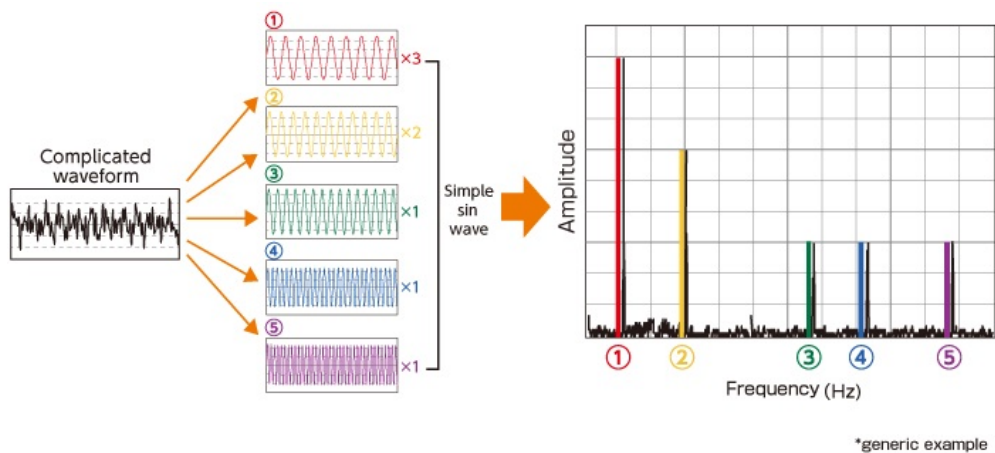
2.6.1 Vibrasjonsanalyse

Vibrasjon i sin enkleste form består i oscillerende eller repetitive bevegelse av et objekt rundt en likevektposisjon (White, 1997, s.9).

I virkeligheten er vibrasjon mer komplisert enn rene sinusformede kurver. Vi har bevegelse i mange ulike frekvenser samtidig i tre plan, X, Y og Z. Måler en vibrasjon og ser på rådataene, til venstre på Figur 2.10, blir en ikke noe klokere. En ser bare vibrasjonsamplituden over tid, men ikke hva som skaper vibrasjonen. Vi kan i dag skille ut frekvensene fra det sammensatte frekvensspekteret, til høyre på Figur 2.10, takket være ingeniøren Jean Baptiste Fourier.

Fourier jobbet for Napoleon under invasjonen av Egypt i år 1798 og fikk som jobb å løse problemet kanonene hadde med overoppheting. Han utviklet Fourier-rekker som løsning. Senere utviklet han rekkene videre til Fourier Integral Transformasjon. Dette ble igjen utviklet videre til Diskrete Fourier Transformasjon og til Fast Fourier Transform (FFT). Æren for oppdagelsen av FFT har blitt gitt til Cooley og Tukey i 1967, selv om den eksisterte før. Men metoden er veldig arbeidskrevende uten datakraft. I dag er ikke datakraft en begrensning og analysen kan implementeres i håndholdte instrumenter eller i

selve sensoren.



Figur 2.10: Fast Fourier Transformasjon (IMV-Co, 2016)

Etter rådataene av det sammensatte frekvensene i tidsdomenet er transformert over til frekvensdomenet, ved hjelp av FFT, starter tolkingen. Bruker vi Figur 2.11 som eksempel ser vi at hver komponent avgir en egen frekvens for en spesifikk type feil. Eksempelvis oppgir lagerprodusentene hvilke frekvenser de ulike lagrene avgir ved vanlige feil. Måles bare vibrasjon i tidsdomenet kan store endringer i et smalt frekvensområde skjules i tidsdomenet som en liten økning i total vibrasjon.

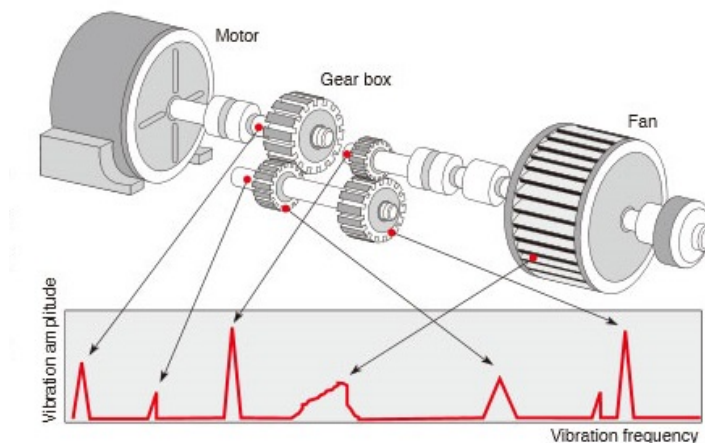
I eksempel som Figur 2.11 ser feilsøking veldig enkelt ut, men vibrasjonsanalyser er ikke et eget fagfelt uten grunn. Selv ikke en ekspert med lang erfaring vil konkludere rett hver gang. Noen av utfordringene med FFT er:

- Feil målefrekvens som kan gi alias-effekt
- Tidsbegrensing i måling kan skape lekkasje
- Diskrete frekvenser i det kalkulerete spekteret kan skape picket fence effect"

Disse og andre svakheter kan motvirkes hvis man er bevisst på deres effekt, og da vil fordelene med FFT overveie svakhetene. Totalt sett er dette kanskje den mest nyttige av alle metodene for roterende utstyr ettersom den kan varsle om mange ulike feil. Kombinerer en den med en annen passende metode vil en få et tydelig signal om hva feilen er (White, 1997, s.62).

2.6.2 Velge vibrasjonssensor

For å beskrive graden av vibrasjon må en først klargjøre hva som kan måles. Vibrasjon følger Newtons andre lov, $F = m \times a$, med forskyvning (displacement), hastighet (velocity) og akselerasjon. Vi ser i formlene under at hastigheten (formel 2.2) har 90 grader faseforskyvning i forhold til forskyvningen (formel



Figur 2.11: FFT analyse i feilsøking (Active-Acoustic, 2016)

2.1). Det betyr at når massen er i sitt midtpunkt er hastigheten maksimal. Ser vi på forholdet mellom akselerasjon (formel 2.3) og forskyvningen så ser vi at de står 180 grader i forhold til hverandre. Det betyr at når forskyvningen er i et ytterpunkt vil akselerasjonen være maksimal, men i motsatt retning. Når en snakker om vinkel menes faseforskyvningen mellom de tenkte sinuskurvene. Med andre ord er fase i realiteten en relativ tidsforskyvning mellom to sinusbølger. 90 graders forskyvning tilsvarer dermed 1/4 periode (White, 1997, s.13).

Et annet viktig punkt vi kan se ut fra formlene er at høy maksimal forskyvning og høy frekvens samtidig er naturstridig. Har en begge de fenomenene samtidig vil kreftene involvert knust utstyret. I formel 2.3 ser vi at forskyvning er ganget med ω^2 . Et praktisk eksempel som illustrerer dette er om du tenker deg at du beveger armen din opp og ned en gang i sekundet, altså 1 Hz. Tenk deg så at du beveger armen opp og ned i 10 Hz eller 100 Hz. Umulig.

$$d = D \sin(\omega t) \quad (2.1)$$

d = momentant forskyvning [mm topp-til-bunn]

D = maksimal forskyvning

$\omega = 2\pi f$ vinkelfrekvens

t = tid

$$v = \frac{dD}{dt} = \omega D \cos(\omega t) \quad (2.2)$$

v = momentan hastighet [mm/s]

$$a = \frac{dv}{dt} = \frac{d^2D}{dt^2} = -\omega^2 D \sin(\omega t) \quad (2.3)$$

a = momentan akselerasjon [mm/s^2]

Så hvordan bruker en denne informasjonen til å velge. Som en ser i Tabell 2.1 eksisterer det sensorer som måler enten forskyvning, hastighet eller akselerasjon. Som følge av egenskapene har de ulike bruksområder. Sensor for forskyvning skaper tydeligere utslag på lave frekvenser på bekostning av høye frekvenser, mens sensor for akselerasjon vil være motsatt. En hastighetssensor vil gi det mest uniforme resultatet av de tre metodene og er derfor den mest brukte for diagnostisering av roterende maskiner.

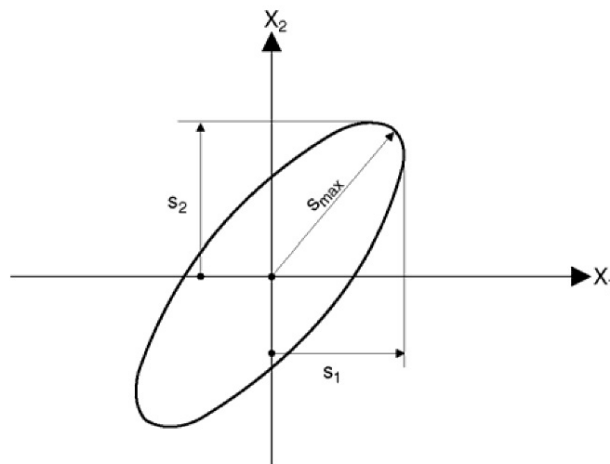
Vibration Transducers	
Name	Sensitiv to
Proximity Probe	Displacement
Velocity Probe	Velocity
Accelerometer	Acceleration

Tabell 2.1: Oversikt over sensortyper for vibrasjon (White, 1997, s.45)

En hastighetssensor (velocity probe) er bygd opp av en bevegelig spole på utsiden av en stasjonær magnet. Den blir permanent montert på utstyret den skal måle og gir fra seg et signal som tilsvarende vibrasjonsutslaget. En ny, og bedre, type hastighetssensor består av et akselerometer med en innebygget elektronisk integrator. Den gamle spolebaserte typen er ikke mye i bruk i dag fordi den har relativt lav utgangsimpedans og er av den grunn følsom for støy.

En annen viktig måling av vibrasjon er S-Max. Denne verdien sier hvor mange μm akslingen beveger seg fra sentrum. Til dette brukes to induktive avstandsmålere montert 90° fra hverandre. De er festet på lagerhuset og verdien vil derfor være relativ til lagerhuset. Sulzer-Pumps (2010, s.138) forklarer at ISO 7919 har flere tilnærminger, men metoden vist på Figur 2.12 illustrerer den enkleste måten å beregne S-Max. Verdien sier noe om tilstanden til lagrene og ubalanse i systemet.

Oppsummert kan en si at en velger sensor ut fra hvilke frekvensspekter vibrasjonene produsert av maskinen ligger innenfor. Er fokuset for målingen lave frekvenser eller avstandsmåling velger en induktiv avstandsmåler. Vil en ha en jevnere signalrespons velger en akselerometer med integrator innebygd, og ved avlesing der de høye frekvensene er viktigst velger en akselerometer.



Figur 2.12: Måling av S-Max (Sulzer-Pumps, 2010, s.138)

2.6.3 Inspeksjon

En skiller vanligvis mellom ren visuell inspeksjon og inspeksjon med **Nondestructive testing (NDT)**-teknikker. En visuell inspeksjon kan være en kontrollrunde i anlegget eller en sjekklister der en ser over alt i detalj og bruker alle sansene. Søl/lekkasjer, ulyd, unormal lukt, høy temperatur i lokalet eller på utstyr etc. Inspeksjon med **NDT** har som mål å kontrollere tilstanden uten å skru opp utstyret. Dette skal hindre negative effekter ved å åpne og spare tid/ressurser. Noe utstyr kan ta skade av å åpnes til stadighet mens andre vil være for krevende å åpne.

Inspeksjoner er en veldig viktig del av alle typer vedlikehold, men spesielt i **CBM**. Å basere **CBM** på målinger alene gir et mye svakere beslutningsgrunnlag og dermed flere dårlige valg. Mennesker som regelmessig ser til et utstyr får en uvurderlig kjennskap til normal tilstand, og kan se degradering før det er målbart.

Et viktig kriterium for å få nytte av både visuell og grundig inspeksjon er å sammenfatte informasjonen fra jobben og legge dette inn i datasystemet. Denne informasjonen vil da settes opp mot måleverdiene fra andre parametre som vibrasjon og temperatur for å gi et helhetlig bilde. **Mobley (2002, s.260)** nevner fallgruver bedrifter ofte går i når eg forsøker å bruke inspeksjon i forbindelse med preventivt vedlikehold. En oppgave han nevner er: "Sjekk om beltet er strammet korrekt". Når utførende montør krysser denne av som "OK" representerer det ingen verdi til senere. Informasjonen må kvantifiseres og metodene må være godt forklart så de kan repeteres. En bedre kontroll vil da være: "Hvor mange Nm er beltet strammet med?"

2.6.4 Prosessparametre

Prosessparametre benyttes daglig i drift av anleggene, men er også veldig nyttig som tilleggsværdi til **CBM**. Prosessparametre kan alene si mye om tilstanden til en maskin og sammen med andre målinger, som f.eks. vibrasjon, så får en et tydeligere bilde. De aller fleste har alarmgrenser slik at operatørene i driftssentralen kan tilkalle vedlikehold eller vakt for å sjekke ut problemet før det går for langt. Dette er et lite steg mot **CBM**, men slike parametre gir vanligvis ikke alarm før det er for sent å planlegge, og regnes derfor ikke som et fullgodt system. For eksempel vil normalt ikke en maskin kunne brukes dersom lageret når høyalarm på temperatur. Det vil kanskje føre til reduserte kostnader ettersom en fikk varsel før det gikk helt galt, men det ender likevel som korrektivt vedlikehold. Slike system er derimot “nesten gratis” ettersom kontrollrommet og styringssystemet uansett må ha verdiene for å regulere anleggene. Under er noen eksempler på ulike prosessparametre som er vanlig:

- Trykk:
 - Smøreolje
 - Kjølevann
 - Vannløp, inn og ut.
- Temperatur:
 - Smøreolje
 - Kjølevann
 - Lager
 - Generator: stator viklinger
- Driftsdata:
 - Strøm
 - Spenning
 - Frekvens
 - Effekt
 - $\cos \phi$: vinkel mellom spenning og strøm
 - Turtall
 - Gjennomstrømning inn til turbin
 - Vinkel på ledeskovler

Tore Markeset, professor ved **Universitetet i Stavanger (UiS)**, forklarte i en samtale at prosessparametre ofte brukes for å kalkulere virkningsgrad for pumper. Dette gjøres ved å sette måleverdiene for trykk, flow og væsketetthet inn i en modell. Temperatur kan også være nødvendig dersom væsketettheten endrer seg mye. En slik løsning ble diskutert for kraftverk med kraftverkssjefen i Lyse, men han sa det ikke var funnet noen praktisk løsning for slike målinger.

2.6.5 Termografi

Termografi kan brukes både som fastmonterte temperaturmålere på overflater eller fleksible håndholdte målerne. De to vanligste typene er punktmåler, som er basert på en laser som måler temperatur i et lite punkt, og IR-kamera, som ligner et kamera og gir en fargeskalabilde utifra temperaturen på overflatene. Punktmåleren er mye billigere og kan enkelt måle temperatur på lagerhus, motor, pumpe og rør.

Et infrarødt kamera er det som flest forbinder med termografering. Dette er mye brukt i gjennomgang av elektriske anlegg og ved søk etter varmelekkasjer i boliger. En stor fordel med denne er at den veldig raskt kan gi informasjon om temperaturen til en hel maskin. Et slikt IR-kamera koster mye mer enn en punktmåler, men er mer effektiv om en er ute etter informasjon til et større område, maskin eller prosess (Moble, 2002, kap.8.2).

Tore Markeset, professor ved UiS, klargjorde fordeler og ulemper med de ulike termografi-typene i en samtale. Ved å måle temperatur med punkt laser på samme sted på en maskin ved faste intervaller gir en objektiv måleverdi. Dette er mer nøyaktig og repeterbar måling. Et bilde tatt med et IR-kamera viser bare en fargeskala som kan være vanskelig å skille et bilde fra et annet. Selv om en tar bilder ved faste intervaller i samme retning fra samme sted så kan det være vanskelig å se om fargeskalaen er endret seg mye eller om området er større eller mindre. Dette er viktig å tenke på når en velger hvor en bruker hvilke av de nevnte metodene.

2.6.6 Oljeanalyse

Smøreolje

Tribologi er læren om gjensidig innvirkning mellom flater i relativ bevegelse; friksjon og slitasje. To teknikker blir normalt brukt i vedlikeholdsprogram: smøreoljeanalyse og slitasjepartikkelanalyse.

Smøreoljeanalyse er brukt for å finne tilstanden til smøreoljer brukt i mekaniske maskiner. Denne analysen sier ingenting om tilstanden til maskinen, men er brukt for å kontrollere at smøreoljen er tilfredsstillende. Dårlig olje vil igjen føre til økt slitasje på maskinkomponenter. Ved å se på mengden partikler i oljen kan en derimot få indikasjon om det er noen form for slitasje innvendig, men ikke hva feilen er. Hovedmålet med oljeanalyser er å spare penger på unødvendig oljebytte i hydraulikk, smøre- eller isoleringsformål. Som en effekt kan det bidra til å redusere lagerkostnader.



(a) Sensor for oljerenhet



(b) Sensor for vanninnhold i olje

Figur 2.13: Sensorer for tilstandsovervåking av olje (IFM, 2016)

Slitasjepartikkelanalyse kan, i motsetning til smøreoljeanalyse, si noe om faktisk slitasje og tilstand i en maskin. Basert på målinger av partikkelstørrelse, overflate, kornform, egenvekt og porøsitet kan mye sies om hva type slitasje som pågår (Bragstad, 2015). Partikkelanalyser kan bidra til å forstå den bakenforliggende årsaken til et havari. Det er to vanlige typer partikkelanalyse i bruk. Den første er spektrografisk analyse som bruker filter til å skille ut de største partiklene, normalt over 10 μm . Større partikler blir ignorert og er en begrensende faktor i denne metoden. Den andre metoden er ferrografi. Den separerer partikler ved hjelp av magnetisme. Dette medfører at ikkemagnetiske metaller som aluminium og kobber ikke blir med i analysen. Dette er et stort minus med metoden ettersom de er myke metaller og er ofte med i mengden.

En avgjørende faktor for oljeanalyser som data til et vedlikeholdsprogram er at prøven er representativ for oljen som sirkulerer i maskinen. Hvor skal prøven tas, og hvordan. En annen avgjørende faktor er at resultatet blir lagt inn i systemet og trendet for hver maskin. På den måten får en verdifull informasjon om tilstandsutviklingen til maskinen (Moble, 2002, kap.9).

Før måtte alle oljeanalyser tas manuelt og sendes inn til selskaper som analyserte oljen med ønsket analyse. Dette er veldig vanlig den dag i dag siden hver prøve ikke koster så mye og et laboratorium kan gi grundig tilbakemelding om oljetilstand. De siste årene har utviklingen innenfor lokale målere ført til svært enkle og nøyaktige kontinuerlige målere. Måleren på Figur 2.13a er eksempel på et instrument som kontinuerlig måler tilsmussing av oljen og vil gi den en trend på utviklingen og varsel ved høye nivåer. Et slikt instrument erstatter ikke oljeanalyser fordi den gir bare signal om renhet. Dette gir ingen informasjon om årsaken bak tilsmussingen. Men en slik måler kan varsle dersom noe skjer mellom målinger og kan forlenge perioden mellom manuelle oljeprøver. Den

vil bidra til å redusere risiko og prøvekostnader.

Transformatorolje

En transformator er fylt med olje som skal sørge for isolering og kjøling. Viklingene frigjør kjemikalier til oljen etterhvert som de eldes. En oljeanalyse sier derfor mye om tilstanden.

Papiret rundt viklingene i transformatorer vil med tiden eldes og avgi stoffer til oljen. [Lundgaard et al. \(2004\)](#) forklarer at papiret består av cellulose, hemicellulose og litt thiolignin. Dette frigjøres med alder. Hvor mye av dette som er igjen i papiret er målt i enheten [Degree of Polymerization \(DP\)](#). Grenseverdiene for DP er fastsatt av [IEC 60450 \(2007\)](#). DP-verdi for ny transformator er ca. 1000-1100. Når DP-verdien er 200 nærmer trafoen seg slutten av livet. Metoden for å måle dette heter Furaneranalyse ([Siemens, 2016](#)).

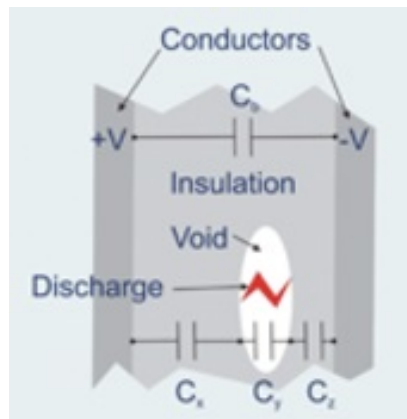
NVE skrev et vedtak til Statnett om å samle inn tilstandsdata fra eierne av alle transformatorer over 30 kV. NVE begrunner vedtaket med at transformatorer er sentrale i kraftsystemet ([Arnesen and NVE, 2012](#)). I sjekklisten står det at oljeanalyser i henhold til NEK 240-1 skal inneholde [Dissolved Gas Analyses \(DGA\)](#) og [General Oil Tests \(GOT\)](#). Begge skal utføres innen 1-6 år. For DGA skal bare en feilkode rapporteres, men for GOT skal følgende rapporteres:

- Vann i isolasjon ved likevekt (beregnes) - Enhet: %
- Nøytralisasjonsverdi - Enhet: mg KOH/g
- Inhibitor, DBPC - Enhet: %

2.6.7 Elektrisk testing

Testing av det elektriske systemet er en viktig del i et hvert anlegg. De vanligste testene er megging og kontroll av motstand og impedans. Tre metoder for kontinuerlig tilstandsovervåking er også forklart i dette kapittelet. Partiell utladninger er små elektriske utladninger i svakheter i isolasjonen. Dette vil på sikt skade isolasjonen og kan oppstå i både viklinger og kabler. For oppgaven er metoden aktuell for generator og transformator. Flux- og luftgapsmåling er forklart også forklart under. Metodene kontrollerer magnetismen og rundheten i rotor.

Ved megging påfører en høyere spenning enn anlegget har ved normal drift ved hjelp av et måleapparat. De vanligste meggerne måler en og en fase og til jord. Resultatet sier hvor godt installasjonen er isolert mot jord. En uendelig verdi er ønskelig.



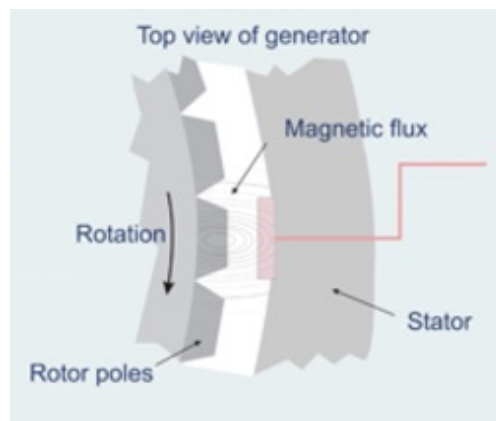
Figur 2.14: Partiell utladning gjennom isolasjon (Brüel&Kjær-Vibro, 2016)

En annen elektrisk måling er resistans. Det går ut på å måle kvaliteten på elektrisk kontakt mellom to punkter i en installasjon. Det brukes for eksempel til å kontrollere kontinuitet i jordingsanlegg. Den siste er impedansmåling. Resistans er en komponent i impedans, men et Ω -meter klarer ikke måle impedansen. Impedans består av en kombinasjon av resistans, kapasitans og induktans. Reaktans er en samlebetegnelse for kapasitans og induktans. En har reaktans i komponenter som kondensatorer og spoler, men kan også oppstå i lange kabler, lys og mye mer (Moble, 2002, s.112).

Partiell utladning

Partial discharge (PD) er ofte en medvirkende komponent i degraderingsmekanismen i elektrisk isolasjonsmateriale (Stone et al., 1996). Partiell utladning er et symptom av de fleste isolasjonsfeil i motorer og generatorer over 4kV. Figur 2.14 viser hvordan svakheter i isolasjonen kan føre til PD. Testresultatene til Stone et al. (1996) viser at viklinger med degradert vinklinsisolasjon har 30 ganger høyere PD enn friske maskiner. Partial discharge analyzer (PDA) kan utføres ved å stoppe maskinen og måle lokalt ved et visst intervall. Ellers kan det installeres for kontinuerlig måling med sensorer i stator. Installerer en sensorer i stator og kobler systemet til styringssystemet med fjernavlesing kan avlesing utføres på minutter. Stone et al. (1996) mener det er så godt som gratis etter installasjonen. Signalene kan ofte varsle om problemer år før en svikt oppstår. Dette gjør at vedlikeholdskoordinatoren kan tilpasse vedlikehold som vasking og omvikling, i tillegg til å tilpasse driften med tanke på last, antall start og effektvariasjon.

PDA ble utviklet i 1976 og var da den første metoden som filtrerte ut ekstern støy. Dette reduserte selskapene sine målekostnader betraktelig fordi det ikke lenger var nødvendig med eksperter for å tolke signalene korrekt. PDA gir dermed en billig og god måte å kontrollere tilstanden til statorviklingene.



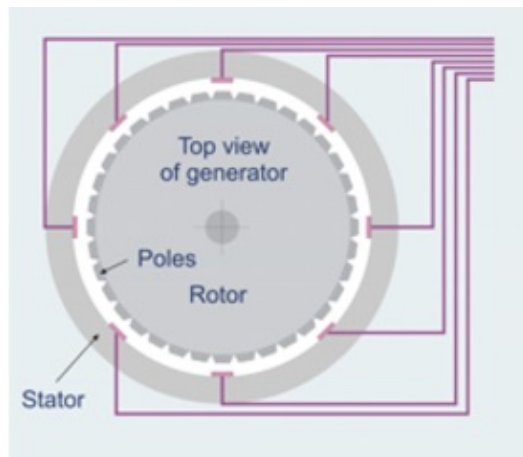
Figur 2.15: Funksjonsillustrasjon av flux-måling (Brüel&Kjær-Vibro, 2016)

PD kan også måles ved hjelp av vekselspenningsmålinger. Metodene for det heter $\tan\delta$ og *Dielectric Loss Analysis (DLA)* og resulterer i en jevnere måling fra maskin til maskin. De krever derimot at maskinen tas ut av drift, hvor PDA måling kontinuerlig under drift. PDA er nøyaktig når en sammenligner verdier fra samme maskin (Eggen, 2005). Det er vanlig å benytte DLA-målinger på generatorer mindre enn 10 MVA, mens $\tan\delta$ -målinger er best egnet for større generatorer.

Flux-måling

Flux-måling er en effektiv måte å måle kortslutning innad i rotorviklingene. Målingen viser hvor stor endringen i fluxtettheten er i luftgapet mellom stator og rotor (Albright, 1971). Viklingene har et visst antall vindinger. Kortslyttes noen av de har den aktuelle viklingen færre effektive vindinger. Dette fører til at den skaper mindre magnetisme. Resultatet er dårligere virkningsgrad i generatoren og store vibrasjoner dersom styrken på magnetismen blir ulik. Figur 2.15 viser hvordan sensor kan plasseres i stator for å måle fluxtettheten. Testen kan utføres både under drift og ved stillstand. Stillstandsmåling er ikke gunstig fordi en risikerer produksjonstap. Albright (1971) konstaterer også at målinger uten drift har liten relasjon med målinger utført under drift som følge av sentrifugalkraften som virker på viklingene. Utføres testen under drift kan en identifisere hvor feilen er og hvor mange vindinger som er kortslyttet i den aktuelle viklingen.

Albright (1971) skriver at målinger av motstand og reaktans har blitt brukt som alternativ målemetode, men at denne metoden har vist seg unøyaktig med en variasjon fra +5% til - 30% fra stillstand til nominelt turtall for maskiner uten feil. Dette er for unøyaktig til å bruke i tilstandskontroll. Et annet negativt punkt ved impedansmåling Albright (1971) trekker frem er at den ikke kan lokalisere feilen. Jobb nummer 4 i Kapittel 5.2.4 viser at Lyse utfører impedansmåling.



Figur 2.16: Sensorplassering ved luftgapsmåling (Brüel&Kjær-Vibro, 2016)

En ingeniør fortalte en anekdote om et norsk kraftverk som hadde utført omfattende vedlikehold, men fikk ikke starte aggregatet igjen. Det startet fint, men stoppet med en gang det ble magnetisert. Alle målingene for rotor og stator viste gode resultater når det ikke gikk. Det viste seg at noen hadde glemt et verktøy inne i rotor som kortsluttet noen vindinger når rotor ble utsatt for sentrifugalkraft. Dette er ikke en veldig sannsynlig situasjon, men gir et tydelig bilde på forskjellen mellom måling ved stillstand og i drift.

Air gap-måling

Luftgapsmåling (air gap) utføres med sensorer montert i stator som illustrert i Figur 2.16. De måler relativ avstand mellom stator og rotor. Pollock and Lyles (1992) skriver at statorhuset i store generatorer ikke er så stive som en forventer. Statorhuset holder aggregatet oppe og fester det til fundamentet gjennom styre- og løftelager. Sammen med lagrene tar det opp kreftene som skapes fra sentrifugale, termiske, vibrasjon, magnetiske, elektriske felt, struktur og geotekniske krefter. Både stator og rotor kan deformeres permanent eller midlertidig av alle kreftene involvert. Ved å kontinuerlig eller intervallbasert måler luftgapet kan en unngå eller redusere risikoen for kontakt mellom stator og rotor under drift.

Luftgapsmåling kan også utføres ved å manuelt måle avstanden mellom stator og rotor. Dette krever åpning av generator og kan gi andre resultater enn hva som måles under drift med alle kreftene involvert.

Pollock and Lyles (1992) viser til Ontario Hydro som fra 1987 hadde luftgapsmåling på 28 av sine 152 generatorer over 10MW. Installasjonen ble utført etter at de hadde 5 situasjoner med kontakt mellom stator og rotor, hvorav

et tilfelle resulterte i full kontakt. Ved mindre kontakt ble det bare mindre skader, men generatoren med full kontakt ble kostnadene 50% av prisen til ny generator og førte til 2 år uten produksjon. Sannsynligheten for slike alvorlige hendelser kan være liten, men konsekvensene kan være store.

3 Metode

Oppgaven er utført som case. En case kombinerer typisk informasjon fra dokumenter, intervjuer, spørreundersøkelser og observasjoner. “Et case-studie er en forskningsmetode som fokuserer på å forstå dynamikken tilstede i en enkel setting” (Eisenhardt, 1989). Undersøkelsene har som mål å bygge forståelse for behov, løsninger og utfordringer for implementering av tilstandsovervåking i et mindre norsk kraftverk. I tillegg til tekniske undersøkelser vil oppgaven søke etter å avdekke hva forutsetninger organisasjonen har for slike løsninger. Med forutsetning menes forhold som kunnskap, holdninger og interesse.

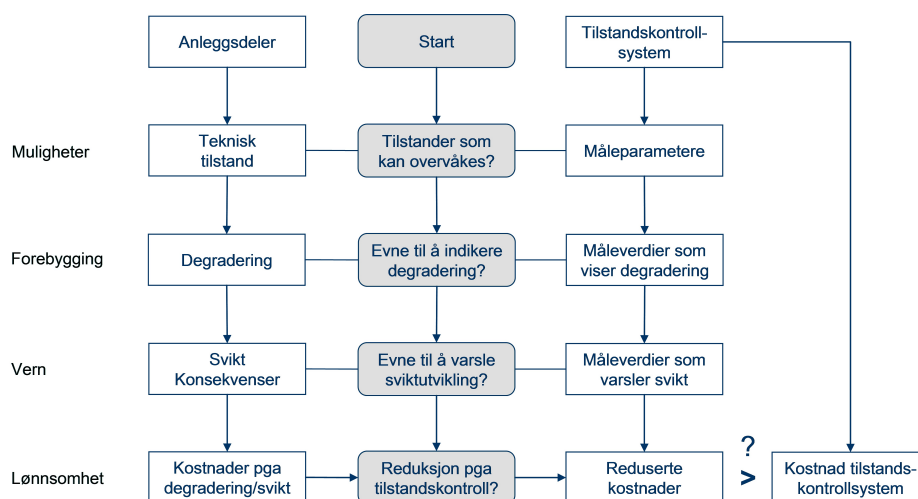
Tilgangen til kvantitativ data var begrenset til driftsdata for Jøssang Kraftverk. Dette er analysert, men byr på et svakt kvantitativt grunnlag. Hovedtyngden i oppgaven er dermed kvalitativ. Flick (2014) skriver at kvalitativ analyse skal brukes når metoden passer forskningsspørsmålet, ved variasjon i perspektiv, når funn krever refleksjon eller når det er ulike fremgangsmåter og forskningsmetoder. Oppgaven er basert på mange ulike kilder; kvalitativ analyse vurderes derfor som nødvendig for å drøfte resultatene. Eisenhardt (1989) skriver at bruk av mindre enn fire caser vil gi svakt empirisk grunnlag. Denne oppgaven vil ikke utvikle en teori, men heller bruke etablert kunnskap og se hvordan dette passer inn i en case.

Solvang and Eggen (2006, s.12) viser hvordan både kvantitativ og kvalitativ analyse kan brukes for å vurdere nytteverdien ved tilstandsovervåking. De kvantifiserer de kvalitative funnene ved hjelp av et karaktersystem. Metoden deres brukes begrenset da kritikalitetsanalyse og økonomiske analyser er utenfor omfanget til oppgaven. Figur 3.1 viser Solvang and Eggen (2006) sin modell for nyttverdivurdering. Mange av de samme trinnene finner en i Tabell 3.1, som viser fremgangsmetoden i ISO 17359:2011 (E). Tabell 3.1 viser trinnvis prosess for å velge og revidere system for tilstandsovervåking, samt utføre tilstandskontroll. En ser i Figur 3.1 at trinn 1, 2 og 3 tilsvarer punkt 5 i Tabell 3.1. Trinn 4 i Figur 3.1 tilsvarer punkt 1 i Tabell 3.1. I denne oppgaven er punkt 2, 4 og 5 i Tabell 3.1 utført, samt delvis punkt 3. Punkt 1 er ikke utført på grunn av manglende tid og data. Punkt 6, 7 og 8 omhandler gjennomføring av selve tilstandskontrollen.

Del 1 av analysen er kvalitative organisatoriske undersøkelser utført for å avdekke hvordan organisasjonen jobber og hvordan kraftverket virker. I tillegg er kvantitativ undersøkelse utført for å kartlegge driftsmønster. Metode brukt for å analysere organisasjonen er samtaler med ansatte, intervjuer og spørreundersøkelse. Organisasjonen analyseres for å se hvordan ansatte ser

Tabell 3.1: Hovedpunktene i Figur 1 i ISO 17359:2011 (E)

Nr.	Trinn	Kommentar
1	Kost/nytte-analyse	
2	Gjennomgang av utstyr	
3	Pålitelighet- og kritikalitetsanalyse	FMECA, vedlikeholdshistorikk diskusjon med ansatte, dokumentasjon
4	Velg passende vedlikeholdsstrategi	Velg korrektiv eller preventivt vedlikehold dersom feiltypen ikke har målbar degraderingsfase
5	Velg målemetode	1. Identifiser måleparametre 2. Velg måleteknikk
6	Innsamling og analyse av data	(bruk av systemet)
7	Bestem vedlikeholdsaktivitet	
8	Vurder prosessen	

**Figur 3.1:** Prinsipiell modell for nytteverdivurdering (Solvang and Eggen, 2006, s.11)

Kilde: Figur 4.1 i SINTEF TR A6225

på tilstandsovervåking, samt deres holdninger og kunnskap om temaet. Dette er viktige suksessfaktorer ved implementering nye arbeidsmetoder. Kotter (1999) skriver at hvis ikke endringene blir en del av “hvordan vi gjør det her” så vil metodene sakte gå tilbake til slik det var før så snart presset fra endringsprosessen forsvinner.

Del 2 av inneholder den tekniske analysen. Modellene i Figur 3.1 og Tabell 3.1 er brukt som utgangspunkt for å undersøke maskinene i kraftverket.

Av trinnene i Tabell 3.1 begynte den tekniske analysen med å se på funksjonene og mulige sviktmekanismer for turbinen, generatoren, transformatoren og lagrene. Målet i denne delen er å identifisere utstyr med degraderingsfaser som kan oppdages en tid før svikt oppstår. Bare parametre som kan indikere

en tilstandsending for disse degraderingsfasene blir drøftet. Håndbøkene og vedlikeholdshistorikk blir undersøkt i denne delen. I tillegg til håndbøkene blir noen studier presentert for konkrete sviktmekanismer. Videre blir planlagt vedlikehold og dagens instrumentering gjennomgått for å avdekke om aktuelle degraderingsmekanismer er under tilfredsstillende overvåking.

Oversikt over arbeidet som er utført:

1. Litteraturstudie er gjennomført for å forstå vedlikeholdsmodellene. En del av studien fokuserer på å fange opp konkrete prosjekter som er gjennomført rundt temaet i Norge. Lyse skaffet noen rapporter, men de fleste er tilgjengelige mot betaling for bedriftsmarkedet og ble således utelatt. I tillegg er en del studier om konkrete tekniske problemer gjennomgått
2. Datainnsamling ved intervju og spørreundersøkelse er benyttet for å undersøke organisasjonen i Lyse
3. Datainnsamling gjennom anleggsdokumentasjon er utført for å få oversikt over den tekniske installasjonen
4. Datainnsamling av driftsdata er gjennomført i Lyse sine dataportaler for å få informasjon om driftsmønster og strømpriser for Jøssang kraftverk
5. Datainnsamling av informasjon om vedlikeholdshistorikk og planlagt vedlikehold er innhentet for å sammenligne med identifisert behov
6. Analyse av kvalitativ og kvantitativ informasjon. Benyttet så teori som sammenligningsgrunnlag for resultatene
7. Basert på resultatene er det dannet en oversikt over organisatoriske og tekniske utfordringer. Det er så presentert grep som kan tas for å bedre situasjonen

Videre analyser må utføres for å kalkulere nytteverdien til løsningsforslagene.

3.1 Valg og beskrivelse av case

Lyse Produksjon ble kontaktet og presentert for case-forslaget. De hadde et relativt nytt vannkraftverk som har hatt litt utfordringer i driften. Jøssang Kraftverk ble med det valgt som passende case for problemstillingen.

Jøssang Kraftverk ligger ved Jørpeland nordøst for Stavanger. Lyse Produksjon AS drifter det og eier 67% av kraftverket. Kraftverket ble offisielt åpnet sommeren 2011. Det er bygget en tilkomsttunnel inn til fjellhallen hvor aggregatet er montert. Det består av et vertikaltmontert aggregat over 4 nivåer med en

Francisturbin i bunn. Lyse har opplevd en del utfall og startproblemer, hvorav mange skyldes gjentakende feil.

3.2 Litteraturstudie

Kildene i litteraturstudiet ble funnet gjennom kanalene: Lyse, Energi Norge, Sintef, IEEE, OFF510 og OFF540 kompendier, Google Scholar, Google Books og Universitetsbiblioteket.

Målet med litteraturstudiet var å bygge på kunnskapen fra fagene OFF510 og OFF540 i teoridelen, skaffe teoretisk sammenligningsgrunnlag for analysen av organisasjonen, samt oversikt over mulige feilkilder og måleparametre i den tekniske analysen. Resultatene fra litteraturanalsen er dermed inkludert i Kapittel 4, 5 og 6.

Sintef og Energi Norge utfører forskningsprogram innen samme temaet, men bare en liten del av litteraturen fra dette har vært tilgjengelig. Oppgaven baseres derfor mye på internasjonal litteratur for industrien generelt og ikke spesifikt for vannkraft.

Lyse gjorde håndbøker tilgjengelig for de ulike komponentene i kraftverket. Disse er utarbeidet av EBL-Kompetanse. Håndbøkene ble studert for å beskrive komponentene og finne feilsymptomer som kan ha relevans for oppgaven. Resultatene fra denne delen er presentert under hver komponent i Kapittel 5.

3.3 Datainnsamling

I dette kapittelet gjennomgås metode for innsamling av ulik informasjon og data. Tabell 3.2 viser en oversikt over kilder og typer data som ble samlet inn. I tabellen er det bare nummer 1 og 2 som er kvantitative. Resten er kvalitativ informasjon. Det blir blant annet presentert metode for gjennomføring av intervjuene og spørreundersøkelsen. I tillegg til intervju og spørreundersøkelse ble informasjon hentet inn gjennom uformelle samtaler.

Oversikt over planlagt vedlikehold og vedlikeholdshistorikk ble hentet ut fra SAP. Teknisk informasjon om anlegget er hentet ut fra dokumentasjon fra leverandøren.

I driftsdataene til Lyse var alle strømprisene i EUR. Strømpriser ble derfor hentet i NOK fra Nord Pool sine nettsider.

Tabell 3.2: Oversikt over data og kilder

Nr.	Type data	Kilde	Kommentar
1	Driftsdata	Intern online excel-ark	Effekt, strømpris, vannverdi
2	Strømpriser	Nord Pool	Strømpriser i NOK
3	Vedlikeholdshistorikk	SAP	2013 - april 2016
4	Planlagt vedlikehold	SAP	2016 - 2026
5	Instrumentering	Dokumentasjon til kraftverk	Laget av Alstom
6	Anleggsbeskrivelse	Dokumentasjon til kraftverk	Laget av Alstom
7	Intervjuer	4 objekter	
8	Spørreundersøkelse	10 respondenter	
9	Samtaler	Ingeniører på kontoret	

3.3.1 Intervjuer

Totalt er det gjennomført fire intervjuer, hvorav tre var med ingeniører og ett med en representant fra avdelingen for produksjonsplanlegging, se Tabell 3.3. Dette gir et noe svakt grunnlag, men vurdert som dekkende tillegg til spørreundersøkelsen. Intervjuobjektene blant ingeniørene ble valgt ut på bakgrunn av deres fagfelt og erfaring. Sammen representerer de hoveddisiplinene for et kraftverk: maskin, elkraft og kontrollsystem. I tillegg er det gjennomført intervju med en produksjonsplanlegger for å få bedre innsikt i hva de vektlegger i planleggingen.

Intervjuene ble utført på kontoret til intervjuobjektet eller i et møterom på Lyse sitt hovedkontor. De tok mellom 1- 1,5 time å gjennomføre og var stort sett basert i form av frie samtaler, men styrt av intervjuguiden. Intervjuene ble gjennomført individuelt for å unngå at de påvirket hverandre. Ingeniørene ble intervjuet i mars og produksjonsplanleggeren i april. Intervjuguidene og referatene er vedlagt i Vedlegg C og D. Spørsmålene i starten av intervjuene var lagt opp som åpne og generelle spørsmål om vedlikehold i Lyse. Mot slutten av intervjuet var spørsmålene mer spisset mot tilstandsovervåking. Noen av spørsmålene var også rettet mot organisering, dokumentasjon, tilgang og IT-systemer. Intervjuobjektene ble informert om anonymitet i starten av intervjuene. Referatene fra intervjuene ble deretter sendt til intervjuobjektet for godkjenning og eventuelle korrigeringer.

Tabell 3.3: Oversikt over intervjuobjekter

Nr.	Rolle	Fagfelt	Intervjuguide
1	Senior ingeniør	Elkraft	Ingeniør
2	Senior ingeniør	Mekanisk	Ingeniør
3	Senior ingeniør	Kontroll- og hjelpeanlegg	Ingeniør
4	Gruppeleder	Produksjonsplanlegging	Produksjonsplanlegging

3.3.2 Spørreundersøkelse

En spørreundersøkelse ble utarbeidet for å nå ut til flere personer og for å spisse innsikten i hva de ansatte i Lyse mener om tilstandsovervåking. Veilederen i Lyse godkjente spørreskjemaet og sendte det ut til hele avdelingen. Det kom inn 10 svar fra ingeniører, teknikere, vedlikeholdsplanleggere og en lærling. De fleste spørsmålene var lagt opp som påstander hvor respondenten kunne svare i fem grader fra “veldig uenig” til “veldig enig”. Spørreskjema ble utarbeidet i Google sin plattform. Resultatet er vedlagt i Vedlegg E.

3.3.3 Data fra Lyse sine IT-systemer

Via systemtilgangen i Lyse var det mulig å hente ut detaljert data om driften tilbake til 2013. Dataene ble hentet ut fra et internt Excel-dokument som gav timesverdier for effekt, strømpris og vannverdi. Enkle statistiske analyser er utført og presentert i Kapittel 4.5: [Produksjon](#).

SAP er et dataprogram som kan tilpasses mange ulike fagområder. Den delen av programmet som er benyttet i oppgaven blir brukt av Lyse for å rapportere driftsfeil og alarmer, føre vedlikeholdshistorikk og automatisk generere preventive vedlikeholdsordrer. Både rapporthistorikk, vedlikeholdshistorikk og planlagt vedlikehold er eksportert til Excel for så å bli sortert basert på teknisk lokasjon for komponentene oppgaven omfatter. Resultatene av denne undersøkelsen er presentert under de respektive komponentene i Kapittel 5.

3.4 Begrensninger

Det ble bare utført tre intervjuer i avdelingen for kraftverk i Lyse Produksjon. Dette er en annen avdeling enn produksjonsplanlegging. For å forsterke dataene ble det utført en spørreundersøkelse med spørsmål rettet mer mot tilstandsovervåking enn intervjuene. På denne svarte 10 personer, noe som tilsvarer 33% av avdelingen for kraftverk. Det er ikke snakket med noen fagarbeidere, men ingeniørene som ble intervjuet er regelmessig ute i feltet.

Den tekniske analysen hadde vært betydelig sterkere dersom det hadde foreligget kritikalitetsanalyse for kraftverket. Dette anbefales derfor i etterkant av oppgaven. Økonomiske analyser er heller ikke utført. Kvantitative analyser er en viktig del av vurderingen av nytteverdi, men mange faktorer er vanskelig å sette en verdi på. Dette viste [Solvang and Eggen \(2006\)](#) ved å belyse fordeler som ikke er lett å kvantifisere. Kvalitativ analyse er derfor en viktig del av det totale bildet.

Håndbøkene er gjennomgått i pdf-format og ikke merket med tid for utgivelse eller forfatter. De er bare merket med EBL-Kompetanse. Alder på denne informasjonen er dermed usikker. Ved er Google-søk ble Word-filen til ene håndboken funnet. Den var registrert med Arnt Ove Eggen som forfatter og 11.02.2005 som siste redigeringsdato. Går derfor ut fra denne informasjonen i referansene. Kraftverksmaskinene har ikke endret seg nevneverdig på lang tid og beskrivelsene av komponentene virket korrekte i håndbøkene. Måleteknikkene blir derimot stadig bedre og billigere, men håndbøkene foreslår bare tradisjonelle måleteknikker. Med håndbøkene som hovedkilde er det derfor en begrensning at disse ikke diskuterer alle løsninger. Oppgaven viser derfor til studier der andre metoder er tilgjengelig.

4 Analyse del 1: Organisasjon og drift

Dette kapitlet vil presentere hvordan organisasjonen rundt Jøssang Kraftverk er bygd opp og hvordan de jobber. Kraftverket sin oppbygning, virkemåte og driftsmønster vil også undersøkes her. Dette vil svare på delmål 1 i oppgaven og har som formål å identifisere andre utfordringer enn de tekniske. Drøfting mot teknisk analyse i Kapittel 5 gjøres i Kapittel 6: **Resultat og diskusjon**.

Innhold i Kapittel 4

Underkapitler	Side
4.1 Organisasjonen	41
4.2 Arbeidsmetode	44
4.3 Jørpeland Kraft AS	48
4.4 Oppbygging	49
4.5 Produksjon	52

4.1 Organisasjonen

Lyse Energi AS ble stiftet 17. juni 1998 og er eid av 16 kommuner i Rogaland. Selskapet ble dannet av en sammenslåing av flere kraftselskaper i regionen, hvorav noen har over 100 år historie bak seg (Lyse, 2016a). Selskapet heter i dag Lyse AS. Selv om det startet som et rent kraftselskap kom hele 31% av driftsresultatet i 2015 fra telekom (Lyse, 2016b). Dette skyldes deres mange vellykkede satsinger siden 2001, som utbygging av fibernett, Altibox og det siste tilskuddet: Smartly. Dette viser at Lyse er innovative og villige til å omstille seg.

Lyse Produksjon AS er den delen i Lyse AS som eier og drifter kraftverkene. Det jobber 63 personer i denne organisasjonen, hvorav 30 jobber direkte med kraftverk. Resten jobber innenfor produksjonsplanlegging, økonomi, vassdrag, marked, analyse og prosjekter. Samtaler med ingeniører, intervjuer og spørreskjemaet viser at organisasjonen er liten nok til at informasjon flyter bra uten avanserte systemer.

Produksjonsplanlegging

Avdelingen som planlegger produksjonen i Lyse heter "Økonomisk Drift". Deres mål er å maksimere verdiskapningen fra vannet i fjellet. Dette er en svært kompleks problemstilling hvor en må ta hensyn til alt fra tilstanden til kraftverkene til værmeldingen. I 2015 oppnådde de en gjennomsnittspris på 19,97 øre/kWt ved produksjon av Jøssang mot gjennomsnittlig årspris i Nord Pool på 17,66 øre/kWt. Se Figur A.1 i Vedlegg A.

For å øke verdiskapingen kjører de kraftverkene når prisen er høy og sparer på vannet når prisen er lav. Men ved kraftverk som Jøssang er det liten mulighet for lagring av mye vann på grunn av restriksjonene beskrevet i Kapittel 4.3. Mer om hva de legger til grunn for produksjonsplanen blir presentert i Kapittel 4.5.

Vedlikeholdsavdeling

Vedlikeholdsavdelingen består av energimontører, teknikere og ingeniører. Montørene og teknikerne er de som utfører det meste av arbeidet, men en del ingeniører bidrar også ute i feltet. Andre ingeniører jobber i prosjekter eller som vedlikeholdsplanleggere. Lyse har fordelt vedlikeholdsansvaret for kraftverkene mellom to lokasjoner. Fordelingen er basert på hvor kraftverkene ligger i forhold avstand og reisetid. Utenfor arbeidstid er det vaktordning som rykker ut dersom driftssentralen oppdager noe uvanlig.

Driftssentralen

Driftssentralen har lokasjon i Sandnes og styrer alle kraftverkene i henhold til produksjonsplanen. Personell som jobber der er stort sett ingeniører og detaljnivået på alarmene er derfor høyere enn kontrollrom med personell som ikke har relevant faglig erfaring. Dette hjelper de å få en tidlig forståelse for situasjoner som oppstår og kan være nyttig for vaktpersonell og ingeniører som tar aksjon. Normalt blir kraftverkene kjørt automatisk basert på settpunkt i effektproduksjon. Jøssang er forsynt med vann fra Dalavatn. Dalavatn får vannet sitt fra nedbørsfeltet rundt vannet og fra Liarvatn og Svortingsvatn. Liarvatn får vann fra Langavatn i tillegg til nedbørsfeltet. Vannene har ulik tillatt reguleringshøyde og ulikt tilsig. En del av operatøren sin jobb er å justere vannforbruket fra de ulike vannene ved hjelp av luker i dammene.

4.1.1 Holdning og kultur

Den delen av organisasjonen som har blitt kontaktet virker positive til tilstandsbasert vedlikehold så lenge det er et reelt behov. Alle forventer at det vil komme mer datastyring med årene. Riktignok er samtaler, intervjuer og spørreundersøkelsen basert på en liten del av organisasjonen. Ingen av personellet ute i feltet er snakket med eller intervjuet, men en tekniker og en lærling har svart på spørreundersøkelsen. En kan på generell basis si at organisasjoner som har jobbet etter en metode over mange år vil trenge mye informasjon, kursing og motivasjon fra ledelsen for å gjennomgå en kulturendring. Det første Mobley (2002, s.10) mener en må gjøre er å få ledelsen til å forstå at prediktivt vedlikehold ikke bare er en måte å forhindre havari. Denne tankegangen må jobbes inn i resten av organisasjonen. Han skriver at mange bruker måleteknologiene på en begrensende måte. De ser på isolerte

hendelser og verdier uten å tenke på hvordan dette påvirker helheten i systemet, eller bakenforliggende årsak til hendelsen. **Kotter (1999)** presenterer en metode på 8 trinn for å endre kulturen til en organisasjon:

1. Etablere en følelse av nødvendighet
2. Danne en sterk endringskoalisjon
3. Skape en visjon for endring
4. Formidle visjonen
5. Gi ansatte makt til å handle i tråd med visjonen
6. Planlegge og synliggjøre tidlig suksess
7. Konsolidere endringene slik at de utløser end flere forandringer
8. Institusjonalisere de nye holdningene

I intervjuene kom det frem at et viktig punkt ved tilstandsbasert vedlikehold er at systemet må være enkelt og ikke ressurskrevende. Det opplyses om at de gamle arbeiderne ute i feltet er de som yter mest motstand mot utprøving av nye ideer. Arbeiderne ser også ut til å være litt skeptiske til SAP. Dette kan føre til mindre bruk av programmet og resultere i dårligere historisk grunnlag. De eldste ingeniørene ser ut til å være mer fornøgd med dagens situasjon. En sa han syntes alt fungerte veldig bra, men la til at det kan være fordi han hadde jobbet der så lenge at han vet hvor han kan finne informasjonen han trenger. Samtlige av personene som har vært kontaktet viser et sunt forhold til økonomisk nytteverdi. De vil ha gode løsninger som er lønnsomme. De føler også at de har støtte og forståelse fra ledelsen. Et annet positivt punkt er at 50% av respondentene i spørreundersøkelsen, i Vedlegg E, er litt enig og 40% er veldig enig i at de ønsker å lære mer om tilstandsovervåking. De fleste mener også at det er behov for kompetanseheving innen feltet.

Et problem som ser ut til å gå igjen i organisasjonene er dårlig beskrivelse i SAP. Dårligst er beskrivelse av hva som førte til hendelsen og hva som ble gjort for å bedre situasjonen. Dette gjelder ikke i så stor grad rapportene som driftsentralen legger inn i SAP. Det siste året har disse vært greit forklart med klokkeslett og kopi av alarmtekst. Vaktpersonell som rykker ut har store mangler når det gjelder å registrere årsak og hva de har rettet opp i. Dette ser ut til å ha bedret seg noe i midten av 2015, men det er langt igjen før en kan regne tekstene som god historikk for utstyret. Fra starten av 2013 til mars 2015 er det registrert 46 alvorlige hendelser i SAP for Jøssang hvorav 26 ikke var mulig å forstå. Flere av jobbene er avsluttet av planleggeren med teksten: "Går ut ifra at dette er i orden nå". Det kan være forståelig at personer som rykket ut midt på nattet vil hjem igjen. Derfor er et raskt og enkelt system viktig for å sikre informasjonsflyt.

4.2 Arbeidsmetode

Programmet for vedlikeholdet baserer seg på håndbøker og anbefalinger fra produsentene. Dette vurderes mot Lyse sine egne erfaringer og kapasiteter. Vedlegg B viser et utdrag fra Beredskapsforskriften. Jøssang har over 25 MW generator og klassifiseres derfor som Klasse 1 av §5-2 i forskriften. Blant annet står det i §5-3 at alle klassifiserte anlegg utføres, sikres og driftes slik at risiko for skade, havari og funksjonssvikt blir minst mulig. Og i §5-4 står det at skader og funksjonstap skal oppdages i rimelig tid (OED, 2012). Dette er uklare krav og et hvert systematisk vedlikeholdsprogram vil trolig overholde forskriftens krav. Eggen (2005) har utarbeidet håndbøkene som skaper basis for programmet og er gjennomgått i Kapittel 5. Lyse bruker ikke de anbefalte måleprogrammene i håndbøkene slavisk, men vurderer hva som er aktuelt for dem. I håndboken anbefales også bruk av et karaktersystem for å vurdere tilstand ved kontroller og inspeksjoner. Håndbøkene presenterer tabeller med eksempler på hvilke kriterier som skal ligge til grunn for hver enkel feiltype. Dette er en god metode for å kvantifisere informasjonen, men blir ikke brukt av Lyse.

SAP er et dataprogram for informasjon, rapportering, arbeidsplanlegging og vedlikeholdshistorikk. SAP genereres automatisk alle kontrollrunder og forebyggende vedlikehold basert på oppsatt tidsintervall. Ofte er intervallet halvårlig, årlig osv. Jobbene slippes så av vedlikeholdsplanleggerne på et gunstig tidspunkt de har kommet frem til i samarbeid med produksjonsplanleggerne.

Lyse har fire metoder som kan oppdage avvik eller svikt. Det er alarmer som varsler kritiske nivå i driftsentralen, målinger som fører til tripp, kontrollrunder og vedlikeholdsjobber der en kan sanse eller måle avvik, og til slutt en mer grundig undersøkelse ved revisjon der en bruker ulike målemetoder for å kontrollere tilstanden. Får driftsentralen inn et viktig forvarsel eller tripp kaller de inn fungerende vakt til å feilsøke. Lyse sine rutiner for kontroll av de ulike komponentene er gjennomgått i Kapittel 5.

Spørreundersøkelsen, i Vedlegg E, viser at respondentene synes vedlikeholdet er bra og at arbeiderne har kunnskap om oppgavene sine. Men mange synes også at det forebyggende vedlikeholdet er for omfattende og dårlig tilpasset utstyret. På spørsmålet om de tror tilstandsovervåking kunne oppdaget mange feil, stiller de seg nøytral til litt enig. Ingen er negative, men heller ikke veldig enig. 70% er likevel litt enig i at tilstandsmålinger kan erstatte en del av dagens rutinearbeid. Samtidig er det overvekt av enighet rundt at det er vanskelig å finne dokumentasjon og finne og analysere driftsdata. 90% er litt eller veldig enig i at informasjon om tilstanden til et kraftverk er nyttig i deres daglige

arbeid. Respondentene er litt delt i synet på hvor tungvint datasytem for tilstandskontroll er, men hele 60% ville brukt og registrert tilstandsinformasjon dersom det var tilgjengelig på mobil eller nettbrett. Inntrykket deres er ikke at tilstandsovervåking vil skape ekstraarbeid for de eller føre til nedbemanning. De fleste er uenige i at Lyse ikke trenger mer tilstandskontroll og det er stor enighet om at det vil komme mer tilstandskontroll i industrien i fremtiden. Hele 90% mener, basert på erfaring, at tilstandsovervåking har nytteverdi på generator og 70% mener det har nytteverdi for turbin og transformator. I spørsmålet om hva potensielle nytteverdier de trodde var viktigst for Lyse svart 80% økt levetidsutnyttelse og 50% svarte økt tilgjengelighet, produksjonseffektivitet og redusert vedlikehold. Miljøbelastning, personsikkerhet, vanntap og omdømme fikk ikke så mange stemmer. Dette kan skyldes at vannkraft ikke blir sett på som skadelig for hverken personer eller miljø.

4.2.1 Rutinearbeid og forebyggende vedlikehold

På grunn av manglende tekster i arbeidsbeskrivelsene så er det utfordrende å kartlegge omfanget av preventivt vedlikehold i Lyse. Planlagt vedlikehold mellom 2016-2026 blir gjennomgått for turbin, generator, generatorlagrene og transformatoren i Kapittel 5. Rengjøring og utskiftning av olje og filter er eksempel på normale preventive operasjoner. Et eksempel som kom frem i et intervju er at løpehjulet i store kraftverk pusses og slipes omtrent annethvert år og sveises ved behov. Dette reduserer utviklingen av skader og øker virkningsgraden.

Enkelte ingeniører har sagt at Lyse sitt valg om å generalisere alt forbyggende vedlikehold har ført til lite tilpassede arbeidsoppgaver. Med det menes at ingen kraftverk er like og trenger dermed ulike kontrollpunkter for samme kontrollrunde. Samme personen la til at dette er noe Lyse prøver å forbedre.

Lyse har bevisst valgt å ikke beskrive rutinejobbene for den utførende fagmann fordi de forventer at deres arbeidere vet hva som skal gjøres eller er i stand til å tilegne seg den kunnskapen. Dette er en tillitserklæring som kan ha en motiverende effekt på mange (Kotter, 1999, s.60). Men dersom et komplett prediktivt vedlikehold skal implementeres, der *all* informasjon blir inkludert, må rutinejobber beskrives. Kapittel 2.6.3 viser at all inspeksjon må gjøres repeterbar og kvantifiserbar for å kunne sette en numerisk sammenlignbar verdi på den. Dette gjør det lettere å følge utviklingen over tid. Skal en måling være repeterbar må den også beskrives. Med et begrenset antall arbeidere kan en oppnå konsistens i verdiene, men det må tas hensyn til at personell skiftes ut ved jevne mellomrom. For at rutinearbeid skal være kvantifiserbart må det resultere i en

avlesning av et instrument eller settes en verdi ved hjelp av et karaktersystem med tydelige krav for hvert nivå.

4.2.2 Revisjoner

En revisjon er en samling av vedlikeholdsjobber som blir utført samtidig. Mange jobber krever at anlegget stoppes. Disse blir samlet for å redusere utetiden til kraftverket. Det blir gjennomført mange aktiviteter der kritiske komponenter enten blir overhalt, kontrollert eller målt. I slike prosjekter blir både preventive og prediktive aktiviteter utført, som målinger, inspeksjoner, smøring og rengjøring. **OBM** metodikk kan også brukes i tiden før en revisjon. **OBM** er en metode der man venter med å reparere et utstyr til et passende tidspunkt. Dette krever at det ikke er viktig å få utstyret i drift igjen.

Mange av jobbene med vibrasjonsanalyser og **NDT** resulterer i rapporter i papirformat. Disse arkiveres på Lyse sitt kontor på Mariero. Dette kan være en hindring for å bruke informasjonen videre til å lære av historikken. En planlegger forklarte at enkelte målingerresultater skal sendes til han etter utført måling. Han skal så manuelt registrere disse i SAP for å ha digital målehistorikk. Det var langt fra hver gang han fikk tilsendt resultatene. Det er bra denne personen gjør et forsøk på å føre historikk, men systemet er tungvindt.

4.2.3 Planlagte operasjoner 2016-2026

Jobbene for hver enkelt maskin blir gjennomgått i Kapittel 5. Se Tabell A.1 i Vedlegg A for oversikt over de ulike typene av jobber.

Ved å sortere de aktuelle jobbene i Tabell 4.1 basert på antall timer finner en hvilke intervaller som er mest vanlig for turbin, generator, lager og transformator. Dette vises i Tabell 4.2. En ser at 12 måneder er det vanligste intervallet for arbeid i kraftstasjonen. Det er planlagt 60 jobber med 420 timer hver 12 måned. Dette er trolig som følge av den årlige revisjonen de utfører på kraftverket. Av de 420 planlagte timene er bare 31 direkte rettet mot hovedkomponentene i denne oppgaven. Med tanke på gjennomgangen av de ulike jobbene i Kapittel 5 og informasjon fra samtaler og intervjuer med ingeniører, så er det vanskelig å forstå hvordan alt arbeidet de har sagt de utfører skal utføres på 31 timer.

Det presiseres at alle duplikater er fjernet fra tabellene. De vil altså ikke bare bruke 94 timer på komponentene i løpet av 10 år. 94 timer er summen av timene for de unike jobbene. Siste kolonne i Tabell 4.2 viser at det totalt er planlagt 56 timer i snitt hvert år innenfor oppgavefokus. Det vil si at det planlegges å bruke 560 arbeidstimer på hovedkomponentene mellom 2016-2026. Ellers ser

4 : Analyse del 1: Organisasjon og drift

en at 72% av alle arbeidstimene de planlegger for generator, turbin, lagrene og transformatoren enten er 12 eller 24 måneders jobber. Siden jobbene de planlegger for maskinene har relativt kort intervall kan en anta at Lyse vurderer utstyret som viktig.

Det som er gjennomgående i alle jobbeskrivelsene er en veldig kort jobbttekst. Dette ble diskutert i Kapittel 4.2.1. Dette gjør det vanskelig å vurdere kvalitet og innhold i aktivitetene. Det tas derfor utgangspunkt, basert på samtaler og intervjuer, at fagpersonell som utfører jobbene har god kjennskap til innholdet.

Tabell 4.1: Arbeidsordrer mellom 2016-2026. Sortert etter intervall

Intervall [måneder]	Alle		Relevante ^a	
	Antall jobber	Sum timer ^b	Antall jobber	Sum timer ^b
1	1	2	-	-
2	1	3	-	-
3	1	5	-	-
6	11	29	2	1
12	60	420	13	31
24	15	81	6	37
48	7	34	3	11
60	33	224	2	5
72	9	12	-	-
96	2	2	2	2
120	8	63	1	8
144	16	118	-	-
Sum:	167	996	29	94

Tabell 4.2: Arbeidsordrer mellom 2016-2026. Sortert etter antall planlagte timer

Intervall [måneder]	Relevante ^a			
	Antall jobber	Sum timer ^b	Snitt timer per jobb	Timer per år ^c
12	13,0	31,0	2,4	31,00
24	6,0	36,6	6,1	18,30
48	3,0	11,2	3,7	2,80
6	2,0	1,0	0,5	2,00
60	2,0	4,5	2,3	0,90
96	2,0	1,5	0,8	0,19
120	1,0	8,0	8,0	0,80
1	-	-	-	-
2	-	-	-	-
3	-	-	-	-
72	-	-	-	-
144	-	-	-	-
Sum:	29	94	3.2^d	56

^a Med relevant menes i forhold til oppgavefokus. Dvs: turbin, generator, lager og transformator

^b Summen av planlagte timer for jobbene

^c Timetall justert for intervall

^d Gjennomsnitt, ikke sum

Kilde: Vedlikeholdsplan i SAP hos Lyse



Figur 4.1: Maskinhallen i Jøssang kraftverk rett før ferdigstilling (Bygg.no, 2013)

4.3 Jørpeland Kraft AS

Kraftverket Jørpeland 2 ble satt i drift i 1920 og erstattet da et kraftverk fra 1912. Det nye kraftverket hadde 3 turbiner som utnyttet et fall på 182,5 meter (Storheil, 2016; Egeland, 2012; Lyse, 2015).

I 2006 ble planene om en omfattende ombygging godkjent av Olje- og energidepartementet (OED) (Konow, 2012). Den nye konsesjonen omfattet bygging av et nytt kraftverk rett ved Jørpeland 2, samt et større kraftverk inne i fjellet ved Jøssang, øst for Jørpeland. Det nye kraftverket ved Jørpeland 2 er kalt Dalen 1. Det har et fall på 181 meter, slukeevne på $3,5 \text{ m}^3/\text{s}$ og en energiekvivalent på $0,389 \text{ kWh}/\text{m}^3$. Jøssang kraftverk henter vannet sitt oppstrøms for Dalen 1 og har et fall på 281 meter, slukeevne på $13 \text{ m}^3/\text{s}$ og en energiekvivalent på $0,726 \text{ kWh}/\text{m}^3$. En ser at Jøssang kan produsere 86,6% mer energi for hver m^3 vann. Grunnet strenge krav til minstevannføring i elven gjennom Jørpeland og bare litt over en meter tillatt regulering i Dalavatn, kan ikke Jøssang produsere hele tiden. Jøssang har en francisturbin på 34 MW (NVE, 2010).

Kraftverkene ble offisielt åpnet 16.06.2011 under selskapet Jørpeland Kraft AS. Samlet årlig produksjon gikk fra 38 GWt til 115 GWt. Sammenlignet med Lyse sin totale produksjon i 2015 på 6500 GWt står Jørpeland Kraft for bare 1,77% (Lyse, 2016b). Magasinene er på 23 millioner m^3 totalt med et nedbørfelt på $74,2 \text{ km}^2$. Investeringen kom på 430 millioner kroner, noe som tilsvarer en kostnad på rundt 40 øre/kWt (Aadland, 2009). Dette er ikke lengre regnet som en lønnsom

investering og ville trolig ikke blitt bygget i dag ettersom gjennomsnittlig **spotpris** for Kristiansandområdet i **Nord Pool** var 17,66 øre/kWt i 2015 (Nord-Pool, 2016).

Lyse eier 2/3 av kraftverket gjennom selskapet Jørpeland Kraft AS. Resten er eid av det tyske investeringsfondet Aquila Capital (Løvland, 2015). Ved at en privat eier ikke har større eierandel enn 1/3 vil ikke de nye reglene for hjemfallsrett gjelde Jøssang Kraftverk (Regjeringen-Stoltenberg-II, 2007). Lyse står for den daglige driften av kraftverket.

4.4 Oppbygging

Jøssang Kraftverk er bygd opp av et vertikalt montert aggregat som strekket over fire plan i høyden. Generatoren er montert på toppen av akslingen og Francisturbinen i bunn (se Figur 4.2). På nederste plan kommer vannet inn gjennom kuleventilen og inn i spiraltrommen som fører vannet rundt Francisturbinen. Vannet går så inn mot senter, gjennom turbinen og ned gjennom sugerøret. Utløpet fra turbinen ligger omtrent 4 meter under havnivå. På nivå to står hydraulikkpumpene, pumpe for trykkoljeavlastning, oljekjølere og vedlikeholdstilkomst til toppen av turbinen. På nivå tre er generatoren, trafoer, lavspenningstavle og nødstrøm. På fjerde plan er toppstyringslageret¹, stasjonskontrollrom, delelager, verksted og hovedinngang. Noen meter over fjerde nivå er kjølevannbassenget. Fra inngangen til maskinhallen på fjerde plan er det en ferdselstunnel på rundt 550 meter før en kommer ut i friluft ved Botnsfjorden.

Mellom Francisturbinen og spiraltrommen er det justerbare ledeskovler som justerer mengde og vinkel på vannet inn på turbinhjulet (se Figur 2.5a). På toppen av ledeskovlene er det montert en styrearm som er koblet til en felles justeringsring. Gjennom justeringsringen og styrearmen til hver ledeskovle går det en bolt med innlagt svakt punkt og en innebygd elektrisk bryter. Denne skal knekke og stoppe aggregatet dersom ledeskovlene blir påført for stor kraft. Den felles justeringsringen er hydraulisk styrt og justerer på den måten vinkelen på alle ledeskovlene samtidig. I toppen av turbinhuset ligger turbinlageret. Dette er vannkjølt og vannsmurt fra samme vannet som driver turbinen. Både filter og ventil for dette vannet er dublert og ventilene er styrt av hydraulikkanlegget. Hvilke filter som er i bruk blir automatisk byttet etter et antall driftstimer. Det er installert målere for å måle forskjellen mellom lagertemperatur og kjølevannstemperatur.

Det er tre styrelagre på aggregatet. Et er som nevnt montert i toppen av

¹Et styrelager skal sørge for at aksling og maskiner holder seg i massesenter



Figur 4.2: Bilde av aksling mellom turbin i bunn og generator i toppen ved Jøssang

Kilde: Foto fra anleggsbesøk

turbinhuset, de to andre lagrene er montert over og under generatoren. Lageret over generatoren er kombinert styrelager og løftelager. Under generatoren sitter et styrelager. Begge disse er oljesmurt med vannkjøling. Vannkjølingen er ekstern for å redusere risikoen for vannlekkasje i lagrene. Løftelageret har vinklede glideflater med dreieretningen. Ved nominelt turtall fører dette til at lageret løfter maskinen ved at det skapes en oljefilm mellom øvre og nedre glideflater. Da kan kraftverket gå uten nevneverdig lagerslitasje. Ved oppstart og stopp er det ikke tilstrekkelig turtall til å skape sterk nok oljefilm til å separere lagerflatene. Uten tiltak ville dette ført til stor slitasje ved hver start og stopp. Her kommer pumpen for trykkoljeavlastning inn. Pumpen starter før hver stopp- eller startprosedyre og kjøres helt til maskinen står i ro eller turtall er over 90%. Pumpen øker trykket inne i lageret og løfter slitebeleggene fra hverandre slik at de kan rotere friksjonfritt.

Alle lagrene er utstyrt med temperaturmålere og to typer vibrasjonsmåling: akselerometer og avstandmålere som måler S-Max. Se kapittel 2.6.1 og 2.6.2 for mer informasjon om vibrasjonsmåling. Avstandsmålerne kan kobles til en modul som viser akslingen sin orbitale bevegelse, men Lyse har valgt å ikke installere den modulen. Vibrasjons- og temperatursensorene er koblet opp til kontrollsystemet og viser RMS verdien til vibrasjonshastigheten, S-Max og temperatur i driftsentralen. For å utføre vibrasjonsanalyse må en koble seg på sensorene lokalt.

Generatoren står montert i generatorgrava på nivå tre. Dette er et eget rom som sørger for at det ikke kommer så mye støv til. Generatoren er luftkjølt gjennom vannkjølte varmevekslere som er montert på utsiden av generatorhuset. Det er luftspor i både stator og rotor som fører til innvendig luftsirkulasjon. Generator har temperaturmålere på kjølevannet, stator og i viklingene. Rotor er forsynt med støm via kullstifter over øvre styrelager. Lagrene på generatoren er isolert for å hindre strømgang gjennom lagerflatene. Rotorstrøm gjennom et lager kan raskt ødelegge lagerflatene og føre til havari. Jøssang er derfor utstyrt med rotorjordstrømsvern. Tilsmussing av rotor og statorviklinger har lenge vært et problem for generatorer. Det kan føre til kryptstrømmer i viklinger som ikke har perfekt isolasjon og kan føre til lagerstrøm. Ekstern støv, børstestøv og oljedamp er vanlige kilder til innvendig tilsmussing av generatorer. Generatoren i Jøssang er derfor montert i et eget rom for å redusere utvendig støv, utstyrt børstekammeret med støvavsug og oljedampavsug for lagrene. Når aggregat ikke er i bruk varmes generatoren av et termostatstyrt varmeelement for å hindre kondensering og inntrengning av fuktighet.

Tabell 4.3: Hovedkomponentene i Jøssang Kraftverk

Nr.	Hovedkomponent
1	Damanlegg
2	Vannvei
3	Kuleventil
4	Turbin
5	Sugerør
6	Generator
7	Effektbryter
8	Trafo

Generatoren produserer 11kV spenning og er koblet elektrisk til transformatoren via en effektbryter; 11G1E. Transformatoren er plassert i et eget rom i fjellet på grunn av brannfaren. Transformatoren har 13 tonn trafoolje for isolasjon og kjøling av viklingene. Trafooljen er ekstern vannkjølt. Transformatoren transformerer spenningen fra 11kV til 132kV. Energien føres så i kabel gjennom fjellet opp til en koblingsstasjon på bakkenivå. Der står effektbryteren 132T1AE, som synkroniserer kraftverket mot regionalnettet.

Hydraulikkanlegget består av to separate systemer med to motorer og trykkmålere. Når kraftverket er under produksjon går en av pumpene hele tiden med nummer to i reserve. Pumpen som ikke går blir startet automatisk ved trykkfall. Under åpning av kuleventilen vil begge gå uavhengig av trykk. Når aggregatet står vil hovedpumpen starte ved trykkfall. Hydraulikktrykk er lagret i akkumulatortanker på nivå 2. Det skal være rutine på å skifte hvilke pumpe som er nummer 1 og 2.

4.5 Produksjon

Analysen under er basert på intervjuer og samtaler med ansatte i Lyse. Dette er derfor uten referanse, men referat fra intervjuene ligger i Vedlegg D. Informasjonen som ikke kommer fra intervju eller samtaler er enten allmennkunnskap eller med referanser.

I 1991 ble det norske kraftmarkedet deregulert og har siden basert kjøp og salg på etterspørsel og pris (Johnsen, 2001, s.228). Kraftselskapene står da fritt til å disponere vannet sitt selv og gjøre sitt beste for å oppnå best pris ved å drive kraftverkene smart. Det er flere måter de kan tjene penger på i markedet. Kraftselskapene kan binde en del av produksjonen i fastprisavtaler med store forbrukere, som for eksempel smelteverk. De kan utnytte døgnvariasjonene i prisen ved å spare vann til perioder å med høyere pris. Et tredje alternativ er å

2015	Kr.sand
Januar	255,49
Februar	246,16
Mars	214,27
April	211,30
Mai	181,35
Juni	118,69
Juli	80,05
August	105,54
September	120,47
Oktober	198,85
November	227,23
Desember	165,90

Figur 4.3: Snittpris hver måned i 2015 (NordPool, 2016)

- Alle priser oppgitt i NOK/MWt

stå med effektreserver for systemoperatør i nettet. I Norge er dette Statnett.

Statnett er systemoperatør i Norge og har ansvaret for stabil frekvens og spenning. Som systemoperatør identifiserer de flaskehalsen i nettet og definerer prissoner som Nord Pool tar i mot bud for (Johnsen, 2001, s.229). For å regulere frekvensen kan de betale et kraftverk for å ligge med litt effekt i reserve og legge inn en flat statikk. Et kraftverk på 100 MW kan for eksempel ligge på 80 MW for å ha 20 MW reguleringssevne opp og ned. Statikk beskrives ved en prosentverdi som sier hvor mange MW produksjonen vil endre seg basert på om frekvensen går opp eller ned. I Norge skal frekvensen være 50 Hz. Går frekvensen opp vil kraftverket produsere mindre for å senke frekvensen igjen, og motsatt. Dette skjer helt automatisk i regulatoren i kraftverket. I dette eksempelet vil kraftverket gå med 80 MW når frekvensen er 50 Hz. Frekvensen kan synke dersom et kraftverk faller ut eller en stor forbruker kobler seg på, og opp dersom motsatt skjer.

Produksjonsplanleggerne samarbeider tett med vedlikeholdsavdelingen for å finne de beste tidspunktene for revisjoner og andre vedlikeholdsoperasjoner som vil kreve produksjonsstopp. Sammen finner de løsninger som vil gi minst mulig produksjonstap.

En vannverdi blir brukt for å bestemme når kraftverk skal produsere strøm. Den er basert på modeller som inkluderer mange ulike forhold som magasin størrelse, nivå, vær, snø, vind og prognoser. Johnsen (2001) presenterer et forslag til en

4 : Analyse del 1: Organisasjon og drift

Time	Snittpris hele 2015	Snittpris nov. - apr. 2015	Snittpris mai. - okt. 2015	Differanse Vinter - Sommer
1	162,65	203,22	122,74	80,48
2	155,94	198,11	114,45	83,66
3	152,43	195,36	110,42	84,94
4	151,05	195,32	107,50	87,82
5	153,64	199,51	108,52	90,99
6	160,49	205,67	116,04	89,63
7	171,54	213,52	130,24	83,28
8	184,51	227,10	142,61	84,49
9	193,74	238,54	149,67	88,86
10	193,45	236,98	150,62	86,36
11	191,43	233,98	149,58	84,40
12	188,38	230,22	147,22	83,00
13	184,63	225,74	144,18	81,56
14	182,47	223,93	141,70	82,23
15	180,95	223,29	139,31	83,98
16	180,30	224,47	136,85	87,62
17	185,19	233,96	137,22	96,74
18	189,01	238,82	140,01	98,81
19	187,79	234,17	142,17	92,00
20	185,05	227,72	143,08	84,64
21	182,10	221,98	142,87	79,11
22	179,89	218,97	141,45	77,53
23	175,49	214,06	137,56	76,50
24	167,00	206,52	128,12	78,39
Std.dev.	13,48	14,04	13,45	5,48
Min	151,05	195,32	107,50	76,50
Maks	193,74	238,82	150,62	98,81
Gj.sn.	176,63	219,63	134,34	85,29

Figur 4.4: Prisgjennomsnitt fordelt per time i døgnet i 2015. Sammenligning mellom årgjennomsnitt og vintermånedene

- Alle priser oppgitt i NOK/MWt

Kilde: Nord Pool historisk spotpriser

slik modell basert på ukesverdier fra 1994 og 1995. Kort fortalt er vannverdien den prisen et selskap er villig til å selge kraften for. Faktorer langt borte kan påvirke økonomien. Er det for eksempel mye sol og vind i Danmark kan strøm importeres billig derifra.

Selv om prisen var lavere i 2015 enn de siste årene endrer ikke Lyse arbeidsmetode. Kraftverk som allerede er bygd må utnyttes best mulig ut fra markedsforholdene. Dette gjøres ved å utnytte svingningene i markedet. En driftsfeil kan føre til store tap i perioder med bra tilsig og gode priser for kraftverk som Jøssang uten store magasin. I vinteren 2016 var det flere tilfeller der dette inntraff ved Jøssang. Som Figur 4.5 viser er Jøssang ekstra sårbar for feil fordi kraftverket bare har 9 "gode" måneder det kan produsere strøm. Da er det ekstra viktig å nytte hver sjanse i de gode månedene. Ny uregulerbar kraft ser ut til å gi større svingninger, men ikke høyere oppside. Det dreper prisen.

På 90-tallet ble det gjort en studie for å finne omtrentlig slitastjekostnader i forbindelse med start og stopp av aggregat. Det er mye usikkerhet knyttet til disse verdiene, men de blir brukt som en del av vurderingen av produksjonen. Som en ser på Figur 4.4 så synker gjennomsnittlig prisen rundt 13.00 for så å stige igjen noen timer fra 17.00. I tilfeller hvor vannverdien i det tidsrommet er høyere enn prisen kan kraftverket stoppes. Men dersom marginen er liten kan det lønne seg å kjøre kontinuerlig for å spare slitasje ved start og stopp. I et intervju med en ingeniør informerte han om at økning i start og stopp fører til at stator og viklinger løsner fortere for både nye og gamle generatorer. Dette er i tråd med [Elstrøm et al. \(1996\)](#) sine resultat i studien om endrede driftsbetingelser for generatorer. I tillegg til start- og stoppkostnader vurderes pris mot aggregatet sin virkningsgrad. Aggregatet ved Jøssang har best total virkningsgrad på 31 MW, men kan produsere nesten 34 MW, se Figur 2.3. Normalt vil produksjonen ligge på 31MW, men kan økes ved ekstra god pris. Ved 31 MW produksjon til gjennomsnittlig 2015 (176,63 NOK/MWt) pris vil Jøssang generere 5.500 kroner i timen.

Jøssang Kraftverk har ikke naturlige forutsetninger for å utnytte noen av disse måtene for ekstra inntjening i særlig grad. Det er ikke stort nok til å stå som kraftreserve og har heller ikke magasin til å holde mye vann igjen. På grunn av magasinbegrensningen kan de bare i enkelte perioder utnytte døgnvariasjonen i full grad. Er det nok vann til både minstevannføring i elven og til Jøssang må kraftverket gå hele døgnet for å unngå at vann renner over magasinet. I tørre perioder hender det at det bare er nok vann til å dekke minstevannføringen i elva. En ser på Figur 4.5 at Jøssang omtrent ikke har vært brukt i tre måneder de tre siste somrene. I tillegg til at sommeren har mindre nedbør er også prisen i Norge lavere om sommeren. På Figur 4.3 ser en stor variasjon i strømpris fra vinter- til sommermånedene i 2015.

Figur 4.4 viser døgnvariasjonen for 2015. I kolonne to står gjennomsnittspris per time gjennom hele året, kolonne tre viser gjennomsnittlig timepris i vintermånedene og kolonne fire viser timepris i sommermånedene. I kolonne fem ser en at prisdifferansen mellom vinter og sommer jevnt over ligger rundt 85 NOK/MWt. Mellom 17.00 og 18.00 er forskjellen nesten 99 NOK/MWt. Selv om snittprisen om vinteren ligger generelt høyere er standardavviket nesten helt likt. Dette viser at prosentvis døgnvariasjon er omtrent lik gjennom året, men gjennomsnittsprisen endrer seg. Med lik prosentvis endring vil den største svingningen i kroner være når prisen er høyest, altså om vinteren. Vinteren byr dermed på større svingninger i kroner og med det et større insentiv for å variere produksjonen.

4 : Analyse del 1: Organisasjon og drift

		Gjennomsnittlig produksjon [MW]		
Måned	Veke	2013	2014	2015
januar	1	38,17	28,62	14,84
januar	2	14,63	24,80	31,15
januar	3	14,12	17,04	26,12
januar	4	12,91	-	15,39
februar	5	2,00	-	3,94
februar	6	7,08	-	16,08
februar	7	9,90	8,36	9,09
februar	8	5,16	11,06	20,36
mars	9	-	27,37	27,48
mars	10	-	17,14	25,45
mars	11	9,83	30,70	33,11
mars	12	4,56	33,74	29,13
mars	13	-	31,22	19,95
april	14	0,15	14,36	-
april	15	0,90	20,79	6,56
april	16	25,85	30,42	19,65
april	17	19,56	17,90	13,31
mai	18	14,42	1,84	23,08
mai	19	13,40	5,72	9,04
mai	20	16,34	0,02	-
mai	21	8,81	-	14,12
mai	22	-	-	31,65
juni	23	-	-	30,06
juni	24	-	-	27,28
juni	25	-	-	14,23
juni	26	-	-	5,78
juli	27	-	-	-
juli	28	-	-	-
juli	29	-	-	-
juli	30	-	-	1,95
juli	31	-	-	0,00
august	32	-	-	0,01
august	33	-	-	-
august	34	0,19	0,03	5,28
august	35	4,82	9,12	-
september	36	20,83	-	-
september	37	16,63	-	-
september	38	4,52	1,45	-
september	39	8,62	-	0,11
oktober	40	-	6,46	12,40
oktober	41	-	8,20	3,08
oktober	42	0,92	16,42	1,01
oktober	43	19,32	21,28	-
november	44	34,31	31,74	20,94
november	45	23,81	16,35	-
november	46	22,97	9,27	25,82
november	47	22,42	-	27,02
november	48	17,90	2,71	20,64
desember	49	30,01	-	30,50
desember	50	29,58	25,46	33,24
desember	51	34,24	23,32	30,39
desember	52	31,30	31,18	33,37

Figur 4.5: Gjennomsnittlig effekt per uke i 2013, 2014 og 2015

Kilde: Lyse driftshistorikk

5 Analyse del 2: Kraftverkskomponenter

Innhold i Kapittel 5		
Underkapitler		Side
5.1	Turbin	58
5.2	Generator	69
5.3	Lager	82
5.4	Transformator	91

Dette kapittelet presenterer funn i underkapitler for hver hovedkomponent. Tabell 5.1 viser hvilke komponenter som er gjennomgått og hvilken rekkefølge. For hver komponent vil respektiv håndbok gjennomgås (Eggen, 2005). Dette vil sammenlignes med vedlikeholdsplanen mellom 2016 og 2026, og vedlikeholdshistorikken fra januar 2013 til april 2016. Deretter vil eksisterende instrumentering systematiseres og potensialet vurderes. Til slutt vil alternative tilleggsmålinger forklare de stedene det ser ut til å ha nytteverdi. Kapittelet svarer dermed på litt av delmål 1 og 2, samt hele delmål 3. Viser derimot undersøkelsen av håndbøkene ingen feiltyper med en degraderingsfase som kan oppdages ved hjelp av tilstandsovervåking, vil det aktuelle utstyret bli ekskludert fra den videre vurderingen. Som følge av at store deler av denne analysen baseres på håndbøkene vil ikke de refereres til. Hvor andre kilder er brukt er de referert.

Dette kapittelet vil ikke diskutere funnene i betydelig grad, men presentere og forklare ved behov. Om det er et reelt behov for endringer drøftes i Kapittel 6: [Resultat og diskusjon](#) på side 97.

I ISO 17359:2011 (E, 7.3) står det at en FMECA bør ligge til grunn for å identifisere forventede feil, symptomer og potensielle parametre. Den nødvendige informasjonen for å utføre en slik analyse har ikke ligget til grunn så dette bør dermed utføres i ettertid, og vurderes opp mot resultatet i denne oppgaven. Ved gjennomgang av håndbøkene blir bare det viktigste oppsummert. EBL-Kompetanse har utarbeidet håndbøkene om tilstandskontroll på generell basis for vannkraft i Norge. Lyse baserer dagens vedlikehold på disse, men vurderer hva som er nødvendig for dem.

Gjennomgangen vil forsøke å identifisere skadetyper som kan ha nytte av tilstandskontroll utover det tidsbaserte måleprogrammet som EBL anbefaler i håndbøkene (Eggen, 2005). Hver komponent i kraftverket har sin egen håndbok som forklarer hva de vanligste feilene er, hva som forårsaker de og hvordan de kan kontrolleres. Kompleksiteten til en generator gjør at EBL har delt den inn i følgende tre håndbøker: stator, statorviklinger og rotor. Et gjennomgående

Tabell 5.1: Komponentene i Jøssang Kraftverk

Nr.	Komponent	Vurdert?	Side
1	Damanlegg	Nei	-
2	Vannvei	Nei	-
3	Kuleventil	Nei	-
4	Turbin	Ja	58
5	Sugerør	Nei	-
6	Generator	Ja	69
7	Lager	Ja	82
8	Effektbryter	Nei	-
9	Transformator	Ja	91
10	Hjelpesystemer	Nei	-

Kilde: Håndbøker for tilstandsovervåking av kraftverkt - EBL-Kompetanse

problem med håndbøkene i forhold til oppgavefokus er at det står veldig lite om overvåking av avvik i utvikling. Fokus i håndbøkene ligger i feilsøking, i tillegg til tilstandsmåleprogram. Håndbøkene sin alder er også ukjent og kan derfor mangle nyere teknologiske løsninger.

5.1 Turbin

Dette kapittelet vil presentere all tilgjengelig informasjon om turbinen. Først presenteres de viktigste momentene fra håndboken. Så gjennomgås vedlikeholdshistorikken, etterfulgt av planlagt vedlikehold mellom 2016 og 2026. Deretter forklares dagens instrumenter og målinger, samt en vurdering om det er behov for andre typer målinger eller tilstandskontroll. Som nevnt i introduksjonen til kapittelet blir funnene drøftet i Kapittel 6.

Francisturbiner har flere kjente problemer. [Brekke \(2013\)](#) diskuterer utfordringer ved store fallhøyder, samt litt av utviklingen av Francisturbiner fra 1950-talet til i dag. En av punktene i utviklingen han nevner er at turbindinget på 60-tallet gikk fra fullstøpt til sveisebasert design av rullede plater av høyere styrke. Dette skapte et større behov for kontroll og test av sveisene for å unngå utmattelsesbrudd forårsaket av start og stopp vannhammer-oscillasjon. Han mener den eneste måten å kontrollere alle delene i en turbin for sprekkdannelser er å stoppe kraftverket og fysisk sjekke alle flater en gang i året.

De trykksatte delene i kraftverk er utsatt for materialtretthet fra trykkendringer ved start- og stoppsekvenser, vannhammer-effekten og trykkoscillasjon fra massen i tunnelsystemet ([Brekke, 2013](#)). En metode som er brukt for å kontrollere materialet sin evne til å motstå sprekkdannelser er [Crack Tip](#)

Opening Displacement (CTOD). Kriteriene for bestått test bør være 50.000 start-/stoppsekvenser, og en sprekk skal kunne gå gjennom hele platen uten at brudd oppstår. 50.000 start- og stoppsekvenser tilsvarer 3 start/stopp hver dag i 50 år.

5.1.1 Gjennomgang av håndbok

Francisturbiner kan monteres vertikalt eller horisontalt. Hvilken metode som velges blir bestemt ut fra vannføring, fallhøyde og stasjonsarrangement. En tommelfingerregel sier at små kraftverk står horisontalt og store vertikalt. Vertikal montering er ofte best i fjellanlegg. I Jøssang står det en vertikal Francis-turbin.

Komponenter i tilknytning til turbinen:

- Spiraltromme
- Turbinaksel
- Løpehjul
- Løpehjulstetninger
- Ledepapparat
- Sugerør
- Akseltetningsboks
- Turbinlager

Beskrivelse av francisturbinen er gjennomgått i Kapittel 2.2.2. Videre i denne delen vil derfor bare aktuelle moment om design nevnes.

Spiraltromme

Spiraltrommen er en komponent som utsettes for store spenninger og må utformes i materialer med høy bruddstyrke. Før var ofte trommen støpt, men i dag er det vanlig med sveiste plater. De vanligste skadene i spiraltrommen er normal slitasje eller sprekker i stagskovelene. Stagskovelene er fastmonterte skovler utenfor det regulerbare ledeskovelene.

Normal slitasje kan forårsakes av korrosjon eller sanderosjon og kan best påvises ved visuell inspeksjon. Konsekvenser av slitasje kan være reduksjon av virkningsgrad eller gjengroing av trykkuttak. Dette skjer normalt gradvis og er ikke regnet som kritisk.

Sprekker kan komme av utmattelse. Håndboken foreslår å teste ved hjelp av visuell inspeksjon, virvelstrøm-, magnetpulver- eller penetrantprøving. Sprekker i spiraltrommen kan være sikkerhetskritisk og derfor er de fleste trommer

designet slik at de skal få lekkasje før brudd. Slik kan en få en indikasjon i tide. Brudd i stagskovlene kan derimot ikke oppdages fra utsiden. Sprekkvekst øker med start og stopp som trykksetter og avlaster trommen.

Løpehjul

Løpehjulet er den komponenten som omformer kinetisk energi i vannet til roterende mekanisk energi. Utførelsen er normalt helstøpt eller oppsveist av varmpressede plateskovler til støpte boss og ring. I dag er de fleste utført i rustbestandig stål. Dette er mer motstandsdyktig mot fenomen som kavitasjonserosjon. De normale skadene på løpehjulet er normal slitasje, sprekker og hamringsskader.

Normal slitasje kommer av korrosjon, sand- og kavitasjonserosjon. Skadene er vanligvis ikke kritiske, men har negativ innvirkning på virkningsgraden som følge av økt overflatefriksjon.

Sprekker kommer av utmatting og kan føre til skovlbrudd og subbing/rivning i løpehjulstetningene. En kan oppdage dette ved at turbinlyden endrer seg. Prøvemethoder som blir foreslått er vibrasjonsmåling, visuell inspeksjon, penetrant-, magnetpulver- og virvelstrømsprøving. Sprekker i løpehjulet er kritisk dersom det får lov til å utvikle seg. Skovlebrudd vil føre til mekanisk og hydraulisk ubalanse. Det vil igjen føre til mye vibrasjon som kan skade turbinlageret.

Vannhamring er navnet på sjokkbølgen som oppstår når væske i bevegelse plutselig blir stoppet. Dette skjer normalt i rør hvor en raskt stenger ventilen på utløpet av røret. Da vil det gå et hammerslag gjennom røret. Dette kan oppstå i turbiner under drift. Får det pågå over lengre tid kan de føre til kritiske utmattelsessprekker. Visuell inspeksjon er den anbefalte metoden.

Ledeapparat

Ledeapparatet skal, ved å justere hastighet og retning på vannet, sørge for jevnest mulig strøm inn på løpehjulet. I tillegg bidrar det på effektreguleringen. Ledeskovler og lagertapper blir som regel støpt eller senkesmidd i martensittisk rustbestandig stål. Skovlene er opplagret i øvre og nedre turbinlokk der smørefrie lager er mest normalt. Vanlige skadetyper er:

- normal slitasje
- hamringsskader
- rivningsskader
- sprekker i ledeskovlene

- lekkasje ved skovlpakningene
- overbelastet reguleringsmekanisme
- slakk i lenkeopplagerne

Den normale slitasjen er basert på en blanding av sanderosjon, korrosjon, kavitasjonserosjon og mekanisk slitasje. Skadene vil normalt ikke være kritisk. Slitasje kan øke lekkasjevannføringen. Blir denne lekkasjen stor nok til å rotere løpehjulet kan lagrene bli skadet av varmgang. En annen konsekvens er at ved stor lekkasje kan trykkforskjellen over hovedventil bli for stor til at den klarer å åpne. Hovedventilen har et omløpsrør som skal trykksette trommen slik at hovedventilen kan åpne lettere. Hovedkonsekvensen er likevel redusert virkningsgrad. Prøvemethoder som anbefales er visuell inspeksjon, måling av ledeskovleklaring, registrering av turbinens turtall ved stengt ledeapparat og tetthetskontroll ved måling av trykkfall over omløpet på avstengningsventilen.

Vannhamring kan på samme måte som for løpehjulet føre til utmatting i materialet. Dersom det ikke blir oppdaget kan det føre til kritiske sprekker og til slutt brudd. Håndboken presiserer at dette skjer bare i spesielle tilfeller. Normalt er konsekvensen bare redusert virkningsgrad og anbefaler visuell inspeksjon for å kontrollere det.

Rivningsskader oppstår i friksjonsflatene mellom ledeskovle og turbinhus. Før en først rivning vil det forsterke seg selv fordi friksjonen øker. I verste fall kan en få problemer med å stenge ledeapparatet. Håndboken anbefaler visuell kontroll som prøvemethoder.

Overbelastning av reguleringsmekanismen kan komme av fastkiling av fremmedlegemer, deformasjon og utslitte lagerflater. Også setninger i grunn kan skape problemer på grunn av liten klaring. Håndboken anbefaler visuell kontroll, trykkindikering av servomotor (hydraulikk), måling av ledeskovleklaring, tetthetskontroll ved måling av trykkfall med stengte ledeskovler og registrering av turbinens turtall med stengte ledeskovler som prøvemethoder. Basert på undersøkelsene står ledeskovlene klart frem som den største feilkilden ved Jøssang. Bolten som fester hver enkelt ledeskovlarm inn på reguleringsringen knekker ganske ofte. Ved Jøssang er det mange ledeskovler og hver av de har sin egen bolt. Likevel ser det ut til at noen spesifikke bolter knekker oftere enn andre. Lyse har studert dette lenge, men enda ikke kommet frem til noe årsak til problemet.

Turbinlager

Turbinlager er normalt oljesmurt, men ved Jøssang er det smurt av vann som sirkulerer gjennom ved hjelp av trykk i sjakt over turbinen. Varmen som utvikles i lageret blir på denne måten ført ut med vannet. Lageret vil kunne få slitasje av lagerflatene og løst lagermetall/dårlig heft mot lagerskål.

Slitasje av lagerflatene vil gi økt akselklaring og kan føre til kritiske situasjoner, både for drift og sikkerhet. Klaring kan føre til økte radielle krefter som vil føre til økt lagertemperatur. Vannfilmen vil bli ustabil og få redusert bæreevne. Økt bevegelse vil føre til økt vibrasjon, samt økt slitasje på andre deler av maskinen. Blir ikke situasjonen tatt tak i vil det føre til havari. Håndboken anbefaler visuell kontroll, måling av lagertemperatur og vibrasjonsmåling som prøvemethode.

Løst lagermetall/dårlig heft mot lagerskålen kan være forårsaket av store mekaniske belastninger, vibrasjoner og montering- eller produksjonsfeil. Konsekvensene er stort sett de samme som slitasje av lagerflatene over. Prøvemethode anbefalt er visuell kontroll, ultralydprøving og registrering av lagertemperatur.

5.1.2 Oppsummering av håndbok - Turbin

Skader på spiraltrømmen ser ikke ut til å gi noen målbare indikasjoner under drift. For ledeapparatet anbefaler håndboken visuell kontroll for alle skadetyper og trykkindikator i tillegg for å detektere overbelastning. Løpehjul og turbinlager er roterende masse og vil lettere gi en gjenkjennbar karakter innenfor vibrasjon og temperatur. Løpehjulet kan få ubalansen som følge av slitasje i godset. Dette vil skape en vibrasjonsøkning. Får en brudd i en løper som følge av utmattelsessprekker vil mest sannsynlig vibrasjonene bli for store til å kjøre aggregatet. Der får en dermed ikke varsel før det er for seint. Ved løpehjulet sitter en da igjen med kraftig erosjon som kan indikeres i en degraderingsfase.

For lageret vil både slitasje og løst lagermetall/dårlig heft mot lagerskålen føre til vibrasjoner og temperaturøkning. Lageret vil også ha en degraderingsfase, og vil ikke gå fra normale verdier til ekstreme verdier i løpet av kort tid. Dette vil da være enda en skadetype som kan detekteres før en svikt oppstår.

For turbinen sitter en dermed igjen med kraftig erosjon eller skade av løpehjulet og lagerslitasje som mulige skadetyper som kan indikeres av tilstandsovervåking. De mest aktuelle måleparametrene er vibrasjon- og temperaturmåling i turbinlager. Ubalanse i en av komponentene vil føre til vibrasjon, og med vibrasjon skapes varme i lageret når det absorberer vibrasjonsenergien.

5.1.3 Vedlikeholdshistorikk - Turbin

Ved gjennomgang av Jøssangs vedlikeholdshistorikk mellom 2013 og april 2016 skiller bruddpinnene seg klart ut som feilkilde i tilknytning til turbinen. I 2013 ser det ikke ut til å ha knekt noen bruddpinner. Det skal nevnes at teksten i rapportene fra 2013 er mangelfull. I 2014 knakk 2 bruddpinner. Men fra 23. april 2015 til 13. april 2016 knakk 15 bruddpinner. 31.12.2015 ble 3 bruddpinner skiftet, og 2 stykk 06.01.2016. Det er nesten en i måneden. 14.02.2016 røk en bruddpinne på grunn av fastkilt betongfiber mellom ledeskovle og turbinhus.

Andre problem som går igjen er tett kjølevannsfiler. Trykksensorer sender et forvarsel om at filteret må renses. Dette ser ikke ut til å føre til driftsproblemer.

Det siste problemet er vann i sikkerhetsspor. Det er vanskelig å tolke tekstene i SAP, men det ser ut som aggregatet har stoppet av denne grunn fire ganger siden mai 2015 til april 2016.

De to sistnevnte feiltyper ser det ikke ut til å være mulig å detektere før de inntreffer på noen måte. Problemet med bruddpinnene er ikke bare den vanligste feilkilden på turbinen, men også den klart hyppigste feilen på kraftverket. Lyse har undersøkt saken på egenhånd, og i samarbeid med Alstom, uten å finne noe mønster for boltebrudd. Verken gjennomstrømming, om det er oppstart, nedkjøring eller vanlig drift, eller tid mellom brudd, ser ut til å gi noen svar. De har ikke trykkmåling på hydraulikken for å se om det er ekstra moment når det oppstår brudd, men dette trodde de heller ikke var relevant ettersom de samme boltene går igjen. Gjennom samtalene har det ikke kommet frem noe parameter som kan gi indikasjon før brudd oppstår. Selv om dette er det største problemet i dag vurderes det på grunnlag av informasjonen over som utenfor problemstillingen i denne oppgaven.

5.1.4 Planlagt vedlikehold 2016-2026 - Turbin

Jobb nummer 1 i Tabell 5.2 er en visuell kontroll som bare er beskrevet med teksten "Sjekk lager".

Jobb nummer 2 går ut på å sjekke filter og filterhus og har følgende tekst: "Se etter slitasje på innvendig filterinnsats. Rens, eventuelt skift, filterinnsats om nødvendig."

Jobb nummer 3 er den mest omfattende jobben på turbinen i følge beskrivelsen. Det er likevel bare planlagt 5 arbeidstimer. Den innebærer kontroll av løpehjul, senterkonus, sugerør, ledeskovler, spiraltromme og spaltering. For løpehjul og senterkonus er det presisert at kontroll utføres visuelt. Det er ikke nevnt

Tabell 5.2: Planlagte jobber på turbinen mellom 2016-2026

Nr.	Beskrivelse for pos. for periodisk vedl.	Korttekst - plan	Korttekst - operasjon	Timer
1	Jøssang: TURBINLAGER	Lager - Vann	12M VISUELL INSPEKSJON	1
2	Jøssang: AG1_FILTER	Kontroll - Filter - vann	12M KONTROLL	1
3	Jøssang: AG1_FRANCISTURBIN	Kontroll - Francis turbin	12M KONTROLL-MÅLING	5
4	Jøssang: AG1_FRANCISTURBIN	Kontroll - Francis turbin	12M MÅLING	0.3
5	Jøssang: AG1_FRANCISTURBIN	Kontroll - Francis turbin	24M MÅLING	6
6	Jøssang: AG1_FRANCISTURBIN	Kontroll - Francis turbin	24M KONTROLL	6

metode for de andre, men regner med påfølgende også er visuelle. Den visuelle kontrollen innebærer at man skal se etter skader fra korrosjon, kavitasjon, erosjon og eventuelle sprekker. Kontrollene foretas gjennom mann hull. For sugerør og spiral tromme spesifiseres det at behov for skraping eller maling skal kontrolleres. Den eneste målingen som skal gjøres i denne jobben er måling av spaltekklaring gjennom 4 søkehull i øvre turbinlokk.

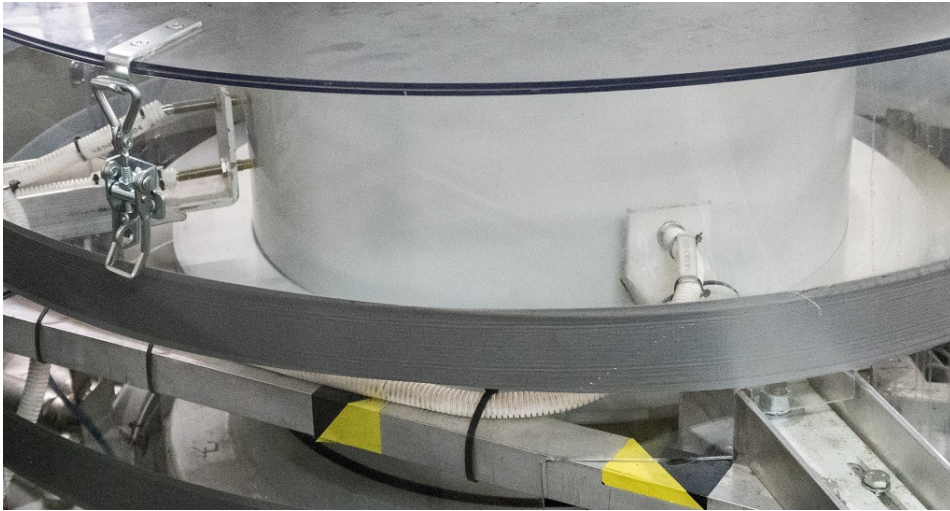
Jobb nummer 4 er en måling av hvor tett ledeskovlene er når de er stengt. Dette gjøres ved å slippe vann inn mot stengte ledeskovler for så måle trykket.

Jobb nummer 5 er måling av ledeskovlklaring. Dette utføres ved hjelp av søker. Største og minste verdi registreres.

Jobb nummer 6 er todelt. Den ene delen fokuserer på løpehjulet og den andre på reguleringsforbindelsen. For løpehjulet står arbeidsteksten: "Utfør sprekkekontroll i henhold til arbeidsbeskrivelse". Sprekkekontroll tolkes som målinger ved hjelp av **NDT**. Kontrollen av reguleringsforbindelser er en visuell kontroll etter slark, løse forbindelser og lekkasjer for ledeskovlearmene, lenker og ledeskovlepakning. Det er også nevnt at pakning skal byttes ved behov. Oppsummert kan en si at det er god kontroll på tilstanden til ledeskovlene, men overvåking av moment kan gi nyttig informasjon.

Spiral trommen ser ut til å være tilfredsstillende kontrollert gjennom jobb nummer 3. Dette er vurdert på grunnlag av forventede skader i håndboken. Det tas utgangspunkt i at **NDT**-målinger blir gjennomført dersom den visuelle kontrollen identifiserer sprekker og svakheter.

Løpehjulet er visuelt kontrollert en gang i året gjennom jobb nummer 3 og målt med **NDT** annenhvert år i jobb nummer 6. I et intervju med en ingeniør kom det frem at de forventer å sveise og slipe store turbinen ca. annenhvert år. Løpehjulet ser ut til å være tilfredsstillende kontrollert gjennom nevnte jobber i forhold til forventede skader i håndboken. Derimot vil kontinuerlig vibrasjonsmåling kunne oppdage store endringer i ubalanse som følge av slitasje eller brudd.



Figur 5.1: Avstandsmålere på aksel over turbin. Måler S-Max

Kilde: Foto fra anleggsbesøk

Ledeapparatet er kontrollert visuelt i jobb nummer 3, målt tetthet i jobb nummer 4, målt klaring i jobb nummer 5, og utført sprekkkontroll på reguleringsmekanismen i jobb nummer 6. Normal slitasje vil utvikle seg over tid og kan oppdages på årlig kontroll. I håndboken står det at brudd som følge av materialutmattelse bare skjer ved spesielle tilfeller. En kan da regne med at sannsynligheten for dette er liten. I tillegg er konsekvensen stort sett bare redusert virkningsgrad. Rivningsskader og fastkiling av fremmedlegemer vil derimot utvikle seg fort og kan hindre bruk av aggregatet. Kraftverkssjefen fortalte at fiber fra betong kilte seg fast under ledeskovlene i løpet av de første driftsårene, men at problemet hadde avtatt. Rivningsskader og fastkiling indikeres ved økt moment på reguleringsmekanismen. Men siden det allerede er en betydelig utfordring ved ledeskovlene bør det gjøres videre undersøkelser om slike målinger har verdi.

Turbinlager er visuelt kontrollert i jobb nummer 1, og filter er kontrollert/skiftet i jobb nummer 2. Utover det er ikke turbinlager nevnt i planlagt vedlikehold. Håndboken anbefaler i tillegg vibrasjon- og temperaturmåling.

5.1.5 Instrumentering på turbinen

I tilknytning til turbinen er det registrert 39 målinger eller signaler. I Tabell 5.3 er de analoge signalene listet opp, og i Tabell 5.4 er de digitale signalene med variabel verdi listet opp. I tillegg til dette er det en liste over boolske signaler (1 eller 0), som ekskluderes fordi den stort sett inneholder styresignaler til og fra driftssentralen. Eksempelvis kan det være start, forvarsel, nødstop, klar, drift,

åpen, stengt osv. De er der for at driftssentralen alltid skal vite hva status er i stasjonen.

Tabell 5.3 viser at lageret har måling for trykk, temperatur, vanngjennomstrømning og vibrasjon. Vibrasjonsmålingene viser både hastighet og S-Max. Vibrasjons- hastigheten måles av et akselerometer festet til turbinhuset. Akselerasjonen integreres slik at hastigheten viser i kontrollsystemet. S-Max er målt av to induktive avstandsmålere montert 90° fra hverandre mot akslingen over turbinlageret. Sensorene som måler S-Max er avbildet på Figur 5.1. De representerer X og Y koordinatene i S-Max. Her er også turtallsmåleren montert. Vibrasjonsmåling og -analyse er beskrevet i Kapittel 2.6.1.

Håndboken anbefaler vibrasjon- og temperaturmåling for turbinlageret. Vibrasjoner kan også oppstå som følge av slitasje og brudd i løpehjulet. Kontinuerlig overvåking er utført ved Jøssang og bidrar dermed å redusere risikoen for uventede hendelser mellom årskontroll. Ingen målinger gir varsling før grenseverdier er nådd. Personell med tilgang til kontrollsystemet kan manuelt gå inn å lese av måleverdier for hvert instrument. Av vibrasjonsmåling kan de bare lese av S-Max og vibrasjonshastigheten. Ved større **inspeksjoner** er det mulig å koble seg til vibrasjonssensorene lokalt i kraftverket for å utføre en grundig vibrasjonsanalyse med FFT. Avstandsmålerne kan kobles til for å kartlegge orbital bevegelse av aksling i forhold til senterpunkt. Disse målingene er ikke funnet i tekstene for planlagt vedlikehold. I samtaler med ingeniører opplyses det at styresystemet har mulighet for å overføre begge disse analysene kontinuerlig ved hjelp av to nye moduler i stasjonen.

Oljekretsen hører til hjelpeanlegg og er ikke vurdert i oppgaven. Men håndboken anbefaler trykkmåling på servomotor til ledeapparatet. Derfor er oljetrykk inkludert i Tabell 5.3. Plassering av trykksensorene er ukjent, men dersom den ene er plassert på en av servomotorene kan den trende momentet til ledeapparatet. Hvis de er plassert en annen plass i oljekretsen bør det vurderes å installere en ny trykksensor. Tabell 5.4 viser et parameter for “Ledeapparat posisjon”. Kombineres denne målingen med trykkmåling vil det vises hva trykk som må til for å rotere ledeapparatet.

Mulige forbedringer på instrumentering er dermed:

1. Kontinuerlig FFT-analyse
2. Kontinuerlig orbital-måling
3. Trykkindikator på servomotor til ledeapparat

Tabell 5.3: Analoge signaler tilknyttet turbinen

Type	Maskin	Plassering	Beskrivelse	Min.	Max	Enhet
FM	Turbin	Lager	A1-TB1 LAG Vibrasjon turtall			
FM	Turbin	Lager	A1-TB1 Lager Vannstrøm	0	5	bar
FM	Turbin	Hydrostat	A1-TB1 Hydrostat. dyse 5 try	0	40	Bar
FM	Turbin	Hydrostat	A1-TB1 Hydrostat. dyse 6 try	0	40	Bar
FM	Turbin	Lager	A1-TB1 Lager vanntr. tilføse	0	40	Bar
FM	Turbin	Regulator	A1-TB.REG Oljetrykk 1	0	250	Bar
FM	Turbin	Regulator	A1-TB.REG Oljetrykk 2	0	250	Bar
FM	Turbin		A1-TB1 Sikkerhetsspor trykk	0	10	Bar
FM	Turbin	Hydrostat	A1-TB1 Hydrostat. dyse 1 try	0	40	Bar
FM	Turbin	Hydrostat	A1-TB1 Hydrostat. dyse 2 try	0	40	Bar
FM	Turbin	Hydrostat	A1-TB1 Hydrostat. dyse 3 try	0	40	Bar
FM	Turbin	Hydrostat	A1-TB1 Hydrostat. dyse 4 try	0	40	Bar
FM	Turbin	Lager	A1-TB.LAG Vibrasjon S-Max	0	550	µm
FM	Turbin	Lager	A1-TB.LAG Vibrasjon Acc.C	0	25	mm/s
FM	Turbin	Lager	A1 Turtall vibrasjon	0	1200	o/min
FM	Turbin	Lager	A1-TB.LAG Temp.	0	150	°C
FM	Turbin	Lager	A1-TB.LAG Vanntemp.	-5	50	°C

Tabell 5.4: Digitale signaler tilknyttet turbinen

Type	Maskin	Plassering	Beskrivelse	Min.	Max	Enhet
FM	Turbin	Regulator	A1-TB.REG Frekvens			
FM	Turbin	Regulator	A1-TB.REG Lastbegr. maks			
FM	Turbin	Regulator	A1-TB.REG Lastbegr. min.			
FM	Turbin	Regulator	A1-TB.REG MW referanse			
SP	Turbin	Regulator	A1-TB.REG Effekt setpunkt			
FM	Turbin	Regulator	A1-TB.REG Setpunkt MW utgang			
FM	Turbin	Regulator	A1-TB.REG Aktiv effekt			
FM	Turbin	Regulator	A1- TB.REG turtall	0	1200	o/min
FM	Turbin	Regulator	A1-TB.REG Turtall %	- 2	200	%
FM	Turbin	Regulator	A1-TB.REG Statikk referanse	0	20	%
SP	Turbin	Regulator	A1-TB.REG Statikk setpunkt	0	20	%
FM	Turbin	Regulator	A1-TB.REG Setpunkt Stati utg.			
FM	Turbin	Regulator	A1-TB.REG Åpningsbegr. maks			
FM	Turbin	Regulator	A1-TB.REG Åpningsbegr. min.			
FM	Turbin	Regulator	A1-TB.REG Ledearrapparat posisjo	0	100	%
FM	Turbin	Regulator	A1-TB.REG Åpning referanse			

FM = feilmelding

SP = setpunkt

5.1.6 Oppsummering - Turbin

Håndboken presenterer flere skadetyper som kan utvikles over tid uten å kunne måles ved tilstandsovervåking. Den foreslår også ulike kontrollmetoder som Lyse følger i stor grad. Skade på løpehjul og lager kan gi målbare endring i vibrasjon og temperatur i turbinlageret. Dette blir målt ved Jøssang og er oppsatt med grenseverdier som gir alarm eller stans. En FFT-analyse av vibrasjonen vil gi bedre kontroll over utviklingen. Ulike typer avvik gir utslag på ulik frekvens. Utfordringen med FFT-analyse er at det krever en betydelig kompetanse. Denne kompetansen er ikke identifisert i Lyse. Jøssang har mulighet til å kalkulere orbital akslingsbevegelse. Dette vil gi bedre informasjon en S-Max, men krever installasjon av en ny modul.

Ledeapparat trekkes frem som en kandidat til overvåking. Håndboken anbefaler trykkindikering på servomotor. Det er identifisert trykkmålere på hydraulikken, men plassering er uvisst. Med tanke på utfordringene Lyse har med ledeskovlene sine bør en slik måling vurderes.

Vedlikeholdshistorikken legger ikke til noen utfordringer som kan hindres ved hjelp av overvåking.

5.2 Generator

I dette kapitlet presenteres all tilgjengelig informasjon om generatoren. Først presenteres de viktigste momentene fra håndboken. Så gjennomgås vedlikeholdshistorikken etterfulgt av planlagt vedlikehold mellom 2016 og 2026. Deretter forklares dagens instrumenter og målinger, samt en vurdering om det er behov for andre typer målinger eller tilstandskontroll. Som nevnt i introduksjonen til kapitlet blir funnene drøftet i Kapittel 6.

5.2.1 Gjennomgang av håndbøker

Eggen (2005) har valgt å dele generatoren inn i tre håndbøker: stator, statorviklinger og rotor. Under er det viktigste feiltypene fra håndbøkene beskrevet.

Håndbok - Stator

Stator består av tre ulike deler: statorhus, blikkpakke og presseanordning. Statorhuset er rammen som holder generatoren sammen. Den skal være stiv nok til å tåle alle mekaniske påkjenninger som kan oppstå, være festeanordning for blikkpakken og tjene som kanal for kjøling. Det er stilt spørsmål til stivheten til statorhuset under "Air-gap" i Kapittel 2.6.7. Ved hjelp av løftelageret på toppen holder også statorhuset rotor, aksling og turbinhjul oppe.

Blikkpakken består av segmenter av isolert elektroblikk med tykkelse på 0,35 - 0,5 mm. De er isolert fra hverandre for å hindre virvelstrømmer. I blikket er det lagt inn spor hvor viklingene går. Blikkpakken har to oppgaver: føre tilbake magnetiske fluks, og holde statorviklingene på plass. Viklingene holdes på plass i sporene ved hjelp av kiler. Kjøling av blikkpakken kan designes for både luftkjøling og vannkjøling. Generatoren i Jøssang er luftkjølt med varmevekslere på ytterveggen av statorhuset som kjøles av kjølevannsystemet.

Presseanordningen sørger for at blikkpakken er sammenpresset under drift. Det er spesielt viktig at blikket som stikker ut mellom sporene til viklingene er sammenpresset. Derfor har hver av blikkpackens "tenner" en pressfinger.

Vanlige feil - Stator

Håndboken lister opp fire vanlige skadetyper for stator, alle tilknyttet blikkpakken:

- Blikkpakke - Løst blikk i blikkpakken
- Blikkpakke - Bølgedannelse (buckling)
- Blikkpakke - Manglende tangentialt press i blikkpackens deleskjøt

- Blikkpakke - Lokal varmgang (hot-spots) i blikkpakken pga. kortslutning av blikk

Løst blikk kan føre til støy og vibrasjoner. Vibrasjonene kan gi en forsterkende effekt ved at det kan føre til kortslutning i blikket som vil gi hot spots. Vibrasjon kan også føre til tretthetsbrudd i blikket og skade på statorviklingene. Håndboken anbefaler visuell kontroll og fasthetskontroll av blikkpakke som prøvemetode.

Bølger i blikket kan oppstå dersom blikket varmes opp mye mer enn statorhuset. Dette vil føre til at blikket utvider seg mer en statorhuset og trykk bygger seg opp i blikket. Dersom blikkpakken er under for lite press kan det også oppstå bølger. Bølgedannelse i seg selv er ikke farlig så sant det ikke medfører redusert press i blikkpakken eller skader statorviklingene. Håndboken anbefaler visuell kontroll som prøvemetode.

Manglende tangentialt press i blikkpackens deleskjøt kan oppstå i generatorer som har delt blikkpakke. Dette blir gjort på store generatorer for å gjøre transport og installasjon letter. Det er ikke kjent om Jøssang er oppbygd slik. Dersom det hadde vært aktuelt, anbefaler håndboken visuell kontroll og impedansmåling som prøvemetode.

Lokal varmgang (hot-spots) i blikkpakken vil kun oppstå som følgeskade av andre skader/uhell. Fremmedlegemer eller slitasjeskader som følge av vibrasjon er vanlige årsaker. Kortslutning mellom blikklag fører til store virvelstrømmer og medfølgende temperaturøkning. Avhengig av hvor skadesteder er kan dette ha stor innvirkning på isolasjonen på statorviklingene. Høy temperatur kan øke aldringsprosessen til isolasjonsmaterialet. Håndboken anbefaler ringprøve eller El-Cid dersom ikke ringprøve lar seg utføre. En ringprøve kan være veldig omfattende og krever at både rotor og stator demonteres. Man vikler så hele blikkpakken og magnetiserer kretsen. Når blikket begynner å bli temperert termograferer man blikkpakken og leter etter hot-spots.

Ut fra håndboken ser det ikke ut til at noen av de normale feilene vil kunne måles med tilstandsovervåking på en enkel måte.

Håndbok - Statorvikling

Statorviklingen består av flere spoler jevnt fordelt rundt hele blikkpakken. Disse spolene er koblet sammen i grupper som danner en fase. En elektrisk krets har tre faser. Rotorpolene passerer disse 3.000 ganger i sekundet og skaper en frekvens på 50 Hz i strømmettet. Det fleste turbiner og generatorer er designet for en lavere

hastighet enn det. For å likevel oppnå 50Hz strøm setter en inn flere polpar. Ved to polpar er det 6 faser i en generator hvor fasene som står rett over hverandre er koblet sammen. Da kan hastigheten halveres ettersom rotor passerer "samme" fasen to ganger per rotasjon. Slik kan en fortsette med tre polpar, fire polpar osv. til en får ønsket hastighet.

Viklingen blir holdt på plass i sporet i blikkpakken ved hjelp av kiler og sporfyllinger. Vindingene er isolert fra hverandre ved hjelp av glimmerbånd og lakk. Spolene kan løsne som følge av den varierende mekaniske påkjenningen de blir utsatt for. Får de rom til å bevege seg kan lakken slites bort.

Påkjenninger - Statorvikling

Viklingene blir utsatt for termiske, elektriske, mekaniske og miljømessige påkjenninger under drift. Miljømessige forhold kan også ha påvirkning ved stillstand gjennom fuktighet osv. Driftstemperatur ligger normalt mellom 80-100°C og har mye å si for levetiden til isolasjonen. En tommelfingerregel sier at levetiden halveres ved 10°C økning. Høy temperatur alene, eller i kombinasjon med mekanisk og dielektrisk påkjenning, bryter ned epoksyen i isolasjonen.

Den normale feltstyrken i en vikling er godt innenfor isolasjonsevnen, men transiente hendelser som inn- og utkoblinger, lynnedslag og overspenning kan føre til svikt dersom isolasjonen er svekket.

Partiell elektrisk utladning er små strømmer som kan gå gjennom svake punkter i isolasjonen. I sammenheng med luftrom eller vannråper kan disse utladningene føre til vanntrær og sakte bryte ned isolasjonen. Dette er illustrert i Figur 2.14.

Under drift vil viklingene være under kontinuerlige mekaniske krefter med en frekvens på 100Hz. Dette er som følge at rotor passerer med et positivt og et negativt felt i løpet av en elektrisk syklus. En elektrisk syklus i Norge er 50Hz. For å unngå vibrasjon og varig deformasjon fra transiente krefter er det viktig at viklingene sitter godt.

Statorhus, blikkpakken, presseanordning og viklinger er laget av ulike metaller og vil utvide seg ulikt ved temperaturendringer. Denne utvidelsen og sammentrekningen fører til mekaniske spenninger, som igjen kan føre til plastiske deformasjoner og setninger i viklingen. Hyppige start og stopp øker belastningen. Dette er en av de største årsakene til feil i statorviklingen.

Miljøet viklingene er i kan ha stor påvirkning på tilstanden. Spesielt viktig er fuktighet og tilsmussing. Faren for fuktighet kan reduseres ved å holde

maskinhallen tørr og ved å ha varmeelement i stator når aggregatet ikke er i bruk. Dette styres automatisk i Jøssang. Tilsmussing kan komme innenfra i form av slitasjestøv, børstestøv eller oljedamp fra lager. Ved friluftskjøling kan støv i luften rundt generatoren ha stor betydning. I Jøssang er det avsug for oljedamp i lager over og under generatoren og avsug på børstekammeret. Kjøleluften trekkes fra rommet generatoren står i gjennom vannvarmevekslerne og inn i generatoren. Generatorrommet er et lite og rent rom så ytre miljø vil ikke bidra med mye tilsmussing. Ny isolasjon blir mindre påvirket av tilsmussing enn gammel, da den ikke har så mange punkt som er nedbrutt og sprukket.

Vanlige feil - Statorvikling

Håndboken lister opp de skadetyperne som er mest aktuelle for statorviklingen:

- Svakheter i spolehodeisolasjonen
- Svekket vindingsisolasjon
- Svekket hovedisolasjon
- Innvendig glimming (partielle utladninger)
- Følgeskader på statorvikling forårsaket av skader på statorblikk
- Løse viklingsselementer
- Løse sporkiler
- Glimming i faseskillene
- Manglende elektrisk kontakt mellom hovedisolasjon og blikkpakke
- Ødelagt eller skadet sporkil
- Ødelagt potensialstyring i overgang mellom spor og spolehode
- Dårlige viklingsforbindelser
- Tilsmussing og fuktighet

Svekket vindingsisolasjon kan komme av **PD**, transiente overspenninger og termisk nedbryting av isolasjon. Dette kan føre til nedsatt isolasjonsevne og viklingskortslutning. Anbefalt kontroll er vindingsprøve.

Svekket hovedisolasjon kan komme av kontinuerlig termisk, elektrisk og mekanisk nedbryting, samt **PD**. Dette kan føre til nedsatt isolasjonsevne, gjennomslag og økende **PD**. **PD** er en kontinuerlig nedbrytningsprosess som raskt vil øke når nivået når en grense. Anbefalte målinger er spenningsprøve, uttak av prøvestaver og måling av **PD**. Anbefalte metoder for måling av **PD** er $\tan\delta$, **DLA** og **PDA**.

Løse sporkiler kan føre til at viklingsselementer løsner og begynner å vibrere. Oppstår dette kan en få sekundærskader som mekanisk slitasje og **PD**. Slitasjene kan slite bort sporkilken som vil føre til **PD**. Sporkilene kan løsne

av temperatursvingningene, eller setninger og krymping av isolasjonen som følge av aldring. Anbefalte kontrollmetoder er visuell inspeksjon, kilekontroll, osonmåling og PDA-måling.

Glimming i faseskillene medfører erosjon som ødelegger isolerlakken. Dersom dette har funnet sted kan en oppdage et hvitt pulver og etter en tid synlig erosjon. Håndboken anbefaler å måle $\tan\delta$, DLA og PDA over tid. Endrer verdien seg vil visuell kontroll bekrefte feilen. I tillegg nevnes osonmåling, akustiske observasjoner og glimprøve i mørket.

Viklingene blir tilsmusset av oljedamp og støv på overflatene. Indikasjon på fuktighetstilstanden til isolasjonen kan måles ved likespenningsmåling med estimert polarisasjonsindeks. Dersom denne målingen gir liten variasjon mellom fasene og det likevel er lav isolasjonsmotstand, skyldes det mest sannsynlig tilsmussing eller fuktighet. Visuell inspeksjon og måling av lekkstrøm anbefales i tillegg.

Alle skadetyperne beskrevet over, utenom tilsmussing, vil føre til PD. $\tan\delta$, DLA og PDA er teknikker brukt til å måle PD. Teknikkene er beskrevet i Kapittel 2.6.7. PDA kan måles under drift, men $\tan\delta$ og DLA krever at maskinen stoppes. $\tan\delta$ brukes vanligvis for generatorer over 10 MVA. Ved glimming på statorviklingenes overflate utvikles osongass. Siden PDA kan brukes under drift er det en kandidat til tilstandsovervåking.

Håndbok - Rotor

Rotoren overfører det mekaniske dreiemomentet i turbinen til elektrisk effekt i statorviklingene. For å overføre kraften til stator påføres spenning i spoler på rotoren. Spolene i rotor skaper da et kraftig magnetisk felt som passerer de stillestående spolene i stator 50 ganger i sekundet. Rotorspolene er vekselvis positivt og negativt lader, og det er dette som skaper den sinusformede vekselspenningen ut fra generatoren. Energien i rotorspolene blir overført via sleperinger eller en berøringsfri magnetiseringmaskin. I Jøssang er dette gjort via sleperinger. Sleperingene er montert øverst på akslingen i eget kammer med støvavsug slik at ikke børstestøv skal tilsmusse generatoren.

Rotor er koblet til turbinen via akslingen. Rotor er på samme måte som stator tilpasset forhold som effekt, omdreininger i minuttet og monteringsretning. I nyere kraftverk er det vanlig med brems til bruk under normal og hurtigstopp. Sammen med trykkoljeavlastning reduserer dette slitasje ved start og stopp.

Påkjenninger - Rotor

Under drift utsettes rotor for mekaniske, dielektriske, termiske og påkjenninger fra miljøet. Rotasjonen fører til kontinuerlige sentrifugale krefter. I forbindelse med kraftoverføringen fra aksling til stator blir rotor utsatt for et dreiemoment. Disse kreftene står for de stasjonære mekaniske kreftene. I tillegg vil det i enkelte situasjoner oppstå transiente krefter som er langt større enn de stasjonære kreftene. Dette kan skje ved start, stopp, utfall som fører til rusing, feilinnfasing og kortslutning. Summen av kreftene kan føre til deformasjon, setninger eller sprekkdannelser i rotor. På samme måte som i stator er rotor satt sammen av ulike metaller. Disse vil utvide seg ulikt ved temperaturøkning, som igjen kan føre til spenninger og deformasjon.

Den normale dielektriske påkjenningen er ikke så stor. Men ved overspenninger kan toleransen overgå. Spesielt dersom isolasjonsevnen er redusert med tilsmussing, fuktighet og sprekkdannelser.

Magnetiseringskretser har normalt stor termisk belastning på ca. 100°C. Som nevnt i Kapittel 5.2.1 akselererer høy temperatur aldri prosessen til isolasjonen. Magnetiseringskretsen i rotor er utsatt for tilsmussing og fuktighet. Dette skyldes hovedsakelig oljedamp, bremsestøv og kullstøv fra sleperingene. Jøssang har avsug for å redusere tilsmussing fra disse kildene.

Vanlige feil - Rotor

Håndboken lister opp de skadetyperne som er mest aktuelle for rotor. Samtidig presiserer den at andre feil kan oppstå. Under listen skildres de mest aktuelle i oppgavesammenheng.

- Rotornav – Sprekker
- Poler – Løse kileforbindelser
- Polspole – Nedsatt isolasjonsmotstand
- Polspole – Vindingskortslutning
- Polspole – Sprekker i viklingsuttakene
- Feltledninger og gjennomføringer – Nedsatt isolasjonsmotstand
- Dempevikling – Deformasjoner og sprekker
- Ventilatorvinge – Sprekker
- Sleperinger – Børsteslitasje
- Sleperinger – Sleperingsspor
- Bremsring – Ujevn slitasje

Passrust kan indikere løse kileforbindelser. Passrust dannes der det er små og kontinuerlige bevegelse mellom stålflater. Slike funn bør vurderes av spesialist

for å finne ut om tiltak haster. Passrust identifiseres under visuell inspeksjon som rødbrunt pulver/pasta. Ved å banke på kilene vil en ut fra klangen høre hvilke som er løs.

Nedsatt isolasjonsmotstand kan dannes av sprekker i isolasjonen og tilsmussing. En enkel jordslutning medfører ikke stor fare og generator kan kjøres. Likevel må aggregatet stoppes fordi konsekvensene for jordfeil nummer 2 er uakseptabel stor. En dobbel jordslutning legger deler av magnetiseringskretsen på rotor død, men resterende krets har lik eller større magnetisering. Ubalansen er så stor at rotor vil treffe stator og føre til store skader. Håndboken anbefaler prøvemethodene visuell inspeksjon, megging, rotorjordvern og vibrasjonsvern.

En vindingskortslutning oppstår når isolasjonen mellom vindinger er ødelagt. Da reduseres vindingstallet for den aktuelle polen som vil føre til magnetisk ubalanse i rotor. Forskjellen vil normalt være liten og ikke slå ut vibrasjonsvernet. Men ved hjelp av vibrasjonsanalyse med FFT vil en klare å oppdage det. Vindingskortslutning oppstår av og til, og regnes ikke som en alvorlig feil.

Deformasjon og sprekker i dempevikling kan oppstå ved store påkjenninger som kortslutning eller feilinnfasing, skjevlast, asynkront løp, vekslende termiske påkjenninger og løse poler. Det kan føre til brudd i dempevikling eller varmgang. Løse deler kan bli kastet ut i stator og føre til ytterligere skader. Vet en at slike påkjenninger har oppstått siden forrige revisjon, bør en kontrollere dette punktet. Håndboken anbefaler visuell inspeksjon, penetrantprøving eller ultralydprøving.

Nedsatt isolasjonsmotstand kan føre til den mest alvorlige situasjonen og bør kontrolleres av rotorjordvern og vibrasjonsvern. Vindingskortslutning kan også oppdages av vibrasjonsvernet dersom forskjellen i magnetismen er stor fra de andre spolene.

For de andre skadetyperne anbefaler ikke håndboken målemetoder som kan brukes i tilstandsovervåking.

5.2.2 Oppsummering av håndbøkene - Generator

Fra gjennomgangen av de tre håndbøkene som omhandler generatorer er det ikke identifisert kandidater til tilstandsovervåking på Stator. For statorviklingene er bare PDA identifisert som en nyttig måling i et system for tilstandsovervåking. For rotor er rotorjordvern viktig for å koble ut ved første jortslutning. Den første feilen er ikke farlig, men dobbel jordslutning er svært alvorlig for generatoren. Overvåking av rotorstrøm kan derfor være et nyttig parameter. Vibrasjonvern er nevnt som god tilleggsmåling for jordslutning og vindingskortslutning i rotor.

Kraftverk som følger måleprogram i håndbøkene vil ha en god oversikt over tilstanden til generatoren. Måleprogrammet kan være arbeidskrevende da det baserer seg på manuelle prøvemeter og visuell kontroll. De fleste metodene krever at maskinen stoppes og delvis åpnes.

5.2.3 Vedlikeholdshistorikk - Generator

Her presenteres noen av de feilene som er registrert mot generatoren av driftsentralen i tidsrommet mellom januar 2013 og april 2016:

09.03.2014 01:36 falt aggregatet ut med alarm på vern, undermagnetisering og rotorstrøm. Det var registrert at det hadde gått kraftig undermagnetisert det siste døgnet, men at styringen ikke reagerte på noen forsøk driftsentralen gjorde på å endre driften. Maskinen ble startet igjen med en mann i stasjonen som satt setpunkt lokalt. Dette gikk, men det er ikke skrevet noe om videre arbeid.

08.05.2014 07:21 kom en alarm om høy sone for magnetisering i spenningsregulatoren. Etter står det bare at en mann går ut og ser på det. Årsaken vites derfor ikke.

Jøssang falt ut 05.11.14 03:58 på grunn av lagerstrøm. Vakt ble tilkalt og fikk lagt aggregatet inn igjen 04:51. Aggregatet falt så ut igjen av samme feil 19:17. Det står ingenting om hva som er gjort, men 07.07.2015 12:57 er jobben avslutte med teksten: "Avslutter denne da dette må være utbedret". Det viser en manglende utfylling av historikk av enkelte arbeidere. Dette resulterer i dårligere historisk grunnlag å basere undersøkelser på.

Det ser ikke ut til å være mye feil på generatoren direkte utenom tre tilfeller med lagerstrøm. Den manglende beskrivelser gir ikke godt nok grunnlag til å spekulere rundt årsaken. Men det er likevel verd å merke seg at lagerstrøm har oppstått tre ganger, hvorav to tilfeller var samme dag.

5.2.4 Planlagt vedlikehold 2016-2026 - Generator

I listen over planlagte jobber mellom 2016-2026 er det identifisert 8 ulike jobber tilknyttet generatoren. En med 6M, fire på 12M, en på 24M, en på 60M og en på 96M, se Tabell 5.5.

Jobb nummer 1 går ut på å spyle gjennom kjøleren for generatoren. Er det tegn til gjengroing skal endedeksel demonteres og kjøler stakes.

Jobb nummer 2 går ut på å kontrollere bremseanlegget. Sjekkpunkter er lekkasje i bremsekyndler, bremseflater, tetninger i rørsystemet og sensorer. Rengjør om

Tabell 5.5: Planlagte jobber på generator mellom 2016-2026

Nr.	Posisjon for periodisk vedlikehold	Korttekst - plan	Korttekst - arbeidsordre	Timer
1	Jøssang: AG1_KJØLING	Kjøling - Aggregat 24M	24M RENGJØRING	7.6
2	Jøssang: AG1_BRMS1	Bremseklosser - Aggregat	12M KONTROLL - MÅLING	2
3	Jøssang: AG1_GEN	Generator - stor	12M KONTROLLMÅLING - VISUELL INSPEKSJON	8.3
4	Jøssang: AG1_GEN	Generator - stor	60M VISUELL INSPEKSJON	3
5	Jøssang: AG1_GEN	Generator - stor	12M RENGJØRING	2
6	Jøssang: GENLAG1 Bytte kjøler	Bytting av kjøler Jøssang	6M Bytte kjøler	0.5
7	Jøssang: AG1_BØRSTEAVSUG	Børsteavsug	96M KONTROLL	1
8	Jøssang: AG1_BØRSTER	Børster - aggregat 12M	12M RENGJØRING	5

nødvendig. Til slutt skal tykkelsen på bremsebelegget måles og registreres. Er det nedslitt skal bremsebelegg skiftes.

Jobb nummer 3 er den største jobben registrert for generatoren. Den går ut på å sjekke statorviklinger, statorhus, statorblikkpakke, rotor, ventilatorvingene, passrust, dempeviklingene, bremseringen og impedenskontroll av rotor. Nesten alle komponentene kontrolleres rent visuelt. Fingrene på blikkpakken kontrolleres med hammerslag, kjølevingene på rotor sjekkes boltemoment og rotorimpedans måles.

Jobb nummer 4 er også en visuell inspeksjon av statorvikling. Her skal en se etter løse spoler, uttak/overkoblinger og sprukken isolasjon. I tillegg skal en måle isolasjonsmotstanden og viklingsmotstanden.

Jobb nummer 5 er en rengjøringsjobb som utføres etter årlig revisjon.

Jobb nummer 6 er halvårlig bytte av kjøler.

Jobb nummer 7 er visuell kontroll av børsteavsug. Filter skal rengjøres eller skiftes og tømmes for støv.

Jobb nummer 8 er en rengjøringsjobb av børstene. Her skal motstanden måles før og etter rengjøring. Børster skiftes ved behov. Holder, kabler og tilkoblinger sjekkes for skade.

Det er viktig å merke seg at alle jobbene i Tabell 5.5 blir utført med rotor i generatoren. En ingeniør i Lyse informerte om at rotor normalt ikke blir tatt ut av generator med mindre enn 20-25 års mellomrom på grunn av arbeidsomfanget ved en slik operasjon.

Stator blir kontrollert visuelt i jobb nummer 3. Pressfingrene sjekkes også med hammerslag. Ut fra skadetyper presentert i håndbok ser dette tilfredsstillende ut.

Statorviklinger er kontrollert i jobb nummer 3 og 4. Jobb nummer 3 utfører visuell inspeksjon på viklinger og dempeviklinger. Jobb nummer 4 er også visuell, men fokuserer bare på viklingene. Her skal en se etter løse og skadde viklinger. Isolasjonsmotstanden og viklingsmotstanden skal måles. Håndboken anbefaler visuell kontroll som en indikator for flere av skadetyperne, men beskriver hvordan andre metoder må brukes for å bekrefte årsak. PDA og $\tan\delta$ nevnes ikke i planlagt vedlikehold. Håndbøkene fokuserer mye på hva effekt PD har på aldringen av isolasjonen og bør på det grunnlag vurderes på Jøssang.

Rotor og ventilatorvinger kontrolleres visuelt på jobb nummer 3. I tillegg måles impedansen til rotorkretsen. Under “Flux-måling” i Kapittel 2.6.7 stiller en studie spørsmål til nytteverdien av impedansmåling på bakgrunn av det blir utført i stillstand. Boltmomentet sjekkes på ventilatorvingene. Det presiseres at en skal se etter passrust, noe som kan indikere løse kileforbindelser. Også bremsen og børstene kontrolleres i jobb 1, 7 og 8. Håndbok anbefaler i tillegg vibrasjonsvern og rotorjordvern. Dersom det er installert vil programmet dekke behovet identifisert i håndbok.

5.2.5 Instrumentering på generator

Tabell 5.6 viser analoge signaler og målinger tilknyttet generatoren. Som en ser er alle målinger temperaturmålinger utenom de elektriske målingene for aktiv og reaktiv effekt, spenning og strøm. I luftkjølingen er det temperaturmåling på luft inn og ut av generatoren, beskrevet i tabellen med “varm” eller “kald”. Så er det en temperaturmåler for luften inne i kammeret for børstene. I blikkpakken ser det ut til være 4 temperaturfølere. I statorviklingene er det 2 temperaturfølere i hver fase, 6 totalt. De siste temperaturfølerne for generatoren er for kjølevannet som går gjennom varmevekslerne på utsiden av generatoren. Det er temperaturmåling på vann både inn og ut av varmeveksleren. Temperaturmålerne ser ikke ut til å kunne bidra med ytterligere tilstandsovervåking for skadetyperne fra håndbøkene.

I Tabell 5.7 er alle de digitale signalene tilknyttet generatoren listet opp. Dette er dataverdier registrert i styresystemet eller boolske signaler for alarmer. For stator er det 4 alarmsignaler, 2 for viklinger og 2 for blikkpakken. Hver av de er høyalarm eller kritisk høyalarm for temperatur. For kald- og varmluft er det også høy og kritisk høy alarm. I tillegg er det signaler på kjølevannstemperaturen. For slepering er også alarm for høy og kritisk høy temperaturalarm, gjengitt i listen med “HH” og “HHH”.

I dette kapittelet er bare instrumentene til stator, viklinger og rotor tatt med.

Instrumentering på lagrene beskrevet i Kapittel 5.3. Tabell 5.9 er måling for vibrasjonshastighet listet opp for både øvre og nedre generatorlager. Dette er en fint tilleggsmåling til planlagt vedlikehold. Vibrasjonsmåling ble nevnt håndboken som en kontrollmåling for rotorjordfeil og vindingskortslutning.

Et annet viktig måleparameter for generatoren er rotorstrøm. Jøssang har vern som tripper aggregatet ved høye verdier. Dette beskytter spesielt lagrene mot skade. Dersom det er mulig å hente måleverdien for rotorstrøm ut fra vernet til kontrollsystemet, vil dette være enda en god helseindikator for rotorkretsen.

PDA trekkes frem av håndbøkene som en veldig aktuell kandidat for tilstandsovervåking av statorviklingene. I tillegg bør $\tan\delta$ vurderes ettersom den skal være mer nøyaktig. Det negative med $\tan\delta$ er at maskinen må stoppes for å utføre målingen.

Håndbøkene har utelatt to andre gode metoder for tilstandsovervåking av generatoren; luftgap- og fluxmåling. Disse er beskrevet i Kapittel 2.6.7 side 28. Luftgapsmåling er et betydelig risikoreduserende tiltak dersom den monteres permanent i stator. En slik måling vil stoppe aggregatet dersom deformasjon eller andre situasjoner oppstår som gjør at rotor kommer for nær stator. Flux-måling vil analysere helsen til rotorspolene og lokalisere en eventuell feil.

For generator er det identifisert 5 parametre som vil gi utførende arbeider og beslutningstakere nyttig informasjon:

1. Vibrasjonsanalyse med FFT
2. Rotorjordstrøm
3. PDA
4. Air gap
5. Flux

5.2.6 Oppsummering - Generator

Historisk vedlikehold har ikke vist noen sviktmønstre som kan varsles med tilstandsovervåking.

Av eksisterende instrumentering kan bare vibrasjonsmåling brukes på en annen måte for å gi mer informasjon til et system for tilstandsovervåking. Dette kan gjøres ved å utføre FFT-analyse, som krever solid kompetanse for å ikke tolke frekvensspekteret feil. Vibrasjonsanalyse er nevnt i håndboken til rotor som et verktøy til å oppdage ubalanse i rotor som følge av deformasjon eller magnetisk ubalanse. Air-gap måling er også et godt alternativ til deformasjon og til kraftig magnetisk ubalanse.

Tabell 5.6: Analoge signaler tilknyttet generatoren

Type	Maskin	Plassering	Beskrivelse	Omr. Min.	Omr. Max	Enhet
FM	Generator	Drift	G1- 1 Eff. aktiv	0	43,3	MW
FM	Generator	Drift	G1- 1 Eff.reaktiv	-21,6	21,6	Mvar
FM	Generator	Drift	G1- 1 Spg. L1-L2	0	12	kV
FM	Generator	Drift	G1- 1 Strøm L2	0	3000	A
FM	Generator	Kjøler	G1-KJØL.1 Kaldlufttemp.	0	150	°C
FM	Generator	Kjøler	G1-KJØL.1 Varmlufttemp.	0	150	°C
FM	Generator	Kjøler	G1-KJØL.2 Kaldlufttemp.	0	150	°C
FM	Generator	Kjøler	G1-KJØL.2 Varmlufttemp.	0	150	°C
FM	Generator	Kjøler	G1-KJØL.3 Kaldlufttemp.	0	150	°C
FM	Generator	Kjøler	G1-KJØL.4 Kaldlufttemp.	0	150	°C
FM	Generator	Slepering	G1-SLEPER Lufttemp.	0	150	°C
FM	Generator	Stator	G1-STATOR Blikktemp. 4	0	150	°C
FM	Generator	Stator	G1-STATOR Blikktemp.1	0	150	°C
FM	Generator	Stator	G1-STATOR Blikktemp.2	0	150	°C
FM	Generator	Stator	G1-STATOR Blikktemp.3	0	150	°C
FM	Generator	Kjøler	G1-STATOR Kjølev.temp.Kald	0	150	°C
FM	Generator	Kjøler	G1-STATOR Kjølev.temp.Varm	0	150	°C
FM	Generator	Stator	G1-STATOR Vikl.temp. L1 1	0	150	°C
FM	Generator	Stator	G1-STATOR Vikl.temp. L1 2	0	150	°C
FM	Generator	Stator	G1-STATOR Vikl.temp. L2 1	0	150	°C
FM	Generator	Stator	G1-STATOR Vikl.temp. L3. 1	0	150	°C
FM	Generator	Stator	G1-STATOR Vikl.temp.L2.2	0	150	°C
FM	Generator	Stator	G1-STATOR Vikl.temp.L3. 2	0	150	°C

Tabell 5.7: Digitale signaler tilknyttet generatoren

Type	Maskin	Plassering	Beskrivelse	Omr. Min.	Omr. Max	Enhet
FM	Generator	Stator	G1 Vikl temp grense krit. høy	0	150	°C
FM	Generator	Kjøler	G1-KJØL Kaldlufttemp. gr.forv	0	150	°C
FM	Generator	Kjøler	G1-KJØL Kaldlufttemp.grense k	0	150	°C
FM	Generator	Kjøler	G1-KJØL Varmlufttemp. gr.forv	0	150	°C
FM	Generator	Kjøler	G1-KJØL Varmlufttemp. gr.krit	0	150	°C
DM	Generator	Slepering	G1-SLEPER lufttemp.gr. HH	0	150	°C
DM	Generator	Slepering	G1-SLEPER lufttemp.gr. HHH	0	150	°C
FM	Generator	Stator	G1-STATOR Blikk grense høy	0	150	°C
FM	Generator	Stator	G1-STATOR Blikk grense krit.	0	150	°C
FM	Generator	Kjøler	G1-STATOR Kjølev.temp.k. gr	0	150	°C
FM	Generator	Kjøler	G1-STATOR Kjølev.temp.k. gr	0	150	°C
FM	Generator	Kjøler	G1-STATOR Kjølev.temp.v. gr	0	150	°C
FM	Generator	Kjøler	G1-STATOR Kjølev.temp.v. gr	0	150	°C
FM	Generator	Stator	G1-STATOR Vikl. temp. gr.høy	0	150	°C

FM = feilmelding

SP = setpunkt

DM = driftsmelding

Håndboken presenterer flere skadetyper for stator, viklinger og rotor, som i ulik grad er dekket av Lyse sitt planlagt vedlikehold. Stator er tilfredsstillende dekket av planlagt vedlikehold, men noen hull er avdekket for viklinger og rotor. Hvor mangler er identifisert i planlagt vedlikehold ser det ikke ut til at instrumenteringen fyller det gapet.

Håndboken trekker frem **PD** som den største kilden til feil for vikingene. Visuell kontroll kan identifisere dette, men **PDA** vil oppdage det mye tidligere. Studien det vises til i Kapittel 2.6.7 sier at **PDA** noen ganger kan gi indikasjon år i forveien av en svikt. Dette gir koordinatorene god tid til å planlegge en aksjon.

Rotor har flere potensielle utfordringer i følge håndboken. Planlagt vedlikehold har visuell kontroll og impedansemåling en gang i året, men dette gir ikke det sanne bildet som når rotor er i drift. Med sentrifugalkraft og andre krefter involvert så endrer også måleverdiene seg. Flux- og luftgapmålinger vil varsle og identifisere feil under drift. Håndboken nevner rotorjordstrøm og vibrasjonsanalyse som gode målinger til rotor.

FFT-analyse krever solid kompetanse for å ikke tolke frekvensspekteret feil. De andre foreslåtte måleteknikkene krever ikke ekspertkunnskaper.

5.3 Lager

Dette kapittelet vil presentere all tilgjengelig informasjon om lagrene med oljesmurning. Lagrene med oljesmurning er lagrene over og under generatoren. Først presenteres de viktigste momentene fra håndboken. Så gjennomgås vedlikeholdshistorikken, etterfulgt av planlagt vedlikehold mellom 2016 og 2026. Deretter forklares dagens instrumenter og målinger, samt en vurdering om det er behov for andre typer målinger eller tilstandskontroll. Som nevnt i introduksjonen til kapittelet blir funnene drøftet i Kapittel 6.

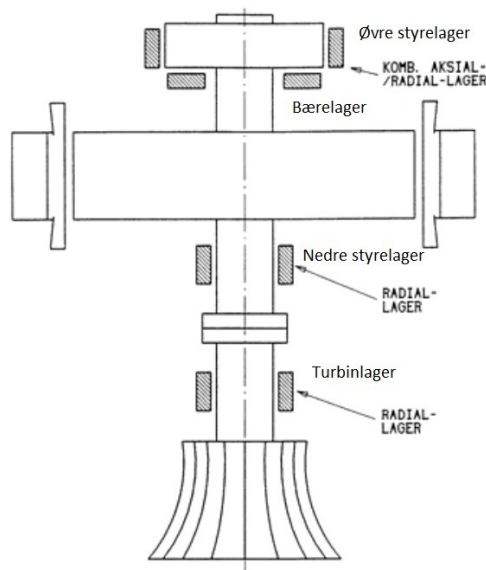
Ved Jøssang kraftverk er det tre ulike lager. Turbinlageret er omhandlet i Kapittel 5.1: **Turbin** fordi det er vannkjølt og -smurt. Her vil bare de oljesmurte lagrene forklares. Det vil si bærelager, øvre styringslager og nedre styringslager. Se Figur 5.2. Bærelager og øver styringslager er kombinert i et lager.

5.3.1 Gjennomgang av håndbok

Lagrene sine oppgaver er å løfte og sentrere de roterende delene i forhold til de stasjonære. Lagrene skal også oppta de ujevne kreftene som kan oppstå som følge av mekanisk og magnetisk ubalanse. Som følge av at det ikke er kontakt mellom lagerflatene består lagertap bare av væskefriksjon i den bærende filmen. Oljefilmen er normalt mellom 30 - 80 μm og øker med turtallet og reduseres med lasten. For å sikre oljefilm i styrelager utføres de med en klaring på 0,3-0,5 mm og skråstilte smørespor i lagerflaten. De oljesmurte lagrene i Jøssang Kraftverk er ekstern vannkjølt. Det vil si at oljen sirkuleres gjennom en varmeveksler utenfor aggregatet. Dette reduserer faren for vannlekkasje inni lageret og forenkler filterbytte og annet vedlikehold.

Siden lagrene sin tilstand er helt essensiell for driften har de normalt ganske omfattende instrumentering. Hvilke type instrumentering som er i Jøssang blir gjennomgått i Kapittel 5.3.4. Håndboken bemerker at lagerhavari ofte utvikles så hurtig at normal overvåking ikke kan hindre det før det er for sent. Håndboken trekker frem temperatur i lagersegmenter og lagerskåler, lagerspenning/akselstrøm og vibrasjonsnivå som spesielt viktige målinger. Temperatur er viktig fordi hver feil i lager, eller andre steder i systemet, gir som oftest utslag på temperaturen i lageret. Lagerspenning/akselstrøm er viktig å måle fordi feil på lagerisolasjonen fort vil føre til skade eller havari i lageret. Et lavt vibrasjonsnivå er viktig fordi høye vibrasjoner kan føre til at oljefilmen brytes og lagerflater skades.

Brukes målingene i system for overvåking med trend vil det gi god indikasjon om skadeutvikling pågår. Avlesing kan være kontinuerlig (instrument) eller



Figur 5.2: Lagerplassering i vertikale aggregat. Byggeform: IM 8425 (W41)
(Eggen, 2005)

manuell (operatør/tekniker) ved faste intervaller. Det anbefales standardiserte skjema for avlesing og måling for å sikre at alle opplysninger kommer med ved hver kontroll.

Håndboken nevner også andre relaterte tilstander som bør overvåkes.

-*Bremsetid* bør trendes fordi en endring i tiden sier noe om den totale friksjonen aggregatet opplever ved nedstengning. Forlenges tiden kan det tyde på at bremsene er dårlig, kortes tiden ned kan det tyde på at trykkavlastningssystemet ikke fungerer optimalt eller at et/flere lager er dårlige.

-*Krypning* betyr at rotor drives rundt av lekkasjevannet når aggregatet ikke er i drift. Da har ingen av lagrene smøring og lagerflatene ligger mot hverandre. Dette betyr at hovedventil og ledeskivene lekker mye og medfører høy risiko for rivning i lagrene. Det er derfor viktig med alarm dersom aggregatet roterer utenom drift.

Påkjenninger

Under drift utsettes lagrene for mekanisk og termisk påkjenning. De mekaniske kreftene i bærelageret skyldes vekten av de roterende delene pluss turbinens hydrauliske tilleggslast. Styrelagrene utsettes for sentrifugalkrefter.

Eksempler på påkjenninger som kan føre til skade er vibrasjoner, ubalanse, skjevbalastning og svikt i kjøle- eller smøreoljesystemet. Feil innfasing og kortslutning i halvt polhjul kan også utsette lagrene for påkjenning.

Håndboken konstaterer at de fleste overbelastninger av lagre i generatorer skyldes feil relatert til turbinen.

Vanlige feil

På generell basis konstaterer håndboken at de færreste lagerskader er forårsaket av feil i selve lageret. Et lager vil vare lenge så lenge det blir driftet med normale verdier for temperatur og vibrasjon, og alltid har god olje. Andre deler av aggregatet har derimot stor innvirkning på slitasjen i lagrene.

De mest aktuelle skadetyperne for lagrene er:

- Klining / plastisk deformasjon
- Krakkelering/sprekkdannelse
- Abrasjon/slipende slitasje
- Pitting/elektroerosjon
- Svikt i kjølesystemet
- Svikt i oljetilførselen
- Svikt i trykkoljeavlastningen
- Avvik i oljekvaliteten
- Avvik i oljenivå
- Instrumentfeil

Klining/plastisk deformasjon kan skyldes skjevlast, statisk overlast, høy temperatur, feil i lagermetallet, svikt i oljetilførsel, svikt i trykkoljeavlastningen eller vibrasjoner. Konsekvensene av klining/plastisk deformasjon kan være tapsøkning, redusert bæreevne, overtemperatur, sammenbrudd av oljefilmen eller lagerhavari. For å påvise dette anbefaler håndboken temperaturkontroll, visuell inspeksjon, oljeprøve, vibrasjonskontroll eller vibrasjonsanalyse.

Krakkelering/sprekkdannelse i lagermetall kan skyldes vibrasjoner, skjevlast eller dynamisk overlast. Anbefalte prøvemetoder er temperaturkontroll, visuell inspeksjon eller oljeprøve. Er det mye vibrasjon og det mistenkes at det er årsaken, anbefaler håndboken også vibrasjonskontroll og - analyse og elektrisk kontroll av stator og rotor.

Abrasjon/slipende slitasje kan forårsakes av uren olje. Anbefalte prøvemetoder er temperaturkontroll, visuell inspeksjon, kontroll av lagerklaring og oljeprøve.

Pitting/elektroerosjon oppstår på grunn av skader i lagerisolasjonen. Dersom det begynner å gå strøm gjennom vil det snart skade overflatene i lageret. Defekt lagerisolasjon kan skyldes aldring av isolasjon, partikler i olje, børstestøv

etc. Anbefalt prøvemethode er lagerstrømsvern, kontroll av akselspenning og lagerspenning, kontroll av isolasjonsmotstand/megging eller visuell inspeksjon.

Svikt i kjølesystem, oljetilførsel, trykkoljeavlastningen og oljenivå kan måles kontinuerlig eller periodevis. Normale måleparametre er nivå, trykk, temperatur og gjennomstrømning. Da vil en ha god kontroll på de systemene. Kontroll av oljekvaliteten derimot trenger mer omfattende analyser. Ofte sender bedrifter oljeprøver til eksterne som utfører analysen. For mer informasjon om oljeanalyser se Kapittel 2.6.6. Det eksisterer også analysatorer som kontinuerlig måler grad av urenheter og vanninnhold i oljer, se Figur 2.13. Disse er trolig ikke så nøyaktige som en labtest, men vil bidra som risikoreduserende tiltak. Med et slikt system kan en vurdere å forlenge intervallet mellom manuelle oljeprøver.

Visuell kontroll nevnes for å se etter tegn til lekkasje, skader og løse deler. For å unngå feilmålinger anbefales test av instrumenter og tilhørende vern årlig eller ved mistanke om feil.

Oppsummering av håndbok - Lager

Totalt sett ser en at lagrene er veldig viktig og utsatt for skader fra andre komponenter. Alle krefter ender opp i lagrene. Energien absorberes av lagrene og går over til varme. Er kreftene for store kan oljefilmen brytes og det oppstår direkte kontakt mellom lagerflatene. Med alle skadetyperne forklart over ser en at kontinuerlig overvåking vil ha en betydelig risikoreduserende effekt. De mest aktuelle og virkningsfulle parametrene ser ut til å være vibrasjon og temperatur, og kontinuerlig oljekontroll. Prosessparametrene som trykk, gjennomstrømning, nivå og temperatur på olje- og kjølesystemene trenger kanskje bare alarmgrenser, mens de andre målingene og kontrollene bør følge det anbefalte måleprogrammet.

Håndboken presenterer et omfattende måleprogram med forslag til kriterier for karaktersetting for alle måleparametrene.

5.3.2 Vedlikeholdshistorikk - Lager

Det er bare identifisert to hendelser knyttet til lager i tidsrommet mellom januar 2013 og april 2016. De er nevnt under historikk for generatoren i Kapittel 5.2.3 på side 76. Den første hendelsen skjedde 09.03.2014 01:36. Da falt aggregatet ut med alarm på vern, undermagnetisering og rotorstrøm. Jobben er ikke videre forklart, men nevnes tilfelle rotorstrøm er årsaken. Den andre hendelsen skjedde 05.22.2014 07:21. Her falt aggregatet ut to ganger på et døgn som følge av

lagerstrøm. Det er ikke skrevet noe om årsak eller tiltak. Det kan derfor være signalfeil, tilsmussing av lager eller dårlig lagerisolasjon.

På grunn av den manglende beskrivelsen kan ikke disse hendelsene vurderes videre i oppgaven.

5.3.3 Planlagt vedlikehold 2016-2026 - Lager

Som listet opp i Tabell 5.8 er det bare identifisert to jobber direkte relatert til generatorlagrene. Det skal nevnes at kontroll av lagrene trolig inngår i årlig revisjon av aggregatet i sin helhet. Dette er likevel ikke nevnt i jobbeskrivelsene for revisjonsjobbene. Lagrene nevnes ikke i jobbene for generator i Kapittel 5.2.4.

Tabell 5.8: Planlagte jobber på generatorlagrene mellom 2016-2026

Nr.	Posisjon for periodisk vedlikehold	Korttekst - plan	Korttekst - arbeidsordre	Timer
1	Jøssang: AG1_LAGEROLJE	Smøreoljelegg - uten filter og pumpe	12M KONTROLL	1
2	Jøssang: AG1_LAGEROLJE	Smøreoljelegg - uten filter og pumpe	60M OLJESKIFT	1.5

Jobb nummer 1 er 12 måneders kontroll ved visuell kontroll av oljekvalitet. Det nevnes at misfarging kan skyldes vannlekkasje fra kjølekretsen. Det nevnes ikke noe om partikler og urenheter som kan indikere lagerslitasje. Men i samtale med kraftverkssjefen i Lyse sa han at de forventer at fagarbeiderne vet hva jobben går ut på eller tilegner seg den kunnskapen. Derfor beskriver de ikke alle jobbene i detalj, men lister opp alle komponenter som skal inspiseres. I kontrollen inngår også sjekk av lekkasjer på rør og tilkoblinger.

Etter 60 måneder er det lagt opp til å bytte ut oljen eller filtrere den. Til sammenligning har transformatoren oljeanalyser i laboratorium med 96 måneder intervall. Men transformator har ingen bevegelige deler som vil tilføre slitasjepartikler. Dermed vil smøreolje kreve mer oppmerksomhet en trafoolje.

Visuell inspeksjon anbefales av håndboken for klining/plastisk deformasjon, abrasjon/slipende slitasje, pitting/elektroerosjon. Basert på de omfattende visuelle inspeksjonene på generatoren eller, og at kraftverkssjefen har påpekt at de ikke beskriver alle jobbene, kan en gå ut ifra at det utføres visuell inspeksjon på lagrene også. Men for å ha et tilfredstillende program i henhold til håndbøkene bør andre målinger utføres i tillegg. Dette blir gjennomgått og vurdert i Kapittel 5.3.4.

5.3.4 Instrumentering på oljelagre

I Tabell 5.9 er alle analoge målesignaler relatert til lagrene listet opp. En ser at det er delt inn i øvre og nedre lager, hvor øvre igjen er delt inn

i styrelager og bærelager. Det er to trykkmålere, fire vibrasjonsmålere, to oljenivåmålere og 16 temperaturmålere, totalt 24. Trykkmålingene måler oljekretsen. Vibrasjonsmålerne er montert på øvre og nedre lager. En måler hastigheten i vibrasjonen, den andre måler S-Max. Nivåmålerne måler oljenivå i øvre og nedre lager. Temperaturfølerne er montert direkte på lagrene, i det eksterne oljesirkulasjonssystemet og i kjølevannskretsen.

I tillegg til de analoge signalene er det en rekke digitale signaler som vedrører lagrene, men de er stort sett bare Høy-alarm for temperaturene eller Lav-alarm for oljenivået. Disse er listet opp i Tabell 5.10. De som er merket med “HHH” eller “LLL” tripper aggregatet.

En ingeniør i Lyse informerte om en avstandsmåler montert i toppen av akslingen. Den måler hvor mye rotoren løftes under drift. Dette er en god indikasjon på hvor bra løftelageret fungerer. Et hvert avvik i denne målingen kan være alvorlig. Samme ingeniøren fortalte om vern for akselstrøm. Han sa at akselstrøm er veldig alvorlig for lagrene og at det derfor er montert vern mot dette i Jøssang. Ved strømgjennomgang i lagrene kan overflatene skades hurtig. Lagerstrøm kan oppstå dersom lagrene er tilsmusset slik at kryptstrømmer går over isolasjonen, eller dersom lagerisolasjonen er dårlig. I Kapittel 5.3.1 vises det til hvor alvorlig håndboken ser på akselstrøm og i Kapittel 5.2.3 ble det identifisert tre tilfeller der aggregatet stoppet på grunn av lagerstrøm.

Akselerometerne har potensial for utvidet bruk. En ingeniør i Lyse informerte om at systemet i Jøssang kan brukes til kontinuerlig vibrasjonsanalyser. I dag er det bare overføring av S-Max og RMS verdien til vibrasjonshastigheten. Som forklart i Kapittel 2.6.1, så sier ikke vibrasjonsverdien i tidsdomenet mye i forhold til i frekvensdomenet. Sensorene som måler S-Max har også mer potensiale. De kan kobles til en ny modul som kontinuerlig kan måle og visualisere orbital bevegelse til akselen.

Ut fra håndboken identifiseres kontinuerlig oljekontroll og lagerstrømmåling som gode kandidater til tilstandsovervåking. Figur 2.13 viser eksempler på nye instrumenter for måling av oljekvalitet. Slike instrumenter kan være et godt tillegg til de fleste typer oljesystemer. De måler bare vanninnhold og partikkelmengde i olje og kan derfor ikke erstatte jevnlig laboratorieprøver. Instrumentene vil derimot være et bra tilskudd for å redusere risikoen ved at raske verdiendringer mellom labtester kan oppdages. Det er viktig å merke at det ikke ser ut som Lyse sender oljeprøver til laboratorium for smøreoljen. Oljen er blodet i lagrene og sier mye om hva som skjer inni de. I Jøssang er oljetank og pumper montert på nivået under generatoren. Når aggregatet går vil eventuell kondens samle seg

5 : Analyse del 2: Kraftverkskomponenter

Tabell 5.9: Analoge signaler tilknyttet generatorlagrene

Type	Mor	Barn	Beskrivelse	Omr. Min.	Omr. Max	Enhet
FM	Generator	Nedre lager	G1 NS.LAG Trykk	0	1,6	bar
FM	Generator	Øvre lager	G1 ØFLAG Trykk	0	1,6	bar
FM	Generator	Øvre lager	G1-BÆ.LAG Temp. 1	0	150	°C
FM	Generator	Øvre lager	G1-BÆ.LAG Temp. 3	0	150	°C
FM	Generator	Øvre lager	G1-BÆ.LAG Temp. 4	0	150	°C
FM	Generator	Øvre lager	G1-BÆLAG Temp. 2	0	150	°C
FM	Generator	Nedre lager	G1-NS.LAG kald oljetemp. 2	0	150	°C
FM	Generator	Nedre lager	G1-NS.LAG Kjølev.temp.Kald	0	150	°C
FM	Generator	Nedre lager	G1-NS.LAG Kjølev.temp.Varm	0	150	°C
FM	Generator	Nedre lager	G1-NS.LAG Oljenivå	0	100	%
FM	Generator	Nedre lager	G1-NS.LAG Temp. 2	0	150	°C
FM	Generator	Nedre lager	G1-NS.LAG Vibrasjon Acc.-C	0	25	mm/s
FM	Generator	Nedre lager	G1-NS.LAG Vibrasjon S-Max	0	550	µm
FM	Generator	Nedre lager	G1-NSLAG Oljetemp.	0	150	°C
FM	Generator	Nedre lager	G1-NSLAG Temp.	0	150	°C
FM	Generator	Øvre lager	G1-ØFLAG Oljenivå	0	100	%
FM	Generator	Øvre lager	G1-ØS.LAG Temp. 2	0	150	°C
FM	Generator	Øvre lager	G1-ØS.LAG Vibrasjon Acc. C	0	25	mm/s
FM	Generator	Øvre lager	G1-ØS.LAG Vibrasjon S-Max	0	550	µm
FM	Generator	Øvre lager	G1-ØSLAG Oljetemp.	0	150	°C
FM	Generator	Øvre lager	G1-ØSLAG Temp.	0	150	°C
FM	Generator	Øvre lager	G1-ØV.LAG Kald olje temp	0	150	°C
FM	Generator	Øvre lager	G1-ØV.LAG Kjølev.temp.Kald	0	150	°C
FM	Generator	Øvre lager	G1-ØV.LAG Kjølev.temp.Varm	0	150	°C

Tabell 5.10: Digitale signaler tilknyttet generatorlagrene

Type	Mor	Barn	Beskrivelse	Omr. Min.	Omr. Max	Enhet
DM	Generator	Øvre lager	G1-BÆLAG Temp.gr. HH	0	150	°C
DM	Generator	Øvre lager	G1-BÆLAG Temp.gr. HHH	0	150	°C
DM	Generator	Nedre lager	G1-NS LAG Kj.v. t. k.gr. HH	0	150	°C
DM	Generator	Nedre lager	G1-NS LAG Kj.v. t. k.gr. HHH	0	150	°C
DM	Generator	Nedre lager	G1-NS LAG Kj.v. t. v.gr. HH	0	150	°C
DM	Generator	Nedre lager	G1-NS LAG Kj.v. t. v.gr. HHH	0	150	°C
DM	Generator	Nedre lager	G1-NS LAG Oljenivå grense HH	0	150	°C
DM	Generator	Nedre lager	G1-NS LAG Oljenivå grense HHH	0	150	°C
DM	Generator	Nedre lager	G1-NS LAG Oljenivå grense LL	0	150	°C
DM	Generator	Nedre lager	G1-NS LAG Oljenivå grense LLL	0	150	°C
DM	Generator	Nedre lager	G1-NSLAG Oljetemp.gr. HH	0	150	°C
DM	Generator	Nedre lager	G1-NSLAG Oljetemp.gr. HHH	0	150	°C
DM	Generator	Nedre lager	G1-NSLAG Temp.gr. HH	0	150	°C
DM	Generator	Nedre lager	G1-NSLAG Temp.gr. HHH	0	150	°C
DM	Generator	Øvre lager	G1-ØF LAG Kj.v. t. k.gr. HH	0	150	°C
DM	Generator	Øvre lager	G1-ØF LAG Kj.v. t. k.gr. HHH	0	150	°C
DM	Generator	Øvre lager	G1-ØF LAG Kjølev. t. gr. HH	0	150	°C
DM	Generator	Øvre lager	G1-ØF LAG Kjølev. t. gr. HHH	0	150	°C
DM	Generator	Øvre lager	G1-ØF LAG Oljenivå grense HH	0	150	°C
DM	Generator	Øvre lager	G1-ØF LAG Oljenivå grense HHH	0	150	°C
DM	Generator	Øvre lager	G1-ØF LAG Oljenivå grense LL	0	150	°C
DM	Generator	Øvre lager	G1-ØF LAG Oljenivå grense LLL	0	150	°C
DM	Generator	Øvre lager	G1-ØSLAG Oljetemp.gr. HH	0	150	°C
DM	Generator	Øvre lager	G1-ØSLAG Oljetemp.gr. HHH	0	150	°C
DM	Generator	Øvre lager	G1-ØSLAG Temp.gr. HH	0	150	°C
DM	Generator	Øvre lager	G1-ØSLAG Temp.gr. HHH	0	150	°C

FM = feilmelding

DM = driftsmelding

i tanken. Da kan en vannsensor i tanken kunne oppdage en vannlekkasje. Blir partikkelmåler montert i oljeutløpet fra lagrene vil en økning i partikkelmengden si at slitasje har økt. Dette bør gi alarm og labtest må utføres for å finne ut hva type slitasje som er årsaken. Med disse målingene kan det vurderes om intervall mellom visuell kontroll og oljebytte kan forlenges.

Håndboken trekker frem lagerstrøm som årsak til pitting/elektroerosjon. En ingeniør i Lyse sa at dette fort kan føre til havari i lageret fordi lagerflatene blir skadet. Jøssang har har vern som oppdager rotorjordstrøm og stopper aggregatet i slike tilfeller. Årsakene til elektroerosjon som håndboken trekker frem er aldring av isolasjon, partikler i olje, børstestøv etc. Dette er avvik som utvikler seg over tid og kan dermed oppdages før en svikt ved å trenge måleverdien til rotorjordvernet. Dette forutsetter at denne verdien lar seg hente ut av vernet.

Med antakelse om at det utføres rimelige visuelle kontroller, vil målingene over og planlagt vedlikehold gi god kontroll over lagertilstanden.

5.3.5 Oppsummering - Lager

[Zhou et al. \(2007\)](#) skriver at lagerfeil står halvparten av problemene for elektriske maskiner. De nevner hovedmetodene for å måle tilstanden til et lager: vibrasjon, temperatur, kjemi, akustisk, lydtrykk og strømmåling. Vibrasjonsmåling trekkes frem som en populær og pålitelig. En ruhet i lagerflater vil gi utslag på frekvensspekteret fra en FFT-analyse. De lister også opp mulige årsaker til temperaturøkning i et lager: dårlig smøremiddel, høyt turtall eller høy temperaturutvikling inni maskinen. Det negative med temperaturmåling er at andre analyser må utføres for å finne årsaken til temperaturøkningen. [Whittaker and Shives \(1983, s.161\)](#) skriver at temperaturmåling varsler for sent. Når tilstanden til lageret er slik at temperatur utvikles, er resterende liv veldig kort. Dette gir ikke vedlikehold tid nok til å forberede seg, så tilleggsmålinger er anbefalt.

Håndboken har presentert flere skadetyper som kan oppstå i et lager. Disse er ikke dekket i særlig grad av identifisert planlagt vedlikehold. Det er likevel gjort antakelse om at Lyse utfører visuell kontroll på lagrene i forbindelse med revisjonen og arbeidet på generatoren. Antakelsen er gjort som følge av lite detaljer i arbeidsbeskrivelsene.

Temperatur blir nevnt som en faktor som kan gjøre skade på lagrer. Jøssang har temperaturmåling på lagrene, i oljen og kjølevannet. Sensorene gir alarm ved gitt nivåer og regnes derfor som tilfredstillende overvåking av temperatur.

Dagens vibrasjonsmålinger sender vibrasjonshastigheten og S-Max i kontrollsystemet. S-Max indikerer bare maks verdien og sier ikke noe om retning for bevegelsen. Dette kan et orbital-plot vise. Vibrasjonshastigheten RMS verdien i tidsdomenet. Det er en samleverdi for alle frekvensene i vibrasjonen. En slik verdi kan skjule store endringer i en enkel frekvens og gir ikke noe indikasjon om hva årsaken til vibrasjonen kan være. Vibrasjonsanalyse med FFT vil derfor gi god tilleggsinformasjon.

Håndboken trekker frem bremsetid og kryping som situasjoner som bør overvåkes og trendes. Bremsetiden kan øke eller reduseres, noe som vil indikere dårligere bremseeffekt eller økt friksjon i aggregatet. Oppstår kryping er lekkasjen så stor at turbinen roterer. Dette vil være skadelig for lagrene ettersom de ikke har smurning. En alarm fra turtallsmåleren vil være nok til å varsle en slik situasjon.

En ingeniør informerte om en avstandsmåler montert på toppen av akslingen som måler hvor mye bærelageret løfter akslingen under drift. Ved å trende denne verdien får en god oversikt over tilstanden til bærelageret.

Oljekvaliteten er svært viktig for å unngå slitasje på lageret og Lyse utfører derfor årlig visuell kontroll og femårlig oljebytte. Det står i håndboken at de lagerskader er som følge av feil andre steder enn lagrene. Normal lagerslitasje vil pågå over tid og kan oppdages som urenheter i visuell kontroll. Men fordi feil andre steder kan skade lageret kan dette føre til andre degraderingsgrader. En kontinuerlig partikkelmåling vil derfor gi bedre beskyttelse mot uforutsette hendelser. En vannsensor i oljen vil også være et godt risikoreduserende tiltak for vannlekkasjer mellom revisjoner.

Lagerstrøm er annen faktor som kan skade generatorlagrene. Jøssang har rotorjordvern som stopper aggregatet dersom grenseverdien nås. Aldring av isolasjon eller tilsmussing kan føre til lagerstrøm. Dette er avvik som ikke utvikler seg fort. Det bør derfor undersøkes om måleverdien fra vernet kan tilføres kontrollsystemet for så å trende verdiene med varsling ved endring. Dette vil gi en tid til å utføre tiltak før en svikt oppstår.

Av de nevnte måleteknikkene er det bare vibrasjonsanalyse med FFT som krever spesialkompetanse.

5.4 Transformator

Lyse har ikke håndbok som omfatter transformatoren. Informasjonen i dette kapittelet vil derfor være basert på samtaler med ingeniører i Lyse, informasjon tilegnet ved anleggsbesøk, dokumentasjon fra Alstom og litteraturstudien.

I Kapittel 4.4 er det forklart at transformatoren står i et eget rom. Dette er som følge av sikkerhetsmomentet tilknyttet transformatoren. Derfor er dette den eneste maskinen i den årlige *Risiko og sårbarhet (ROS)*-analysen. En transformator har to faremomenter: oljen og kortslutningsenergien. Transformatoren i Jøssang inneholder 13 tonn olje (MainTech, 2016). Oljens oppgave er både å kjøle og isolere viklingene. Transformatoroljen blir sirkulert gjennom en varmeveksler tilknyttet kjølevannsystemet. Transformatoren har 11 kV på primærsiden og 132 kV på sekundærsiden. Under drift er sekundærsiden tilknyttet nettet i regionen. Når anlegget ikke er i drift er transformatoren spenningsløs og utgjør ingen risiko. Oppstår en oljelekkasje har oppsamlingskum under trafoen plass til all oljen. Men en kortslutning under drift kan gjøre stor skade. En kortslutning er en eksplosjonslignende hendelse som begrenses av hvor hurtig vernene kobler ut. I verste fall kan oljen antennes. Svikt i transformatorer skyldes vanligvis lyn, koblingstransienter, kortslutninger og andre hendelser (Wang et al., 2002). Transformatorer er normalt utsatt for følgende aldringsmekanismer: mekaniske krefter, termisk aldring, spenningsbelastning og forurensning.

Herdlevær (2016) diskuterer hva som skiller nye og gamle transformatorer. Problemstillingen i artikkelen kommer fra kunder som har hatt feilfrie transformatorer i mange tiår, men som opplever at nye transformatorer svikter i ung alder. Herdlevær (2016) forklarer at det i tiden rundt 1990 markerer et skille i hvordan elektriske maskiner ble designet og bygget. Før 1990 var utregningene og designet gjort for hånd og ekstra marginer ble lagt inn for at ikke "min" transformator skulle feile. I dag er design utført ved hjelp av datasimuleringer og marginene minker for å lage billigere og mer effektive maskiner. Han mener likevel at transformatorer ikke trenger være dårligere i dag, men at kunden må være bevisst i valg av komponenter.

Lundgaard et al. (2004) oppsummerer utfordringene rundt transformatorer. Før ble transformatorer sett på som store maskiner en ikke trengte å tenke på, men slik er det ikke lengre. Svikt og eksplosjoner i trafo gir lange nedetider og har derfor høy prioritering ved vedlikehold. Transformatorer er en kostbar komponent, har lang leveringstid og ved svikt er konsekvensene alvorlige. For å redusere fremtidige kostnader er det derfor viktig å ha oversikt over

aldringsmekanismene. I rapporten trekker de frem viklingene som den mest utsatte delen. Viklingene er utsatt for ikke-reversibel aldring.

NVE skrev et vedtak til Statnett om å samle inn tilstandsdata fra eierne av alle transformatorer over 30 kV. NVE begrunner vedtaket med at transformatorer er sentrale i kraftsystemet (Arnesen and NVE, 2012). I sjekklisten står det at oljeanalyser i henhold til NEK 240-1 skal inneholde DGA og GOT. Begge skal utføres innen 1-6 år. For DGA skal bare en feilkode rapporteres, men for GOT skal følgende rapporteres:

- Vann i isolasjon ved likevekt (beregnes) - Enhet: %
- Nøytralisasjonsverdi - Enhet: mg KOH/g
- Inhibitor, DBPC - Enhet: %

Lyse utførte en ROS-analyse for Jøssang kraftverk i 2014 med oppdatering i 2016. ROS vurderer risikofaktorer med hensyn på personsikkerhet, økonomi og ytre miljø. Denne rapporten omfatter ingen hendelser som er relevant i forhold til denne oppgaven utenom brann/eksplosjon i transformatoren. Rapporten viser at på grunn av store oljemengder i trafoen kan en alvorlig feil føre til store skader. Rapporten viser også til flere tiltak Lyse utfører jevnlig for å ha kontroll over tilstanden på transformatoren. Av disse kan årlige oljeprøver, termografering, vern og overvåking nevnes.

Lyse er bevisst på faremomentene for transformatorer. Kraftverkssjefen sa i en samtale at transformatoren i Jøssang er en av komponentene de har best kontroll over tilstanden til.

5.4.1 Vedlikeholdshistorikk - Transformator

Det er ikke identifisert noen feil eller hendelser rapportert inn av driftsentralen fra januar 2013 til april 2016.

5.4.2 Planlagt vedlikehold 2016-2026 - Transformator

I Tabell 5.11 er de seks jobbene som er identifisert for tidsrommet 2016 - 2026 listet opp.

Ved jobb nummer 1 i Tabell 5.11, 120 måneders kontroll, skal steinfilter, rister, fester, oljegruber, overløpssystem og pumper kontrolleres. Så skal fundamentet og rommet sjekkes for skader og setninger.

Jobb nummer 2 er en oljeanalyse som jobbeskrivelsen sier skal utføres i henhold til NEK 240-1. Dette er en norsk standard som omhandler isoleroljer i transformatorer og brytere med tilhørende oljefyllt utstyr. Standarden har ikke

Tabell 5.11: Planlagte jobber på transformator mellom 2016-2026

Nr.	Posisjon for periodisk vedlikehold	Korttekst - plan	Korttekst - arbeidsordre	Timer
1	Jøssang: NISJE1	Kontroll - Transformatornisje	120M KONTROLL	8
2	Jøssang: T1_OLJEANALYSE	Transformator OLJEANALYSE	12M OLJEANALYSE	1
3	Jøssang: T1_OLJEANALYSE	Transformator OLJEANALYSE	96M OLJEANALYSE	0.5
4	Jøssang: T1	Transformator m/lastkobler	24M KONTROLL - KALIBRERING - LEKKASJETESTING	8
5	Jøssang: T1	Transformator m/lastkobler	24M RENGJØRING	3
6	Jøssang: T1	Transformator m/lastkobler	48M FUNKSJONSTEST - KONTROLL	4.2

vært tilgjengelig, men [Arnesen and NVE \(2012\)](#) skriver at NEK 240-1 inneholder [DGA](#) og [GOT](#). Dette er forklart i innledningen til kapittelet. Transformatoren i Jøssang er 132 KV og faller inn under kravene i vedtaket.

Jobb nummer 3 er oljeanalyse. Denne skal også utføres i henhold til NEK 240-1, men skal i tillegg sendes til laboratorium for analyse av furaner. Denne testen er forklart i [Kapittel 2.6.6: Oljeanalyse](#).

Jobb nummer 4 har flere kontrollpunkt. Her skal kasse, lokk, jording, nullpunkt og oljenivå sjekkes. Gjennomføringer, strømførende tilkoblinger, isolasjon skal sjekkes for skader og tegn til krepstrøm. Jording og skrueforbindelser kontrolleres, og oljelekkasjer søkes etter. Til sist skal målekrets med tilhørende utstyr for temperaturmåling kontrolleres.

Jobb 5 er rengjøring. Det gjøres hvert andre år.

Jobb nummer 6 er en 4-årlig funksjonstest og kontroll. Alt av utstyr, alarmer og funksjoner testes lokalt og fra driftssentralen.

Det er identifisert en planlagt jobb for termografi som ikke er rettet mot noe utstyr. Den skal utføres hver 12. måned med 3,5 estimerte arbeidstimer. I arbeidsbeskrivelsen står det bare "Utfør i henhold til instruks". Hva som termograferes er derfor usikkert, men [ROS](#)-analysen nevner termografering av transformatoren. Trolig inngår også generatortilkoblinger og tavler i jobben. [Wang et al. \(2002\)](#) skriv at termografering av utsiden til en transformator blir gjort under drift. Målet er å oppdage varme punkter, tette punkter i kjølekretsen og kontrollere elektrisk tilkobling.

Ut fra de identifiserte degraderingsmekanismene fra introduksjonen til dette kapittelet og forklaringen av Furananalyse i [Kapittel 2.6.6](#), ser planlagt vedlikehold tilfredsstillende ut. Eneste punktet som kan vurderes er intervallet mellom furaneranalysene. I dag er intervallet på 96 måneder eller 8 år. Lyse har

Tabell 5.12: Analoge signaler tilknyttet transformatoren

Type	Mor	Barn	Beskrivelse	Omr. Min.	Omr. Max	Enhet
FM	Trafo	Olje	T1-Oljekum nivå	0	1,83	m
FM	Trafo	Olje	T1 Oljetemp.	0	150	°C
FM	Trafo	Vikling	T1 Vikl.temp.	0	150	°C
FM	Trafo	Kjøler	T1-KJØLER Oljetemp inntak	0	120	°C
FM	Trafo	Kjøler	T1-KJØLER Oljetemp utløp	0	120	°C
FM	Trafo	Kjøler	T1-KJØLER Vanntemp inntak	0	120	°C
FM	Trafo	Kjøler	T1-KJØLER Vanntemp utløp	0	120	°C

FM = feilmelding

Tabell 5.13: Kontrollsignaler tilknyttet transformatoren

Type	Mor	Barn	Beskrivelse	Kommando
FM	Trafo	Gass	T1- Gass	Forv
VE	Trafo	Gass	T1- Gass kritisk	Stopp
FM	Trafo	Olje	T1- Overtrykksventil	Forv
FM	Trafo	Kjøler	T1-KJØLER Lekkasje	Forv
FM	Trafo	Kjøler	T1-KJØLER Oljesirk. min	Forv
FM	Trafo	Kjøler	T1-KJØLER Vannsirk. min	Forv

FM = feilmelding

VE = vern

trolig utført grundig risikoanalyse for transformatoren, men et så langt intervall kan gi dårlig prediksjon av utviklingen.

5.4.3 Instrumentering på transformator

Av analoge signaler på transformatoren er en for nivå i oljekum og de andre for temperatur, se Figur 5.12. I selve transformatoren er det temperatursensor i viklingene og i oljen. På utsiden av transformatoren henger varmeveksleren for vannkjøling. Når anlegget går pumpes olje gjennom kjøleren samtidig som kjølevann. Her er det temperaturmåling inn og ut av kjøleren for både oljen og vannet.

I Tabell 5.13 listes noen signaler som ikke gir ut en måleverdi, men som varsler driftsentralen eller stopper kraftverket. Øverst i tabellen ser en at det er en gassalarm i traforommet for å detektere avgassing fra trafooljen. Dette kan skje ved høy temperatur i transformatoren. Ved overtrykk i trafo letter overtrykksventilen som gir alarm. De neste er alarmer for lekkasjevarsel i kjøleren og varsling mot for liten gjennomstrømning av både olje og kjølevann.

I Kapittel 2.6.6, [Oljeanalyse](#) på side 26, er to instrument forklart. Den første er en sensor som måler urenheter i olje som renner gjennom, og den andre er

en som måler vanninnhold. Den som måler urenheter er ikke så aktuell for en transformator som for roterende maskiner. I en transformator er det ingen bevegelige deler som kan avgi partikler ved slitasje. Parametre som syretall er viktigere i transformatorer. Oppstår det likevel partikler i olje kan dette oppdages visuelt ved den årlige oljekontrollen. Vann er verre å få i oljen fordi det kan lede strøm, hvor oljen isolerer. Blir vanninnholdet for stort vil aldringsprosessen i viklingene øke. Derfor har alle transformatorer en beholder med silica gel som skal oppta vann fra oljen.

Vedlikeholdsprogrammet for transformatoren har ingen grove mangler som instrumentering må kompensere for. De er derfor heller ikke noen anbefalt endring. Det eneste instrumentet som kan gi risikoreduksjon er sensoren for vanninnhold i olje på Figur 2.13b. Dette er mer aktuelt for transformatorer som står ute.

5.4.4 Oppsummering - Transformator

Siden håndbok for transformator ikke har vært tilgjengelig er skadetyper identifisert gjennom litteraturstudie. Det ble ikke identifisert noen tilfeller i vedlikeholdshistorikken. Basert på undersøkelsene ser det ut som planlagt vedlikehold og instrumentering gir god kontroll over tilstanden. Bare sensor for vanninnhold i oljen er identifisert som eventuell tilleggsmåling for tilstandsovervåking.

6 Resultat og diskusjon

Et kraftverk er som en fabrikk. Vannet er råvaren, kraftverket er fabrikk og elektrisk energi er produktet. Alle investeringer Lyse gjør vil være for å effektivisere prosessen i “fabrikken”. Enten ved å øke pålitelighet og tilgjengelighet, eller ved å gjøre prosessen billigere. Ved å øke pålitelighet og tilgjengelighet kan kraftverket bli mer fleksibelt i forhold til når strøm produseres. Dette skjer som følge av produksjonsplanleggerne sin tillit til kraftverket har innvirkning på hvilke nivåer i magasinet de våger å ha før de starter kraftverket. Med større variasjon i magasinet kan man få flere perioder med høy pris for produktet. Dette vil være en indirekte effekt av økt pålitelighet og tilgjengelighet. En direkte effekt er lavere produksjonstap og vedlikeholdskostnader.

Prosesen blir billigere ved å redusere faste og variable kostnader. I faste kostnader inngår alle kostnader som ikke varierer med produksjon. Dette er for eksempel ventilasjon, varme, drenering, lys og nødvendige ressurser til en minimum mengde inspeksjoner. Variable kostnader for et kraftverk er stort sett et resultat av slitasje og svikt som oppstår under drift. Et eksempel på dette er smøreolje. Den er planlagt å bytte hver 60. måned. Har man kontroll over tilstanden kan den byttes ved behov. Kostnaden for materiell er også lavere for planlagt arbeid enn uplanlagt hastearbeid. Da stiger prisen på deler som følge av høyere ekspedisjon og frakt.

Enhver komponent som må virke for at Jøssang skal skape verdi er viktig og må føres kontroll over. I hvilke grad og hyppighet avgjøres av usikkerhet og konsekvens. Kontinuerlig overvåking bør brukes der det reduserer risikoen i betydelig grad eller gir beslutningstagere verdifull informasjon til å utnytte sine ressurser maksimalt.

6.1 Del 1

Del 1 av analysen fokuserer på organisasjonen rundt Jøssang Kraftverk, samt kraftverket sin virkemåte og driftsmønster.

Organisasjonen

Organisasjonen i Lyse Produksjon består av 65 medarbeidere, hvorav 30 jobber direkte med kraftverk. De er både ledelse og utførende personell for drift og vedlikehold. Ingeniørene er erfarne og kommunikasjonen mellom felt og kontor virker god. [Langdal and Trøtteberg \(2002, s.17\)](#) mener at folk fra salg og teknisk drift må komme sammen på etablerte møteplasser. Dette ser det ut til at Lyse har

oppnådd gjennom ukentlige møter og en samstemt målforståelse. Samtaler og intervjuer på hovedkontoret til Lyse viser en sunn holdning og forståelse ovenfor økonomisk nytteverdi i investeringer. Dette forutsetter at systemet er nødvendig for å bedre vedlikeholdet. Derfor er det viktig å kommunisere nødvendighet til alle i organisasjonen, dersom det blir innført et nytt system. [Langdal and Trætteberg \(2002\)](#) skriver at synlighet og engasjement for nødvendige endringer fra ledelsen vil hjelpe med å få hele organisasjonen motivert. [Langdal et al. \(2005\)](#) mener at det må fokuseres på å unngå bruk av gamle rutiner og praksis som kan hindre ønsket utbytte av endringene. Men blir arbeiderne informert om hvordan et slikt system vil hjelpe deres arbeidsdag, i tråd med [Kotter \(1999\)](#) sine 8 trinn, vil de trolig godta behovet. Nye arbeidsmetoder kan ikke tvinges på arbeiderne. Ledelsen bør skape en følelse av nødvendighet slik at arbeiderne vil løse utfordringen med metoden de presenterer. Fra intervjuer og samtaler med ansatte i Lyse kom det frem at eldre fagarbeidere viser størst motstand til endringer. Dette er i tråd med resultatet til [Langdal and Trætteberg \(2002\)](#).

Respondentene av spørreundersøkelsen tror tilstandsovervåking vil ha størst nytte på turbin, generator og transformator (se Vedlegg E). Ingeniørene virker positive til teknologisk utvikling innenfor vedlikehold og har gitt uttrykk for vilje til å lære mer om tilstandsovervåking. De er også opptatt av at systemer for tilstandsovervåking skal være brukervennlige og lite ressurskrevende. SAP har vært brukt i organisasjonen i flere år, men det er litt misnøye rundt den gammeldagse arkitekturen i programmet. I spørreundersøkelsen var arbeiderne positive til bruk av nettbrett i jobben. Med en oversiktlig applikasjon, som kommuniserer med Lyse sine eksisterende IT-løsninger, kan en slik løsning indirekte løse vegringen ovenfor SAP. Dette kan også løse mangelen på kvantitativ utstyrshistorikk gjennom å innføre digitale sjekklistor med karaktersystem i stedet for rapporter i arkivet. Dette kan derimot komme i konflikt med dagens tillitsprinsipp om å ikke beskrive jobbene i detalj.

Selv om organisasjonen i helhet er positive til nye ideer, har de en sunn skepsis og setter velprøvde metoder først. 2015 hadde den dårligste gjennomsnittlige strømprisen siden år 2000 som følge av en stadig større andel uregulerbar kraft på nettet. Kraften kommer både fra utbygging av elvekraftverk i Norge og via tilkoblinger til Nederland, Danmark og Sverige. Dette er en ny hverdag norske kraftselskap må tilpasse seg. Lyse AS har gjennom mange år vist seg tilpasningsdyktige og innovative med eksempler som Altibox og Smartly. Dette viser en vilje fra ledelsen til å gå nye veier.

Vedlikehold

Analysen viser at Lyse har en kombinasjon av korrektivt, preventivt og prediktivt vedlikehold. Dette er et godt grunnlag å bygge videre på med et system for tilstandsovervåking. Samtaler og intervjuer viser at de ansatte tror det er rom for forbedring, men de har litt vansker med å identifisere dem. Eksempelvis ble det nevnt i et intervju at vibrasjonsmåling mangler strategi og blir derfor dårlig utnyttet.

Mellom 2016 og 2026 er det gjennomsnittlig planlagt 56 timer årlig til inspeksjon og vedlikehold for maskinene vurdert i oppgaven. Hovedtyngden av vedlikehold og kontroller utføres i løpet av den årlige revisjonen. Inntrykket fra samtaler og intervjuer er at de har et grundig vedlikeholdsprogram, i overkant mener noen. De gir inntrykk av at de viktigste komponentene har tilstrekkelig måleprogram, men at det er vanskelig å følge utviklingen av målingene fra år til år ettersom måleprogrammet stort sett resulterer i papirrapporter. Det at organisasjonen er liten bidrar positivt til informasjonsflyt. Ved revisjoner er det mange av de samme arbeiderne som utfører kontrollene hvert år. Dette gjør at de sitter med god kunnskap om tilstanden, men gjør samtidig Lyse sårbar for utskiftning av personell.

Alarmer i form av forvarsler er brukt i utstrakt grad og kan gi vedlikehold tid til å reagere før det er for sent. I motsetning til kontinuerlig måling gir ikke dette beslutningstagerne indikasjon på hvor fort utviklingen går i negativ retning. Dette kan føre til at forvarsel i et kraftverk feilaktig blir prioritert over mer kritiske oppgaver i andre kraftverk. Kontinuerlig overvåkning kan derfor i enkelte situasjoner bidra til å øke egenkapitalrentabiliteten, ikke bare for Jøssang, men for alle kraftverk.

Drift

Strengt krav til minstevannføring i Jørpelandselven og liten reguleringsevne i Dalavatn begrenser Jøssang sin evne til å utnytte prissvingningene. Jøssang kan produsere 86,6% mer energi enn Dalen 1 ut fra samme mengde vann. Det betyr at Jøssang alltid bør gå når det er nok vann. Jøssang har slukeevne på 13 m³/s og Dalen 1 har 3,5 m³/s. Det betyr at Dalen 1 ikke kan være reserve for Jøssang. Fra det kan en konkludere med at påliteligheten til Jøssang er essensiell for å sikre god økonomi i Jørpeland Kraft. Kraftverket bør alltid være tilgjengelig for produksjon i periodene med høg pris og tilstrekkelig vannføring. Basert på historikk fra 2013 til i dag er det veldig lite produksjon i starten av februar, fra slutten av mai til slutten av september og lite i oktober. Det betyr at i de resterende periodene bør alt fungere for å få best utbytte av vannet. Selv om

reguleringsevnen er liten, og det oppstod enkelte driftsutfordringer, klarte de likevel å produsere strøm til en gjennomsnittspris på 199,7 NOK/MWt i 2015. Gjennomsnittlig **spotpris** for området i **Nord Pool** var 176,5 NOK/MWt (se Figur A.1 i Vedlegg A). Prisdifferansen kan også skyldes at kraftverket ikke var i bruk i juli, august og september da prisene er lavest (se Figur 4.3 og 4.5).

6.2 Del 2

I analyse del 2 er følgende utført:

- Gjennomgått håndbøker
- Gjennomgått annen relevant litteratur
- Gjennomgått vedlikeholdshistorikk (2013 - april 2016)
- Identifisert potensielle degraderingsmekanismer som kan oppdages før svikt
- Gjennomgått planlagt vedlikehold (2016-2026)
- Vurdert planlagt vedlikehold mot anbefalinger i håndbøker og vedlikeholdshistorikk
- Gjennomgått dagens instrumentering
- Vurdert om dagens instrumentering utfyller mangler i planlagt vedlikehold
- Vurdert utvidet bruk av dagens instrumentering
- Vurdert behov for andre måletyper

Håndbøkene og litteraturstudiet gav det beste grunnlaget for identifikasjon av degraderingsmekanismer. Vedlikeholdshistorikken er bare analysert fra 2013. Det ble identifisert flere gjengangere i historikken, men alle ser ut til å ha et stokastisk sviktmønster uten degradering som kan varsles før svikt. En skal også være forsiktig med å basere fremtidig strategi på historikk alene ettersom alder kan føre til andre utfordringer en hva som oppstår tidlig i driftsfasen. Dette gjelder spesielt Jøssang som åpnet i 2011. Historikk er dog en viktig komponent i en totalvurdering.

Det neste punktet i analysen var å vurdere planlagt vedlikehold mot anbefalinger fra litteraturen. Hvor det er identifisert mangler i forhold til anbefalinger er det vurdert om instrumenteringen bidrar med kontroll over manglene i vedlikehold. Dersom instrumentering og vedlikeholdsprogram sammen ikke oppfyller anbefalingene er det vurdert om andre måletyper kan fylle gapet.

Resultatet fra analyse del 2 er presentert i Tabell 6.1 og diskutert under. Måle metodene i Tabell 6.1 er tilstandsovervåkning som vil fungere som et tillegg

6 : Resultat og diskusjon

Tabell 6.1: Funn i analyse del 2

Maskin	Komponent	Avvik	Årsak	Måling	Analyse	Behov for kompetanse		
Turbin	Løpehjul	Ubalanse	Skade/slitasje	Vibrasjon	FFT	Høy		
					Orbital bevegelse	Middels		
					S-Max	Liten		
	RMS hastighet							
	Turbinlager	Vibrasjon		Temperatur	Temperatur	Trend	Høy	
				Vibrasjon	FFT	Orbital bevegelse		Middels
					S-Max	RMS hastighet		Liten
Ledeapparat	Høyt moment	Treghet/fastkiling/riving	Trykk	Trend	Liten			
Generator	Statorviklinger	Dårlig isolasjon	Partiell utladning	PDA	PDA	Middels		
	Rotor	Rotorjordstrøm	Dårlig isolasjon/tilsmussing	Lagerstrøm/-spenning	Trend	Liten		
		Vindingskortslutning		Flux		Middels		
		Deformasjon	Magnetisk ubalanse mm.	Vibrasjon	FFT	Høy		
				Air-gap	Trend	Liten		
Vibrasjon	FFT	Høy						
Lager	Olje	Vann	Kondens/lekkasje	Vanninnhold	Trend	Liten		
		Slitepartikler		Partikkelmåler				
	Lagerflater	Temperatur	Skade/slitasje	Temperatur	Vibrasjon	FFT	Høy	
	Lager	Ubalanse		Skade/slitasje		Vibrasjon	Orbital bevegelse	Middels
							S-Max	Liten
							RMS hastighet	
	Rotorjordstrøm	Dårlig isolasjon/tilsmussing	Lagerstrøm/-spenning	Trend	Liten			
	Brems	Kort bremsetid	Høy friksjon			Bremsetid		
Aksling	Rotasjon uten drift	Lekkasje til turbin	Turtall					
	Liten løftehøyde	Dårlig bærelager	Løftehøyde					
Transformator	Olje	Vann	Kondens/lekkasje	Vanninnhold				

til inspeksjoner, manuelle målinger osv. Som nevnt flere ganger i oppgaven; målingene i Tabell 6.1 er ikke anbefalt å installere uten videre analyser. Analysene i denne oppgaven har identifisert risikoreduserende effekter ved parametrene. Videre arbeid må derfor kalkulere verdien av risikoreduksjonen satt opp mot kostnadene ved å innføre overvåkingen.

For å undersøke hvor det kan lønne seg å installere overvåkningsystem må en ha en klar idé om:

- hva som kan gå galt?
- hva avvik vil utvikles i tiden før en svikt?
- hvor fort går det fra avvik til svikt?
- hva type instrumenter og målinger kan oppdage avviket og bakenforliggende årsak?
- hva koster de? (videre arbeid)
- hva er sannsynligheten for en hendelse? (videre arbeid)

6.2.1 Bakenforliggende årsak

Undersøkelsene har fokusert på at det må være tilstrekkelig målinger til at en ikke finner symptomer, men årsaken til symptomet. Vibrasjon er et symptom av et avvik i for eksempel ubalanse. Høy temperatur i et lager kan komme av dårlig olje eller lagerskade, men også som følge av at lageret absorberer energien som skapes av feil i en annen komponent. Derfor trengs flere målinger for å eliminere og bekrefte mulige feilkilder. Eliminering kan være like viktig som å finne finne tegn til hva som kan være feil. Dette gjør en kontroll eller feilsøking mye lettere.

6.2.2 Turbin

Tabell 6.1 viser hvilke målinger og analyser som anbefales på grunnlag av analysen.

Spiraltrommen er regnet som under god kontroll. Løpehjulet har en plassering og skadetyper som tilsier at visuell kontroll vil være den beste prøvemethoden. Som håndboken tilsier vil vibrasjonsanalyse gi en risikoreduksjon ved å oppdage feil som utvikler seg mellom de årlige revisjonene. Løpehjul har en jevn slitasje i Norge fordi vannet er rent. I samtale med produksjonsplanleggeren ble det informert om at vannet i området hadde lite partikler, men at det var litt mer i smelteperioden på våren. Dette er noe Lyse kjenner godt til og ligger i deres vurderinger under revisjonen. I intervju med en ingeniør informerte han at de forventer å måtte slipe/sveise store turbiner omtrent annenhvert år. Oppdages små skader som de er usikre på tilkaller de eksperter som vurderer om vedlikehold må gjøres nå eller om det kan vente til en senere revisjon. Basert på den informasjonen vurderes sannsynligheten for feil på løpehjul mellom revisjoner som liten.

Turbinlageret er et styrelager som ved Jøssang er vannkjølt og vannsmurt av vannet over turbinen. Som følge av at lagerets funksjon er å stabilisere maskinen, er det sterkt påvirket av tilstanden til resten av aggregatet. Er det ubalanse i turbin, aksling eller generator kan det skade lageret. I tillegg kan slitasje oppstå i selve lageret uten påvirkning fra andre komponenter. Dette kan skje som følge av produksjonsfeil, overbelastning, dårlig smøring og høy temperatur. I følge [Whittaker and Shives \(1983, s.161\)](#) vil temperaturmåling varsle om lagertilstand for sent. Når tilstanden til lageret er slik at temperatur utvikles, er resterende liv veldig kort. Dette gir ikke vedlikehold nok tid til å forberede seg, så tilleggs målinger er anbefalt. Vibrasjonsanalyser med FFT og orbital plot vil være gode tilleggs målinger til temperaturmåling.

6 : Resultat og diskusjon

Tabell 6.2: Funn i analyse del 2, sortert etter analysemetode

Analyse	Behov for kompetanse	Måling	Avvik	Årsak	Komponent	Maskin
FFT	Høy	Vibrasjon	Ubalanse	Skade/slitasje	Løpehjul	Turbin
			Vibrasjon		Turbinlager	
			Vindingskortslutning	Dårlig isolasjon/tilsmussing	Rotor	Generator
			Deformasjon	Magnetisk ubalanse mm.		
Orbital bevegelse	Middels		Ubalanse	Skade/slitasje	Lager	Lager
			Vibrasjon		Løpehjul	Turbin
					Turbinlager	
RMS hastighet	Liten		Ubalanse		Lager	Lager
			Vibrasjon		Løpehjul	Turbin
			Turbinlager			
S-Max		Ubalanse	Lager		Lager	
		Vibrasjon	Løpehjul		Turbin	
		Ubalanse	Turbinlager			
PDA	Middels	PDA	Dårlig isolasjon		Partiell utladning	Statorviklinger
Trend	Liten	Temperatur	Temperatur	Skade/slitasje	Turbinlager	Turbin
		Trykk	Høyt moment	Treghet/fastkiling/riving	Ledeapparat	
		Lagerstrøm/-spenning	Rotorjordstrøm	Dårlig isolasjon/tilsmussing	Rotor	Generator
	Middels	Flux	Vindingskortslutning			
	Liten	Air-gap	Deformasjon	Magnetisk ubalanse mm.	Rotor	Lager
		Vanninnhold	Vann	Kondens/lekkasje	Olje	
		Partikkelmåler	Slitepartikler	Skade/slitasje	Lagerflater	
		Temperatur	Temperatur			
		Lagerstrøm/-spenning	Rotorjordstrøm	Dårlig isolasjon/tilsmussing	Lager	
		Bremsetid	Kort bremsetid	Høy friksjon	Brems	
		Turtall	Rotasjon uten drift	Lekkasje til turbin	Aksling	
		Løftehøyde	Liten løftehøyde	Dårlig bærelager		
	Vanninnhold	Vann	Kondens/lekkasje	Olje	Transformator	

Ledeapparatet er et veldig kjent problem i Lyse og har blitt utforsket av Lyse sammen med Alstom uten å finne årsaken. Håndboken anbefaler momentmåling på hydraulikksystemet i form av en trykkindikator på servomotoren til ledeapparatet. En trend på trykk over tid kan gi indikasjon på om det utvikles treghet i systemet, fastkiling eller rivning mellom ledeskovlene og turbinhuset. De planlagte jobbene for ledeskovlene omhandler kontroll av evne til å tette for vann, og sprekkontroll på skovlene og reguleringsmekanismen. Det som mangler er kontroll av friksjon ved operasjon for de enkelte skovlene. Dette ble diskutert med kraftverkssjefen i Lyse og han sa at det ikke var representativt uten trykk i turbinhuset fordi det utvides litt under drift. Dette gjør at kontinuerlig momentmåling på hver enkel skovlearm kan være aktuelt i Jøssang.

6.2.3 Generator

Tabell 6.1 viser hvilke målinger og analyser som anbefales på grunnlag av analysen.

Generatoren er delt inn i stator, statorviklinger og rotor. Planlagt vedlikehold har god dekning på generatoren, men har noen mangler. Stator er tilfredsstillende dekket av planlagt vedlikehold og dagens instrumentering. Statorviklingene er middels dekket av planlagt vedlikehold, som går ut på visuell kontroll, samt måling av motstand i viklingene og isolasjonsmotstanden. Av instrumentering har viklingene bare temperaturmåling. I Kapittel 2.6.7: [Elektrisk testing](#) vises viktigheten av [PD](#) for isolasjonsmaterieill. På det grunnlag anbefales Lyse å vurdere nytteverdien av kontinuerlig [PDA](#) og/eller $\tan\delta$ i revisjoner. De målemetodene kan varsle opp til flere år før viklingene må skiftes.

Rotor er utsatt for sentrifugale krefter i tillegg til miljø, temperatur, elektriske, magnetiske og mekaniske påkjenninger. Dette gjør at behovet for overvåking øker. På samme måte som stator og viklinger, er rotor vanskelig å inspisere. En ingeniør i Lyse informerte at de forventer å bare ta ut rotor hver 20-25 år. I mellomtiden utføres inspeksjoner etter beste evne. Planlagt vedlikehold består i dag av visuell kontroll og impedansemåling av rotor. Kapittel 2.6.7 forklarer hvor dårlig impedansemåling er for rotorkretser. Flux-måling gir mer nøyaktig måling under drift og tilbyr kontinuerlig kontroll over magnetiseringskretsen. Ved stor magnetisk ubalanse kan også vibrasjonsanalyse identifisere dette. Dårlig isolasjon og tilsmussing av viklingene kan føre til jordstrøm til akslingen. Dersom isolasjonen i lagrene er svekket kan det føre til lagerstrøm, som er svært skadelig for lagrene. Jøssang har vern mot dette som tripper aggregatet når dette når en bestemt verdi. Slike hendelser er observert mellom 2013 og 2016, og fører til produksjonstap. Det kan derfor være hensiktsmessig å vurdere om det vil være gevinst i å hente ut måleverdien fra dagens vern for å trende det i kontrollsystemet. Da kan vedlikehold reagere før en svikt oppstår. Deformasjon kan utvikles gradvis over tid som følge av setninger og krymping, eller kortsiktig som følge av sterke elektriske krefter. Et slikt eksempel er dobbel jordslutning i rotorkretsen. I håndboken står det at det garantert vil føre til at rotor treffer stator. For å unngå slike hendelser er derfor rotorjordfeilvern viktig. Men luftgaps-måling kan hindre og varsle deformasjoner som utvikler seg over tid.

6.2.4 Lager

Tabell 6.1 viser hvilke målinger og analyser som anbefales på grunnlag av analysen.

Håndboken presenterer flere skadetyper som ser ut til å være dårlig kontrollert av planlagt vedlikehold. Et lager er svært utsatt for skader som følge av dens funksjon: stabilisere og absorbere. Det betyr at skader og ubalanser i andre deler av aggregatet kan skade lagrene. Kraftverkssjefen i Lyse forklarte at de har de viktigste slitedelene for lagrene som reservedeler i kraftstasjonen. Dette kan redusere produksjonstapet ved et eventuelt lagerhavari, men havari bør uansett unngås. Før et havari oppstår vil ofte lager bli varme som følge av belastningen eller friksjon. Som [Whittaker and Shives \(1983, s.161\)](#) skriver så vil temperaturmåling varsle om lagertilstand for sent. Når tilstanden til lageret er slik at temperatur utvikles, er resterende liv veldig kort, men det kan fungere som en tripp før havari. Metoder som tribologi og vibrasjonsanalyser kan brukes for å finne bakenforliggende årsak.

Det er bare identifisert 2 planlagte jobber rettet mot lagrene mellom 2016 og 2026. Det er en årlig visuell kontroll av smøreoljen og 5-årlig bytte av oljen. Det er ikke identifisert noen kontroll av selve lageret. Selv om en går ut fra at Lyse kontrollerer lagrene som en del av revisjonen på generatoren, ser det likevel ut som om lagrene vies mindre oppmerksomhet enn deres innvirkning på operasjonell risiko tilsier. En vil oppnå en stor forståelse for en eventuell degradering i lagrene ved å ta små grep som for eksempel å sende oljeprøvene inn til laboratorium for tribologiske analyser. Oljeanalyser sier mye om lagrene gjennom partiklene som oljen fører med seg. En kontinuerlig partikkelmåling kan varsle om unormal slitasje i et lager ved at det produserer mer partikler enn normalt. Siden oljen er ekstern kjølt og oljetanken er plassert under generatoren, vil en vannsensor i oljetanken gi en risikoreduksjon for vannlekkasjer i varmeveksleren og kondens.

Håndboken trekker frem to andre parametre som bør overvåkes. Den ene er bremsetiden. Øker bremsetiden er bremsen dårlig, men reduseres bremsetiden vil det si at friksjonen i aggregatet har økt. Det kan skyldes økt friksjon i et eller flere lager. Det andre parameteret håndboken anbefaler er varsling om rotasjon utenom drift. Roterer akslingen uten at aggregatet går betyr det at ventilene lekker mye. Da vil lagrene dras rundt uten smøring.

Et annet parameter som kan vurderes å trende er noe en ingeniør fortalte at var montert i Jøssang. Han sa at det er montert en avstandsmåler på toppen av akslingen. Den måler løftehøyden til bærelageret under drift. En reduksjon

i løftehøyde kan tyde på slitte lagerflater. Jøssang har også vern for lagerstrøm. Oppstår det strømgjennomgang i lagrene vil det fort skade lagerflatene, som igjen gir en akselererende skadeeffekt. Det vernet har stoppet Jøssang to ganger siden 2013 og ført til produksjonstap. Derfor kan det vurderes hva nytteverdien er av å trenge måleverdien fra vernet i kontrollsystemet.

6.2.5 Transformator

Tabell 6.1 viser hvilke målinger og analyser som anbefales på grunnlag av analysen.

Håndbok har ikke vært tilgjengelig for transformatoren. Skadetyper og degraderinger er dermed oppdaget gjennom litteraturstudien. NVE fattet i 2012 et vedtak om at Statnett jevnlig skal samle inn tilstandsdata fra alle eiere av transformatorer over 30kV. Dette gjøres ved at eierne utfører oljeanalyser i tråd med NEK 240-1 med et intervall mellom 1-6 år. Lyse gjør dette hvert år, i tillegg til furaneranalyse hvert 8. år. Det utføres også visuell kontroll og termografi, og transformatoren har godt med overvåking i form av instrumentering. Den eneste identifiserte målingen som kan gi nytteverdi er sensor for vanninnhold i oljen. Det er en liten og billig sensor som gir god sikring mot vannlekkasje i kjølekretsen eller kondens. Ellers merkes det at 8 år mellom furaneranalysen trolig er tilstrekkelig tidlig i transformatorens liv, men bør kortes ned etterhvert som måleverdien begynner å bli dårligere. Flere målepunkt vil gi et bedre estimat for utskifting eller overhaling av transformator. PDA kan også brukes til å måle mengde av PD i transformatorviklinger, men det er vurdert at transformatoren er under tilfredsstillende [tilstandskontroll](#) med furaneranalyse.

6.2.6 Instrumentering

Flere av målingene i Tabell 6.1 er allerede installert i Jøssang. Det som anbefales er en utvidet bruk i form av programvare som trender verdier og varsler. En slik modell må også baseres på driftsdata fordi flere av parametrene vil gi ulike verdier ut fra driftsmodus og belastning.

6.3 Helhetlig vurdering

Positive effekter ved tilstandsovervåking:

1. Automatisk måling kan redusere inspeksjoner
2. Kan varsle og unngå dyre havari
3. Kan hjelpe planleggere å prioritere arbeid
4. Kan bidra i en risikovurdering for å utsette vedlikehold eller utskiftning
5. Kan bidra til levetidsestimat
6. Kan brukes til optimalisering av materiellforbruk, t.d. oljeutskiftning
7. Et sofistikert datasystem vil logge, trende, varsle og bruke historiske data i fremtidig arbeid.
 - Med det vet en mer om hva skader som kan ventes
 - Gjør en i stand til å forutse reservedelebehov

Utfordringer ved tilstandsovervåking:

1. Kan være kapitalkrevende i starten
2. Vil ofte kreve opplæring
3. Kan kreve kulturendring for at alle skal tenke i tråd med strategien
4. Kan føre til flere feilkilder
 - Holdes systemet separat fra kontrollsystemet vil ikke feil påvirke driften, bare nøyaktigheten i prediksjon av tilstand
5. Omfattende bruk av tilstandsovervåking kan redusere tiden montører har med utstyret. Det kan redusere deres kjennskap til utstyret
6. Tilstandsbasert vedlikehold kan vise behov for vedlikehold i travle tider. Det kan gjøre det vanskelig å prioritere arbeidsfordelingen mellom ulike kraftverk

Fordi det er få komponenter i et kraftverk kan en liten organisasjon ha tett oppfølging av mange kraftverk. Organisasjonen i Lyse Produksjon er ca. 65 ansatte hvorav 30 jobber direkte med kraftverk. De drifter 11 og er deleier i 3 kraftverk, med en total produksjon på 6 500 TWh i 2015. Vedlikeholdet er basert på en kombinasjon av korrektivt, preventivt og prediktivt vedlikehold og følger mange av anbefalingene i håndbøkene. Dette er en erfaringsbasert vedlikeholdsstrategi som fungerer ganske bra. Litteraturstudien viser at stadig endringer i bruken av kraft, effektsalg til utlandet, topplaster fra flere elbiler, bygging av flere kabler til utlandet, vil dette føre til høyere krav til fleksibilitet, pålitelighet og tilgjengelighet, samtidig som en må konkurrere med utenlandske kostandsnivåer i større grad for hver kabel som bygges til Europa. Dette er en spennende utfordring som kan løses med teknologi.

Det vil være umulig å sette en økonomisk verdi på alle fordeler og ulemper. Alle fremtidige kalkulasjoner vil være basert på statistiske estimat. [Solvang and Eggen \(2006\)](#) bruker både kvantitative (økonomisk) og kvalitative analyser for å vurdere systemene. Jøssang Kraftverk er 5 år gammelt og dermed tidlig i [badekarkurven](#). Statistisk sett er ikke havari ventet på hovedkomponentene på mange år. Gamle kraftverk har mer håndfast vurderingsgrunnlag i form av tydelig redusert risiko og levetidsforlengelse. Når maskiner eldes kommer flere og flere problemer til syne. Men startes ikke tilstandsovervåking tidlig har en ingen erfaringsdatabase å sammenligne med. Da vil det være vanskeligere å estimere tilstanden til maskinene.

Eksempler på fordeler som er vanskelige å måle i monetær verdi:

- Bedre planlegging av vedlikehold
- Bedre prioritering av vedlikehold
- Bedre tid til innkjøp
- Mer effektiv bruk av ansatte
- Generell kunnskapsøkning om maskinene
- Redusere risiko
- Redusert vedlikeholdskostnader

Brukes tilstandsovervåking til å planlegge bedre når det faktisk er behov for en anleggsstans, og samtidig planlegger gjennomføringen like bra, vil trolig stans kunne gjøres sjeldnere. Dette kan igjen lede til mindre produksjonstap og lavere kostnader. Men før et slikt system innføres må organisasjonen ha tillit til at det fungerer. En kan begynne i det små med for eksempel Jøssang. Data fra slike mindre kraftverk kan analyseres parallelt med normal vedlikeholdsstrategi i en periode. Ved revisjon kan en sammenligne forventet resultat ut fra målingene med hvordan utstyret fremstår under visuell inspeksjon. På denne måten vil en lære mye av hva målingene sier og hvordan de kan tolkes. Da øker tilliten til systemet raskt. Ved å vite tilstanden i alle verdiskapende eierandeler i et selskap kan en planlegge optimalt vedlikehold til rett tidspunkt i forhold til kraftverksstatus, markedspris og tilgjengelige ressurser.

Et karaktersystem vil være veldig nyttig for å kvantifisere en visuell inspeksjon i et kraftverk. Håndbøkene anbefaler dette og har forslag til kriterier for karakterer for de fleste komponentene. Dersom den eneste informasjonen organisasjonen får fra en kontrollrunde er "Status: OK", så bidrar ikke jobben med å øke kunnskapen om utstyret. Lager en derimot sjekklister med punkt som "lydnivå nivå 1", "vannlekkasje turbin" eller "trykk over filter", så er det veldig enkel for utførende arbeider å krysse av for korrekt karakter eller notere verdi for

hvert punkt. Ved bruk av nettbrett og tilpassede programvarer kan dette gjøres elektronisk.

Ut fra analysene ser det ut til å være to gode måter å innføre tilstandsbasert vedlikehold ved Jøssang Kraftverk. Den første og enkleste er å installere tilstandsovervåking for de identifiserte parametrene i Tabell 6.1 og bruke de som varsling av alvorlige feil, men basere seg på dagens vedlikeholdsprogram. Den andre måten er å utnytte *all* tilgjengelig kunnskap fra nye og eksisterende målinger, samt karakterbaserte resultat fra kontrollrunder og målinger, i en komplett tilstandsmodell.

6.3.1 Optimal bruk av personell

Vedlikehold og oppgradering av kraftverk fører til mindre tap om sommeren. Da er forbruket mindre og strømprisene lavere. Men alle kraftverkene kan ikke ha revisjon samtidig. Dette ville ha ført til et stort behov for personell som ikke er bruk for ellers i året. Arbeidsmengden fordeles derfor best mulig utover året for å redusere personalkostnader. Eksterne servicepersonell og konsulenter kan leies inn i de travleste periodene, men ved å utføre mest arbeid selv akkumulerer selskapet erfaring og kunnskap.

Revisjoner må gjennomføres raskt slik at nedetiden til kraftverket blir kortest mulig. For å unngå vanntap må magasinene tappes ned før jobbene starter. Tar revisjonen for lang tid kan magasinene renne over og gi vanntap. Selv om ønsket vannmengde planlegges i god tid vil det mest sannsynlig selges billig strøm i perioder for å nå et betryggende nivå i magasinene. Fordeling av når en skal jobbe på ulike kraftverk er derfor vital for å sikre høyest mulig betaling for vannet. I kraftverk som Jøssang, der reguleringsevnen er veldig liten, er det viktig å legge revisjoner til perioder med lite tilsig. Kraftverkssjefen i Lyse sier at de fokuserer på de største kraftverkene i tørre perioder om sommeren. De mindre kraftverkene, som Jøssang, planlegger de vedlikehold på utenfor denne sesongen, men basert på statistikk for de ulike områdene.

Et viktig moment som kan tale mot bruken av tilstandsbasert vedlikehold er dermed at tilstandsovervåkningssystemet kan føre til at vedlikeholdet kommer på et mindre gunstig tidspunkt. Dette kan illustreres med følgende tenkt scenario: overvåkningssystemet viser at aggregatet er bra når en normalt ville utført vedlikehold. Vedlikeholdet utsettes for å spare deler, arbeid og tapt produksjon. Senere i en periode med god pris viser systemet behov for vedlikehold. Ved en slik situasjon ville en ha tjent på nåverdi-effekten av utsatt kostnad, men tapt på grunn av prisdifferansen på strøm mot det normale

vedlikeholdstidspunktet.

I lys av eksempelet over ser en at det vil være svært viktig å kombinere risikovurdering med tilstandsindikatorene. En bør i tillegg, ved implementering av slike system, innføre et system for læring og erfaringsoppbygging slik at modellen kontinuerlig optimaliseres for de ulike kraftverkene. En god fremgangsmåte vil være en rolig innføring av tilstandsbasert vedlikehold. Med dette menes at en ikke baserer vedlikeholdet på verdiene med det første. Ved å analysere tilstanden før en normal revisjon, kan en danne seg et bilde av hva en kan forvente i de kommende inspeksjonene. Samsvarer faktisk tilstand med forventningene betyr det at modellen er god og en kan gå videre med implementeringen.

6.3.2 Suksesskriterier

Uansett hvilken strategi en går for innen vedlikehold blir den aldri vellykket uten å få de ansatte med på den. Alle må ville gjennomføre den, de må forstå hvorfor den innføres, hvordan den virker og hvordan de får nytte av den. Hvis ikke de forstår disse punktene kan en risikere at ingen vil bruke systemet. En annen utfordring er datasystemet. Respondentene i spørreundersøkelsen gav uttrykk for at et brukervennlig og informativt datasystem er viktig for dem. Dataprogrammet bør derfor behandle og presentere relevant informasjon på en forståelig og ryddig måte. Uten dette vil ikke investeringer i tilstandsmålinger ha like høy verdi. Dette ser en på den manglende bruken av SAP.

Wireman (2008, kap.1-2) tar opp tre grunner til at preventive program feiler. Den første han nevner er at preventive vedlikeholdoppgaver er usynlige og oppfattes derfor som mindre viktige. Korrektive oppgaver får mer oppmerksomhet og kan gi personen som løser problemet forhøyet status. I tradisjonelle organisasjoner har dermed personer som fikser problem høy verdi. For å løse denne utfordringen må ledelsen vise at de verdsetter forebyggende arbeid og kompetanse høyere enn evne til å fikse feil. Den andre utfordringen Wireman (2008, s.3) trekker frem er arbeidernes manglende kunnskap om degraderingsmekanismer i maskiner. De evner derfor ikke å gjenkjenne avvik under utvikling. Siden inspeksjoner og kontroller er en så stor del av de fleste vedlikeholdsprogrammer, vil kompetansen til arbeiderne være særs viktig. Wireman (2008, s.11) mener den viktigste årsaken til at vedlikeholdsprogram mislykkes er manglende disiplinær metodikk. Ved å visualisere hele prosessen vet de ulike disiplinene deres oppgaver i det store bildet.

Kotter (1999) presenterer 8 steg for en vellykket endringsprosess:

1. Etablere en følelse av nødvendighet
2. Danne en sterk endringskoalisjon
3. Skape en visjon for endring
4. Formidle visjonen
5. Gi ansatte makt til å handle i tråd med visjonen
6. Planlegge og synliggjøre tidlig suksess
7. Konsolidere endringene slik at de utløser end flere forandringer
8. Institusjonalisere de nye holdningene

Ut fra dette ser en at medarbeiderne må inkluderes i forbedringsprosessen. De må også informeres om nødvendigheten for endring og bidra til å finne en løsning. Ved å bidra skapes eierskapsfølelse som øker sannsynlighet for at den nye metoden brukes. [Langdal et al. \(2005\)](#) skriver at det må fokuseres på å unngå bruk av gamle rutiner og praksis som kan hindre ønsket utbytte av endringene.

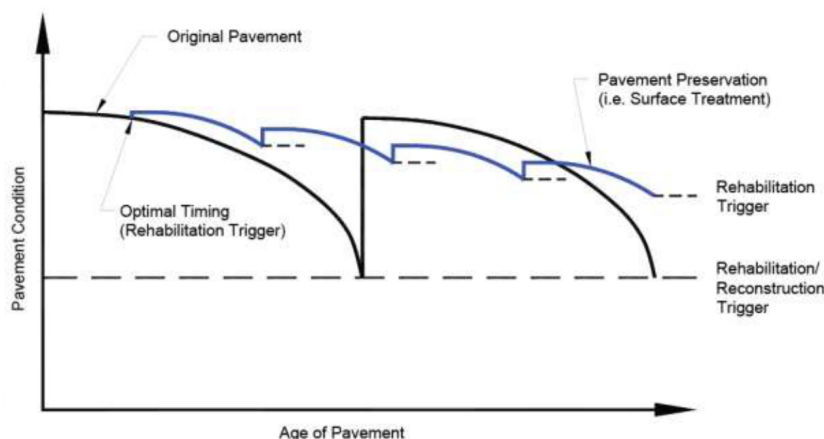
6.3.3 Det nye risikoperspektivet

[Aven \(2008\)](#) presenterer det som blir kalt “det nye risikoperspektivet”. Det er en videreutvikling av slik risiko ble definert tidlig på 1900-tallet. [Aven](#) er en motstander av den gamle måten å måle risiko på: Risiko = Sannsynlighet x Konsekvens. Dette gir et veldig svakt bilde på risikoen involvert. [Aven \(2014, s.44\)](#) illustrerer det nye begrepet med en figur. Modellen baseres på at risikokilder, hendelser og konsekvenser har sine usikkerheter og man har ulik kunnskapsnivå til de. Sammen utgjør de modellen Risk = (C,U), hvor C står for konsekvens og U for all usikkerhet tilknytt konsekvensene. I modellen fokuserer [Aven](#) mye på kunnskapsnivå. Identifiseres en hendelse med lav risiko, men svakt kunnskapsgrunnlag, bør denne veies høyere som følge av manglende kunnskap. Lavrisiko-hendelser med mye kunnskap trenger ikke gis like mye oppmerksomhet. Dette er viktig å ta med i investeringsbeslutninger.

6.3.4 Faktisk tilstand

[Moblely \(2002, s.263\)](#) hevder at mennesker må sette grenseverdier for varsling og driftstopp. Det er ikke lengre nødvendig. [Aanonsen \(2016\)](#) skriver om forskningsprogrammet MonitorX. Det har som mål å lage en selvlærende modell som skal predikere behov for vedlikehold. Mye har skjedd med programvarer siden [Moblely](#) gav ut boken i 2002.

Et vanlig utgangspunkt å ta etter en overhaling er at maskinen er tilbake i like god stand som da den var ny. Dette er en forenkling og ikke i tråd med realitetene. [Figur 6.1](#) og [6.2](#) angår vedlikehold av asfalt og er hentet fra US Department of Transportation, men figurene er overførbare til stort sett alt vedlikehold. Målet



Figur 6.1: Vedlikehold av asfalt ved amerikanske flyplasser(US-FAA, 2014)

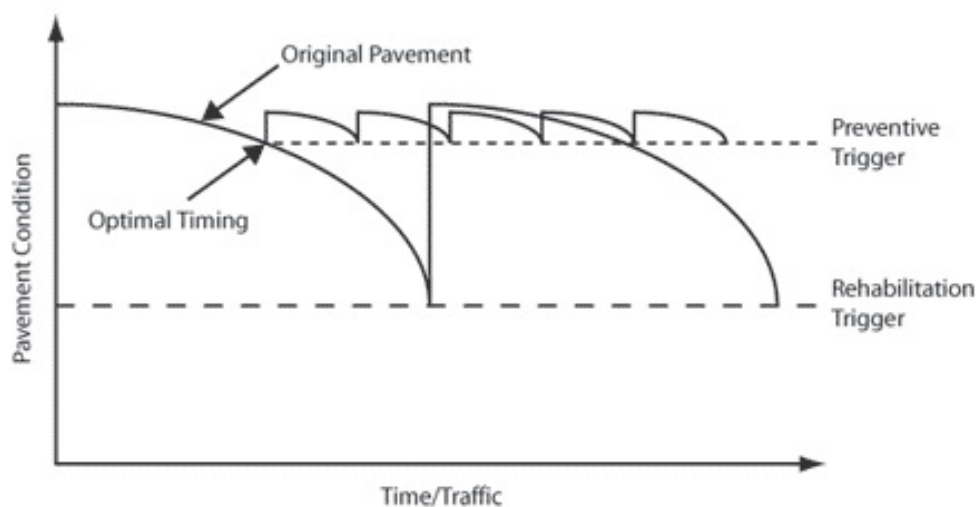
med forebyggende vedlikehold er å opprettholde tilstanden til utstyret med enkle grep som kan følge et fast tidsintervall over hele levetiden.

Man kan se for seg elektrisk motor med lager som skal regreases etter 2000 driftstimer og lagerbytte etter 20.000 timer. Motoren står utendørs og går 4000 timer i året. Den vil da smøres 2 ganger i året basert på timetelleravlesing og lager skiftes ca. hvert tiende år. Dersom det eneste en gjør etter ti år med bare smøring er å skifte lager så er det ikke vanskelig å se for seg at tilstanden til motoren ikke er like god som da den var ny. Ti år ute i vær og vind gjør noe med motoren. Dette eksempelet viser hvorfor Figur 6.1 er mer realistisk enn Figur 6.2. Dette er viktig å tenke på for å tilpasse et forebyggende vedlikeholdssystem til alder og resterende levetid på utstyr.

Nå brukes samme eksempel som over, men med en metode basert på en kombinasjon av forebyggende vedlikehold og CBM. Motor smøres ved samme intervall som over, men lager skiftes ikke før tilstandsingeniøren mener det er nødvendig. Mulige symptomer kan være avvik i lagertemperatur og vibrasjoner. En klarer på denne måten å utnytte MTTF på en trygg måte. I tillegg vil sannsynligvis behovet for vedlikehold komme før det har gått 10 år neste gang. Det vil si at Mean-time-between-failures (MTBF) endres hele tiden, men CBM kan fange det opp. Måten det kan fanges opp er gjennom en aldringsmodell som benytter både målinger og observasjoner.

6.3.5 Nye og gamle kraftverk

Stasjonene i Jørpeland Kraft AS, Dalen og Jøssang, er nye og dermed tidlig i badekarkurven. Hovedgevinsten av et CBM-program kan derfor bli reduksjon



Figur 6.2: Prinsipp for asfaltvedlikehold på amerikanske veier (US-FHA, 2015)

av overflødig preventivt vedlikehold. Et havari av så nytt utstyr er statistisk sett uventet på mange år, men risikoen for en uventet stopp reduseres med **CBM**. Det er verd å nevne at utstyr som følger en stokastisk havarimodell ikke vil ha noe å tjene på **CBM**. Elektronikk er et eksempel på komponenter med sviktmønster som ikke følger *badekarkurve* (Klutke et al., 2003).

Ved eldre kraftverk vil en derimot, i tillegg til verdiene nevnt over, få verdien av forlenget levetid på eksisterende utstyr. Mange kraftverk i Norge er i slutten av designet levetid. Bare 6% er av dagens kraftverk er bygget de siste 20 årene. Til sammenligning er 42% av kraftverkene over 40 år gamle (Moengen et al., 2007). Eierne av eldre kraftverk kan velge mellom utskiftning eller modernisering. En total oppgradering gir redusert risiko, økt oppetid, redusert vedlikehold og normalt høyere virkningsgrad. I dag er datakraft billig og kompakt, og gjør modernisering mer attraktivt. **CBM** har lenge vært hindret av dataprogrammer med begrenset funksjonalitet, fleksibilitet og brukervennlighet. I dag er det flere alternativer som knytter sammen ulike overvåkingsteknologier på en enkel og forståelig måte. Ved modernisering av styresystemet, med **CBM** som grunnlag, kan forlenge levetiden til kraftverket uten betydelig risiko. Ved å velge dette alternativet utsettes den store investering som kreves for å bygge om hele kraftstasjonen. Valg av oppgradering er en investeringsbeslutning basert på forventet nåverdi. Dersom nåverdien av utsatt ombygging er høyere enn samlet verdi av fordelene, vil en utsette ombyggingen.

7 Konklusjon

Målet med oppgaven er å identifisere parametre som ved overvåking vil tilføre verdi i form av redusert risiko, redusert kostnad, økt inntjening eller utvikling for selskapet og ansatte. Oppgaven har ikke bare undersøkt tekniske utfordringer, men også organisasjonens forutsetninger og holdninger for valgte løsninger. Oppgaven resulterer ikke i en komplett behovsanalyse, fordi kostnads- og kritikalitetsanalyse ikke er gjennomført. Dette er utelatt fra oppgaven som følge av manglende informasjon, og vurdering av tidsbruk. Videre analyser er derfor nødvendig for å gi konkrete råd om endringer. For å avgrense oppgaven er turbin, generator, lager og transformator i Jøssang Kraftverk valgt som case.

Organisasjonen rundt Jøssang Kraftverk er liten, kommuniserer godt og innehar mye erfaring og kunnskap. De er generelt positive til å lære mer om nye teknikker og har en sunn holdning til lønnsomhet i investeringer. Dette fører til at [Kotter \(1999\)](#) sine 8 trinn for endringsledelse bør brukes ved endring av vedlikeholdsstrategi. Arbeiderne må inkluderes i prosessen og informeres om nødvendighet for endringen. De har uttrykt ønske om et oversiktlig og brukervennlig system som gir dem den informasjonen de trenger.

Jøssang har liten reguleringsevne og høyt krav til minstevannføring. Dette fører til begrensede muligheter til å utnytte prissvingningene i markedet. Ethvert kraftverk har et visst antall timer det maksimalt kan gå basert på forventet tilsig og slukeevne. Analysene viser at minstevannføringskravene fører til at Jøssang ikke driftes de 3 tørreste månedene i løpet av sommeren. Dette resulterer i høyere krav til pålitelighet for Jøssang de resterende 9 månedene.

Dagens vedlikeholdsstrategi baseres på forebyggende aktiviteter, inspeksjoner og målinger. For enkelte maskiner er inspeksjoner den beste overvåkningsmetoden. Andre maskiner har degraderingsmekanismer eller vanskelig tilkomst som gjør at kontinuerlig måling er mer hensiktsmessig. Det er identifisert noen mangler i planlagt vedlikehold sett i forhold til anbefalinger i litteraturen. Vurderinger er gjort om dagens instrumentering, med eller uten endringer, samt tilleggsmålinger, kan komplettere vedlikeholdsprogrammet.

Vibrasjonsanalyser er anbefalt for å identifisere avvik i løpehjul, rotor og lager. Vibrasjonshastigheten i tidsdomenet og S-Max er logget i dag og gir alarm ved høye verdier. Før å øke utbyttet fra målingene kan de trendes og varsle aktuell ingeniør ved negativ trend. Dermed kan en reagere før aggregatet stoppes. En slik løsning krever små investeringer. Ytterligere informasjon kan hentes ut fra vibrasjonssensorene ved å installere moduler for orbital

bevegelse og FFT-analyse i kontrollsystemet. Ved å plote orbital bevegelse får ingeniøren en bedre forståelse for tilstanden til styrelagrene og ubalanse i aggregatet. FFT-analyse transformerer vibrasjonshastigheten fra tidsdomenet til frekvensdomenet. Ulike typer feil gir utslag på forskjellige frekvensområder. På den måten kan en økning i en frekvens fortelle deg hvilken komponent som kan være årsaken til økt vibrasjon.

PDA er identifisert som en god metode for tilstandsovervåking for statorviklingene. Lyse måler allerede isolasjonsmotstand og motstand i viklingene, samt visuell inspeksjon med rotor i. Undersøkelsen krever at maskinen stoppes og visuell inspeksjon med rotor i gir ikke full oversikt over viklingene. Sensorer for PDA kan monteres i stator og måle grad av PD kontinuerlig. Dette kan gi varsel som behov for omvikling av generatoren opp til flere år før svikt oppstår.

De resterende parametrene som anbefales krever ingen avansert analyse, men trendes med varslings om endringer. Dette vil kreve et program som sammenligner målinger over tid med omtrent samme driftsbetingelser. Varsling til ingeniør for videre undersøkelser kan aktiveres i form av vanlige grenseverdier eller en integrator som varsler raske endringer. Lagerstrøm er eksempel på et parameter som kan trendes for å unngå stopp og produksjonstap. Lagerstrøm er skadelig for lagerflatene og kan fort føre til lagerhavari. Flux-, luftgap- og vibrasjonsmåling er andre parametre som vil gi god innsikt i tilstanden til rotor. Flux-måling identifiserer ubalanse i magnetisme og lokaliserer feilen. Luftgaps-måling varsler om rotor er nær stator som følge av deformasjon. Treffer rotor stator kan konsekvensene bli store. Vibrasjonsanalyse kan hjelpe til med å bekrefte eller eliminere årsaker til avvik.

For lagrene anbefales trending av måler for vanninnhold og partikkelmengdemåler i olje, høydemåler for bærelager, turtallsmåler for å unngå rotasjon av aggregat utenom drift, bremsetid for å oppdage økning i friksjon, og temperaturmåling. For transformatoren reduseres risikoen for vannskade som følge av lekkasje eller kondens ved å montere sensor for vanninnhold i oljen.

Av funnene er det bare FFT-analyse som krever ekspertkunnskaper. Orbital plot, PDA og Flux-måling er vurdert som middels krevende i forhold til kompetanse. Lyse har en ingeniør som jobber spesielt med generatorer og måling av de. Han vil kunne tilegne seg kunnskap til å nyttiggjøre orbital plot, PDA og Flux-måling innen rimelig tid. Men selv eksperter vil kunne tolke FFT feil noen ganger. Ved analyse av nytteverdien til FFT-analyse må derfor kostnader til kompetanseheving eller konsulent medregnes.

8 Videre arbeid

Denne oppgaven er ikke en komplett behovsanalyse. Figur 1 i ISO 17359:2011 (E) er gjengitt i Tabell 3.1 og viser trinnvis prosess for å velge og bruke tilstandsovervåking. Av undersøkelser er punkt 1 i Tabell 3.1 ikke utført, punkt 3 er delvis utført og punkt 2, 4 og 5 er utført. Videre arbeid vil derfor være å utføre punkt 1 og fullføre punkt 3. Punkt 1 er kost/nytte-analyse og punkt 3 er pålitelighet- og kritikalitetsanalyse. Flytskjemaet i Figur 1 i ISO 17359:2011 (E) viser at kost/nytte-analysen skal gjøres til sist. Videre arbeid må derfor begynne med å undersøke punkt 3; pålitelighet- og kritikalitetsanalyse, for komponentene i Tabell 6.1. ISO 17359:2011 (E, 7.3) skriver at FMECA bør ligge til grunn for å identifisere forventede feil, symptomer og potensielle parametre. Levetidsestimater og vibrasjonssignaturer må hentes inn for maskinene som skal overvåkes.

Kost/nytte-analysen vil estimere kostnader for installasjon og implementering, samt gevinster i form av kostnads- eller risikoreduksjon. Markedsundersøkelse utføres for å identifisere leverandører av slike systemer. Informasjonen må så kombineres i en modell for å beregne om tiltakene vil redusere estimert nåverdi av vedlikeholdskostnader og produksjonstap i større grad enn investeringen.

Andre undersøkelser som kan utføres er å se på mulige metoder for å måle virkningsgraden til aggregatet. Virkningsgraden sier mye om tilstanden til vannveier og turbin. Målinger av virkningsgrad kan utføres i dag ved hjelp av sensorer som monteres inne i røret, men blir vasket bort etter en tid. Litteraturstudien har ikke identifisert løsninger for kontinuerlig måling av virkningsgrad.

Ordliste

badekarkurve På engelsk: bathtub curve. Sannsynlighetskurve basert på historiske data som forteller når i livet en maskin har størst sannsynlighet for en svikt. Den har fått sitt navn fordi den ofte ser ut som et badekar. Den har da stor sannsynlighet for svikt i startfasen, samt slutten av livet. Den kan også ha flattere form. Da vil det være mer tilfeldig når utstyret svikter [16](#), [108](#), [112](#), [113](#)

inspeksjon Med inspeksjon menes både visuell kontroll og kontroll ved hjelp av NDT teknologi [66](#)

Nord Pool Marked for kjøp og salg av elektrisk kraft. Inkluderer Norge, Sverige, Danmark, Finland, Litauen, Latvia og Estland (www.nordpoolspot.com) [11](#), [49](#), [100](#)

spotpris Spotpris er prisen til det øyeblikkelige forholdet mellom tilbud og etterspørsel [49](#), [100](#)

tilstandskontroll Inspeksjon eller sjekk for å kunne bestemme hvorvidt enheten tilfredsstillende oppsatt standard. Det er en forebyggende prosess som krever at enheten blir periodisk eller kontinuerlig sjekket mot på forhånd oppsatte standarder for å kunne bedømme om den kan fortsette å fungere innenfor de akseptable organisasjonsmessige grenser ([Langdal et al., 2005](#)) [3](#), [33](#), [106](#)

tilstandsovervåking Aktivitet som utføres enten manuelt eller automatisk, for å observere enhetens virkelige tilstand. I motsetning til inspeksjon foretas tilstandsovervåking for å vurdere eventuelle forandringer over til for enhetens parametre. ([Langdal et al., 2005](#)) [33](#)

tribologi Læren om gjensidig innvirkning mellom flater i relativ bevegelse; friksjon og slitasje (Store Norske Leksikon) [18](#), [26](#)

Referanser

- Aadland, C. (2009). Scana industrier vil eie kraften selv. Artikkel. www.tu.no/kraft/2009/11/02/scana-industrier-vil-eie-kraften-selv.
- Aanonsen, I. R. (2016). Verktøy for å unngå havari. Artikkel. www.energinorge.no/energiforskning/nyheter/2016/verktoy-for-a-unnga-havari/.
- ABB (2015). Low voltage motors - installation, operation, maintenance and safety manual. Manual. https://library.e.abb.com/public/32f0f714c0894ea0ba00cea30c98e674/Standard_Manual_Low_Voltage_EN%20rev%20F%20lores.pdf.
- Active-Acoustic (2016). Rion vibration analyzer va-12. www.active-acoustic.com/rion-vibration-analyzer-va-12/.
- Albright, D. R. (1971). Interturn short-circuit detector for turbine-generator rotor windings. *IEEE Transactions on Power Apparatus and Systems*, PAS-90(2):478–483.
- Arnesen, S. O. and NVE (2012). Vedtak om tilstandsdatabase for transformatorer. [www.statnett.no/Documents/Kraftsystemet/Fos%20for%20konsesjonaerer/Vedtak%20om%20oversendelse%20av%20data%20om%20transformatorer%20til%20Statnett%20\(NVE%2013-02-2012\).pdf](http://www.statnett.no/Documents/Kraftsystemet/Fos%20for%20konsesjonaerer/Vedtak%20om%20oversendelse%20av%20data%20om%20transformatorer%20til%20Statnett%20(NVE%2013-02-2012).pdf). Tilgang: 02.06.2016.
- Aven, T. (2008). *Risk analysis: assessing uncertainties beyond expected values and probabilities*. Wiley.
- Aven, T. (2014). *Risk, surprises and black swans: Fundamental ideas and concepts in risk assessment and risk management*. Routledge.
- Bragstad, I. (2015). Partikkellaboratoriet. www.ntnu.no/igb/lab/partikkellab.
- Brekke, H. (2013). Design, performance and maintenance of francis turbines. *Global Journal of Researches In Engineering*, 13(5).
- Brüel&Kjær-Vibro (2016). Condition monitoring for hydroelectric power plants. www.bkvibro.com/en/condition-monitoring/hydroelectric-power-plants.html.
- Bygg.no (2013). Jøssang kraftstasjon offisielt åpnet. Artikkel. www.bygg.no/article/74591?image=dp-image37011-1067897.
- Christiansen, A. (2014). En kraftbransje i endring åpner for nye aktører. Artikkel. www.forskningsradet.no/prognett-vri/Nyheter/En_kraftbransje_i_endring_apner_for_nye_aktorer/1253992414825&lang=no.
- Daft, R. L. and Lengel, R. H. (1986). Organizational information requirements, media richness and structural design. *Management science*, 32(5):554–571.
- Egeland, P. (2012). Jørpelandsvassdraget. www.strandhistorie.no/index.php/strandrundt/470-jorpelandsvassdraget.
- Eggen, A. O. (2005). Tilstandskontroll av vannkraftverk - håndbøker. Håndbok, EBL Kompetanse, Middelthuns gate 27, Oslo.
- Eisenhardt, K. M. (1989). Building theories from case study research. *Academy of management review*, 14(4):532–550.
- Elstrøm, A., Mjølvsnes, J., and Brekke, J. W. (1996). Konsekvenser for vannkraftgenerator ved endrede driftsbetingelser. Teknisk rapport, ABB Kraft AS, Brakerøya, Drammen.
- Etelämäki, M. (2015). Power plants in a changing world. www.if-insurance.com/web/industrial/ifnews/pages/if-news-6_2015-property.aspx.
- Flick, U. (2014). *An Introduction to Qualitative Research*. SAGE Publications.

- grabcad.com (2014). Francis ledeskovler.
<https://grabcad.com/requests/hydro-turbine-assembly>.
- Grønbech, J. (2015). Norge er verdensledende innen innovasjon der forholdene ligger til rette for det. men det er ikke nok. Artikkel.
www.aftenposten.no/meninger/kronikker/Norge-er-verdensledende-innen-innovasjon-der-forholdene-ligger-til-rette-for-det-Men-det-er-ikke-nok-7987972.html.
- Herdlevær, K. (2016). Var transformatorene bedre før? Artikkel.
www.abb-conversations.com/no/2016/05/derfor-bor-du-ikke-legge-transformatoren-i-skuffen/.
- Høyland, A. and Rausand, M. (2009). *System Reliability Theory: Models and Statistical Methods*. Wiley Series in Probability and Statistics. Wiley.
- IEC 60450 (2007). Measurement of the average viscometric degree of polymerization of new and aged cellulosic electrically insulating materials. Standard, International Electrotechnical Commission, Geneva, CH.
- IFM (2016). Systems for oil quality monitoring.
www.ifm.com/ifmuk/web/pmain/070_040_030.html.
- IMV-Co (2016). Vibration technical guide.
www.imv.co.jp/e/pr/vibration_measuring/chapter03/#section4.
- ISO 17359:2011(E) (2011). Condition monitoring and diagnostics of machines - general guidelines. Standard, International Organization for Standardization, Geneva, CH.
- Johnsen, T. A. (2001). Demand, generation and price in the norwegian market for electric power. *Energy Economics*, 23(3):227–251.
- Kletz, T. A. (1997). Hazop—past and future. *Reliability Engineering & System Safety*, 55(3):263–266.
- Klutke, G.-A., Kiessler, P. C., and Wortman, M. (2003). A critical look at the bathtub curve. *IEEE Transactions on Reliability*, 52(1):125–129.
- Konow, T. (2012). Hederspris til rehabilitering av kraftanlegg i jørpelandvassdraget. Artikkel. www.nncold.no/index.php/damkrona/17-damkrona-nncolds-hederspris-for-vassdragsanlegg/73-hederspris-til-rehabilitering-av-kraftanlegg-i-jorpelandvassdraget.
- Kotter, J. (1999). *John P. Kotter on what Leaders Really Do*. Harvard business review book series. Harvard Business School Press.
- Langdal, B. I., Eggen, A. O., and Solvang, E. (2005). Strategi for innføring og effektiv utnyttelse av ikt-systemer for vedlikehold. Teknisk rapport, SINTEF Energiforskning AS, Sem Sælands vei 11, Trondheim.
- Langdal, B. I. and Trætteberg, A. (2002). Kartlegging av utfordringer vedrørende drift og vedlikehold innen ledelse og kunnskapsforvaltning hos norske kraftselskaper. Teknisk rapport, SINTEF Energiforskning AS, Sem Sælands vei 11, Trondheim.
- learnengineering.org (2016). How does francis turbine work? Artikkel.
www.learnengineering.org/2014/01/how-does-francis-turbine-work.html.
- Lundgaard, L. E., Hansen, W., Linhjell, D., and Painter, T. J. (2004). Aging of oil-impregnated paper in power transformers. *IEEE Transactions on Power Delivery*, 19(1):230–239.
- Lyse (2015). Jørpeland kraft har solgt den gamle kraftstasjonen på jørpeland. Artikkel.
www.lyse.no/nyheter/jorpeland-kraft-har-solgt-den-gamle-kraftstasjonen-pa-jorpeland-article11360-15131.html.

REFERANSER

- Lyse (2016a). Historien om lyse. Artikkel.
www.lysekonsern.no/om-konsernet/historien/.
- Lyse (2016b). Årsrapport 2015. Offentlige dokument.
www.lysekonsern.no/getfile.php/Lysebilder/Finansiell%20informasjon/lyse_arsrapport_2015_v11.pdf.
- Løvland, S. (2015). Ny lokal småkraft blir tysk.
www.avisenagder.no/index.php?page=vis_nyhet&NyhetID=34707. Tilgang: 28.05.2016.
- MainTech (2016). Ros-analyse jøssang kraftstasjon. Rapport. Revisjon 3 fra 28.01.2016.
- Mobley, R. K. (1990). *An introduction to predictive maintenance*. Butterworth-Heinemann.
- Mobley, R. K. (2002). *An introduction to predictive maintenance*. Butterworth-Heinemann.
- Moengen, T., Hildrum, R., Sveen, A., Harby, A., Skjølsvik, K.-O., Svalheim, S., Schei, T. A., and Øystein Ulleberg (2007). Fornybar kraft - innspill til strategigruppen for energi21. Rapport, EBL Kompetanse.
- Nielsen, T. K. (2014). Turbiner - virkningsgrader og slukeevne. Presentasjon.
www.smakraftforeninga.no/foiler/Nielsen_Turbiner_Virkningsgrader_og_Slukeevne.pdf.
- Nilsen, J. (2007). Kraftbransjen forgubbes. Artikkel.
www.tu.no/artikler/kraftbransjen-forgubbes/260398.
- Nilsen, J. (2014). Nytt vannkraftsenter skal lokke ungdom vekk fra oljebransjen. Artikkel. www.tu.no/artikler/nytt-vannkraftsenter-skal-lokke-ungdom-vekk-fra-oljebransjen/228746.
- Nord-Pool (2016). Historical market data.
www.nordpoolspot.com/historical-market-data/.
- NordPool (2016). Spotmarked. www.nordpoolspot.com.
- NVE (2010). Konesjonssak: Overføring av solheimsåna til jøssang kraftverk. Offentlige dokument.
www.nve.no/konesjonssaker/konesjonssak/?id=5462&type=V-1.
- OED (2012). Forskrift om forebyggende sikkerhet og beredskap i energiforsyningen. Offentlige dokument.
www.lovdata.no/dokument/SF/forskrift/2012-12-07-1157.
- Pintelon, L., Gelders, L., and Van Puyvelde, F. (1997). Maintenance management.
- Pintelon, L. and Parodi-Herz, A. (2008). Maintenance: an evolutionary perspective. In *Complex system maintenance handbook*, pages 21–48. Springer.
- Pollock, G. B. and Lyles, J. F. (1992). Vertical hydraulic generators experience with dynamic air gap monitoring. *IEEE Transactions on Energy Conversion*, 7(4):660–668.
- Pålitelighet.no (2016). Definisjoner drift og vedlikehold. Artikkel.
www.pålitelighet.no/begreper-og-definisjoner.
- Rao, B. (1996). *Handbook of Condition Monitoring*. Elsevier Advanced Technology.
- Rausand, M. and Høyland, A. (2004). *System Reliability Theory: Models, Statistical Methods, and Applications*. Wiley Series in Probability and Statistics - Applied Probability and Statistics Section. Wiley.
- Regjeringen-Stoltenberg-II (2007). Hjemfallsretten - bakgrunn og historikk.
www.regjeringen.no/no/aktuelt/fakta_om_hjemfall/id695141/.

REFERANSER

- Siemens (2016). Test laboratory for transformer materials.
www.energy.siemens.com/us/en/services/power-transmission/transformer-test-laboratory/degree-of-polymerization.htm.
- Sintef (2007). Verdiskapende vedlikehold innen kraftproduksjon. Artikkel.
www.sintef.no/sintef-energi/xergi/xergi-2007/nr-3---november/verdiskapende-vedlikehold-innen-kraftproduksjon/.
- Skoland, N. (2014). Francis turbine runner.
<https://grabcad.com/library/francis-turbine-runner-1>.
- Solvang, E. and Eggen, A. O. (2006). Nytteverdi av tilstandskontrollsystemer (utkast 3). Teknisk rapport, SINTEF Energiforskning AS, Sem Sælands Vei 11, Trondheim.
- Statnett (2013). Søknad om konsesjon for tilrettelegging av kraftutveksling med tyskland og storbritannia. Offentlige dokument. www.statnett.no/PageFiles/7245/Dokumenter/~1-S%C3%B8knad%20om%20anleggskonsesjon/150513%20Konsesjonss%C3%B8knad%20mellomlandsforbindelser.pdf/.
- Statnett (2016). Kabel til england. Artikkel.
www.statnett.no/Nettutvikling/Kabel-til-england/.
- Stone, G. C., Sedding, H. G., and Costello, M. J. (1996). Application of partial discharge testing to motor and generator stator winding maintenance. *IEEE Transactions on Industry Applications*, 32(2):459–464.
- Store-Norske-Leksikon (2009). Francisturbin. Leksikon.
www.snl.no/francisturbin.
- Store-Norske-Leksikon (2015a). Elektrisk maskiner. Leksikon.
www.snl.no/elektrisk_maskin.
- Store-Norske-Leksikon (2015b). Vannkraftmaskin. Leksikon.
www.snl.no/vannkraftmaskin.
- Store-Norske-Leksikon (2016). Den andre industrielle revolusjon. Leksikon.
www.snl.no/den_andre_industrielle_revolusjon.
- Storheil, S. (2016). Glimt fra nves fotoarkiv: Jørpeland kraftstasjon.
<https://museumsordningen.wordpress.com/2016/01/18/glimt-fra-nves-fotoarkiv-jorpeland-kraftstasjon/>.
- Støa, P. and Dønnestad, O. T. (2015). Grønt batteri haster. Artikkel.
www.gemini.no/meninger/gront-batteri-haster/.
- Sulzer-Pumps (2010). *Centrifugal Pump Handbook*. Elsevier Science.
- UiO (2016). Kvalitativ og kvantitativ metode. Presentasjon.
www.uio.no/studier/emner/sv/iss/SVMET1010/h05/Kvalogkvant.pdf.
- US-FAA (2014). Us federal aviation administration - airport pavement management program (pmp). *Advisory Circular*.
- US-FHA (2015). Us federal highway administration - principles of pavement preservation. Artikkel.
www.fhwa.dot.gov/pavement/preservation/ppc0621.cfm.
- van der Meulen, M. (2012). *Definitions for Hardware and Software Safety Engineers*. Springer London.
- Wang, M., Vandermaar, A., and Srivastava, K. D. (2002). Review of condition assessment of power transformers in service. *Electrical Insulation Magazine, IEEE*, 18(6):12–25.
- White, G. (1997). *Introduction to Machine Vibration*. DLI Engineering Corporation.
- Whittaker, G. A. and Shives, T. R. (1983). *Technology Advances in Engineering and Their Impact on Detection, Diagnosis and Prognosis Methods: Proceedings of the 36th*

REFERANSER

Meeting of the Mechanical Failures Prevention Group, La Posada Hotel, Scottsdale, Arizona, December 6-10, 1982, volume 36. CUP Archive.

Wireman, T. (2008). *Preventive Maintenance*. Maintenance strategy series. Industrial Press.

Zhou, W., Habetler, T. G., and Harley, R. G. (2007). Bearing condition monitoring methods for electric machines: A general review. In *Diagnostics for Electric Machines, Power Electronics and Drives, 2007. SDEMPED 2007. IEEE International Symposium on*, pages 3–6. IEEE.

Vedlegg

A Tabell

Prissammenligning 2013 - 2015

Time	2013			2014			2015		
	Gj.sn.pris	Gj.sn.pris ved prod	Driftstimer	Gj.sn.pris	Gj.sn.pris ved prod	Driftstimer	Gj.sn.pris	Gj.sn.pris ved prod	Driftstimer
1	280,31	271,74	83,00	220,79	217,28	105,00	163,94	185,23	152,00
2	273,83	266,56	73,00	216,41	211,51	94,00	158,02	178,00	145,00
3	267,96	261,55	74,00	212,30	206,76	93,00	153,32	172,10	145,00
4	264,73	259,48	72,00	209,74	203,48	93,00	150,94	169,13	146,00
5	264,59	259,56	73,00	210,03	204,04	93,00	151,52	169,58	145,00
6	270,97	263,84	75,00	213,71	207,77	92,00	157,71	176,87	146,00
7	280,72	276,59	88,00	219,64	214,37	102,00	167,99	186,52	148,00
8	292,80	293,88	116,00	226,40	224,06	113,00	178,28	198,31	163,00
9	306,14	320,84	142,00	233,52	238,36	130,00	188,39	213,80	167,00
10	309,29	327,23	146,00	238,03	243,58	134,00	193,97	223,14	170,00
11	305,85	319,38	147,00	237,23	241,26	138,00	192,62	220,89	169,00
12	302,57	312,75	149,00	236,13	240,11	139,00	189,94	216,08	172,00
13	297,98	304,02	149,00	234,76	238,64	138,00	186,47	211,87	172,00
14	295,56	299,63	143,00	232,94	236,57	139,00	183,09	206,43	172,00
15	293,24	295,86	143,00	231,51	234,87	138,00	180,98	204,05	174,00
16	292,65	296,54	142,00	230,77	234,36	140,00	179,45	203,19	172,00
17	293,23	297,90	142,00	231,38	236,67	137,00	180,26	205,07	171,00
18	296,46	302,34	141,00	234,23	241,37	138,00	186,54	214,88	172,00
19	302,55	311,61	142,00	238,75	247,17	138,00	190,20	219,11	172,00
20	304,84	312,53	141,00	237,93	247,58	138,00	188,26	214,78	173,00
21	302,08	305,04	137,00	235,33	242,77	135,00	185,02	208,60	173,00
22	295,64	296,00	124,00	232,35	237,51	131,00	181,30	203,08	169,00
23	291,85	288,57	115,00	229,75	231,90	124,00	177,54	199,23	165,00
24	285,44	282,84	106,00	225,74	226,05	120,00	170,14	193,07	160,00
St.dv.	13,48	20,24	29,40	9,32	14,21	18,37	13,51	16,67	11,02
Min.	264,59	259,48	72,00	209,74	203,48	92,00	150,94	169,13	145,00
Maks.	309,29	327,23	149,00	238,75	247,58	140,00	193,97	223,14	174,00
Gj.sn.	290,47	292,76	119,29	227,89	229,50	122,58	176,50	199,71	163,04

Figur A.1: Prisgjennomsnitt fordelt per time i døgnet. Sammenligner gjennomsnittlig pris per time fra Nord Pool og oppnådd pris ved produksjon av Jøssang
- Alle priser oppgitt i NOK/MWt

Kilde: Lyse driftshistorikk

Tabell A.1: Oversikt over kategorier for planlagt vedlikehold/kontroller

Type aktivitet	Totalt antall	Antall relevante ^a	Timer relevante ^a
Bytte kjøler	2	2	1
Funksjonstest	8	-	-
Funksjonstest - Kontroll	1	1	4
Funksjonstest - Kontroll - Måling - Rengjør	1	-	-
Funksjonstest - Kontroll - Rengjør	1	-	-
Funksjonstest - Kontroll - Smøring	4	-	-
Funksjonstest - Lekkasetesting	1	1	2
Funksjonstest - Smøring	1	1	0.3
Gjennomgang av ROS	1	-	-
Hovedtilsyn	10	-	-
Innvendig inspeksjon	1	-	-
Kalibrering	3	-	-
Kapasitetstest	1	-	-
Kontroll	45	6	22
Kontroll - Kalibrering	1	1	8
Kontroll - lekkasetesting - Rengjør	1	-	-
Kontroll - Måling	3	2	7
Kontroll - Måling - Rengjør	1	-	-
Kontroll - Oljeskift	1	-	-
Kontroll - Rengjør	1	-	-
Kontroll - Resertifisering	1	-	-
Kontroll og vedlikehold	1	-	-
Kontrollmåling - Visuell inspeksjon	1	1	8
Kontrollrunder	1	-	-
Måling	15	3	7
Nivelering	1	-	-
Oljeanalyse	2	2	2
Oljeskift	1	1	2
Periodisk tilsyn	20	-	-
Rengjøring	9	5	24
Revisjon	10	-	-
Revisjon / Ettersyn	2	-	-
Sakkyndig kontroll	2	-	-
Service	1	-	-
Sjekk profil for vannføring	1	-	-
Termografi	1	1	4
Trykktesting	1	-	-
Tømming	1	-	-
Utskifing	2	-	-
Vedlikeholde dokumentasjon	1	-	-
Visuell inspeksjon	2	2	4
Sum:	167	67	384

^a Med relevant menes relevant i forhold til oppgavefokus.

Kilde: Vedlikeholdsplan i SAP hos Lyse

B Utdrag fra Beredskapsforskriften

Utdrag fra Beredskapsforskriften (2012) kapittel 5: (OED, 2012)

§ 5-2.Klasser

...

Klasse 1 omfatter:

a. Kraftstasjon med samlet installert generatorytelse på minst 25 MVA.

...

g. Driftskontrollsystem som styrer eller overvåker anlegg som omfattet av bokstav a til d og f.

...

§ 5-3.Sikring av klassifiserte anlegg

Alle klassifiserte anlegg skal prosjekteres, plasseres, utføres, utrustes, sikres, driftes og holdes i slik stand at risiko for skade, havari og funksjonssvikt og andre uønskede hendelser og handlinger blir minst mulig.

§ 5-4.Sikringstiltak for klasse 1

Anlegg klassifisert i klasse 1 skal, i tillegg til kravene til sikring etter § 5-1 og § 5-3, oppfylle følgende generelle krav til sikring:

1. Anlegget skal utføres etter krav til normalt sikringsnivå, som nærmere angitt i vedlegg 1.
2. Skader og funksjonstap skal oppdages innen rimelig tid.
3. Skader skal utbedres og anleggets funksjoner skal gjenopprettes uten ugrunnet opphold. Anlegg klassifisert i klasse 1 skal også oppfylle særlige krav til sikring for sin klasse og anleggstype som fastsatt i vedlegg 1, jf. vedlegg 4.

C Intervjuguider

Intervjuguide for ingeniører

Opplys om anonymitet

Om deg:

1. Kva er din rolle, ditt fagfelt og kva er dine ansvarsområder? Kor lenge har du hatt stillinga?
2. Utdanning og anna erfaring?
3. Har du jobba med Jøssang Kraftverk på noko måte, eller liknande kraftverk?

Om vedlikehald:

1. Har du erfaring med:
 - (a) Vedlikehaldsplanlegging
 - i. Kva gjer Lyse bra her?
 - ii. Kva føler du manglar av informasjon/data?
 - iii. Kva ville du gjort annleis?
 - (b) Feilsøking i kraftverk?
 - i. Kva gjer Lyse bra her?
 - ii. Kva føler du manglar av informasjon/data?
 - iii. Kva ville du gjort annleis?
 - (c) Tilstandsovervaking?
 - i. Kva gjer Lyse bra her?
 - ii. Kva føler du manglar av informasjon/data?
 - iii. Kva ville du gjort annleis?
2. Kva meiner du er forskjellen mellom reaktivt, preventivt og tilstandsbasert vedlikehald?
3. Kva tenker du om tilstandsbasert vedlikehald i kraftbransjen?
 - (a) Kan dette vera aktuelt for Lyse?
 - (b) Korleis kan dette hjelpa Lyse?
4. Ser du nokre utfordringar i kraftverksbransjen etter at straummarknaden gjekk over til fri marknad? (Teknisk, meir start/stopp)
5. Korleis føler du organisasjonen (Lyse) ser på Vedlikehald?
 - (a) Byrde, nødvendig vonde, kan motverka uønska situasjonar, verdiskapande?
 - (b) Er vedlikehaldsstrategien i tråd med konsernstrategien?
6. Kva er ditt draumescenario innan drift og vedlikehald?

7. Kven har levert kraftverkskomponentane til Jøssang? (Alstom?) Veit du om dei prøver dei å selja eller tilrå vedlikehaldssystem?
8. Kva meiner du er den største utfordringa med kraftverk som Jøssang? Om IT i Lyse:
9. Korleis opplever du Lyse sin IT system med tanke på:
 - (a) Vedlikehaldsinformasjon? Ser du nokre forbettringspotensiale? Kva?
 - (b) Tilgang til dokumentasjon? Ser du nokre forbettringspotensiale? Kva?
 - (c) Tilgang til tilstandsdata? Ser du nokre forbettringspotensiale? Kva?
10. Er det noko av informasjon, data eller trendar du saknar i ditt arbeide?
11. Er det lett for deg å få tak i informasjonen du treng?
12. Er det ein type driftsdata, sensordata, tilstandsdata frå eit kraftverk du ynskjer visualisert/trend/tilgang til?
13. Korleis er kommunikasjonen mellom dine kollegaer innan ditt felt og dei som driftar kraftverka? Er det noko informasjon ein av partane sit på som den andre kunne hatt godt av?
14. Informasjon er veldig tilgjengeleg for privatpersonar, bedrifter kjem etter. Er det teknologiidear frå ditt daglegliv du ville ha hatt i arbeidslivet, som t.d. ein form for app?
15. Kor mykje vedlikehaldsdata lagrar/arkiverer Lyse, og kor lenge? (server)

Intervjuguide for produksjonsplanlegger

Opplys om anonymitet

Om deg:

1. Kva er din rolle, ditt fagfelt og kva er dine ansvarsområder? Kor lenge har du hatt stillinga?
 - (a) Rolle:
 - (b) Arbeidsoppgåver:
2. Utdanning og anna erfaring?
3. Har du jobba med Jøssang Kraftverk på noko måte, eller liknande kraftverk?

Spørsmål:

1. Kan du kort forklara korleis de jobbar?
2. Korleis reknar de ut vassverdien?
3. Kva tankar har de om dagens marknadssituasjon sitt i lys av vedlikehold og driftsutfordringar?
4. Korleis ser de for dykk marknaden i framtida og vil de føra til endra forventningar og krav til kraftverka? T.d. tilgjengeleg, påliteleg, driftsikker, fleksibel, effektiv
5. Korleis er utviklinga innan vedlikeholdstilkomst?
6. Korleis er forholdet mellom vedlikehold, økonomiavdelinga, kontrollrom og marknadsavdelinga (økonomisk drift)?
7. Har de tal på kva utilsikta stopp kostar for dei ulike kraftverka?
8. I kva grad føler de at upålitelegheit er eit problem?
9. Tek de hensyn til start/stopp-slitasje og kostnader knytt til det?
10. Korleis er ditt syn på tilsandsbasert vedlikehald?
11. Er det periodar i året at tilsiget er so lite at det berre er noko til å dekkja Dalen og elva ved Dalen? Ser på driftsdata at det er veldig variasjon i drift gjennom året.
12. Skaper redusert regulerinsevne andre utfordringar ved Jøssang samanlikna med andre kraftverk?
13. Har de andre tankar rundt Jøssang Kraftverk e.l.?

D Referat fra intervjuer

Intervju ingeniør 1

Tidsbruk: ca. 60 minutt

Om deg:

1. Kva er din rolle, ditt fagfelt og kva er dine ansvarsområder? Kor lenge har du hatt stillinga?

2014: Senior ingeniør elektro, 2012: Gruppeleder, 2007: Ingeniør og teknisk

2. Arbeidsoppgåver:

Generator, tilstandsmåling, testing, feilsøking og litt vibrasjonsmåling.

3. Arbeidsområder no:

Lysebotn 2 prosjektet: generator, trafo, kabel, plan, design

4. Utdanning og anna erfaring?

Fagbrev som energimontør. Tok deretter teknisk fagskule og bachelor innan elkraft.

5. Har du jobba med Jøssang Kraftverk på noko måte, eller liknande kraftverk?

Var med på igangkøyringa av Jøssang og litt feilsituasjonar.

Vedlikehald:

6. Har du erfaring med vedlikehaldsplanlegging?

Nei, Lyse har ein eigen avdeling til det. Planleggingsavdelinga skiljer for lite mellom arbeid på ulike komponentar, som til dømes generator. Jobben er ofte sett opp tilnerma som ein mal, medan den faktiske jobben ofte er ganske ulik frå generator til generator. Dette er noko som jobbast med, men framleis står ein del igjen.

7. Har du erfaring med feilsøking i kraftverk?

Ja. Positivt: Generatormålingane frå kvart år er tilgjengeleg for analyse. Negativt: Mange teikningar er ikkje oppdatert eller tilgjengelege

8. Har du erfaring med tilstandsovervaking?

Ja, innan generator, stator, rotor og litt vibrasjon. Lyse jobbar med å verta betre på vibrasjonsmåling. For å nytta dette betre må det inkludrast i kontrollsystemet slik at data kan hentast ut og analyserast. Sjølv bruker eg vibrasjonsmåling mest lokalt i stasjonene, spesielt ved igangkøyring etter vedlikehald. Jøssang har Orbit,

eit system som kan visa korleis akslingen bevegar seg, men har ikkje installert den modulen som viser dette. Leverandørar som er inne på oppdrag kan derimot koble seg opp med slikt utstyr.

9. Kva meiner du er forskjellen mellom reaktivt, preventivt og tilstandsbasert vedlikehald?

Reaktivt vedlikehald er ikkje ein god filosofi i kraftbransjen. Preventivt vedlikehald er utbreidd med til dømes kontrollrundar. Teknikar går jamleg rundar + litt ingeniørar. Av tilstandskontroll vert det utført årlege revisjonar der ein utfører mange målingar av parametrar på viktige komponentar, som generator, trafo og turbin. Totalt vert ein kombinasjon av alle nemnde metodar brukt. Viktig utstyr må kontrollerast, medan mindre viktige ikkje treng. Det er ein vurdering mellom pris og risiko. Me ser på tilstand og resterande levetid.

10. Kva tenker du om tilstandsbasert vedlikehald i kraftbransjen? Aktuelt for Lyse?

Lyse jobbar med å verta betre på det. Det krevur litt ekstra arbeid, men ein kan spare på ein god løysning. Ein må sørga for at løysninga er enkel og ikkje for ressurskrevande.

11. Ser du nokre utfordringar i kraftverksbransjen etter at straummarknaden gjekk over til fri marknad? (Teknisk, meir start/stopp)

Ser på maskinene at dei ikkje er bygd for det. Stator og viklingar vert fortare lause. Gjeld ikkje berre dei gamle maskinene. Dei nye er designa med små marginar og er ofte mindre solide enn dei gamle.

12. Korleis føler du organisasjonen (Lyse) ser på Vedlikehald?

Aldri noko motstand. Dei gamle arbeidarane ute i feltet bidrar med mest motstand når det gjeld utprøving av nye idear. Låge straumprisar fører til at enkelte prosjekt vert utsett, men det er naturleg for ein sunn økonomi.

13. Kva er ditt draumescenario innan drift og vedlikehald?

System som er enklare og meir presentabelt. All informasjon oppdatert. Det hadde vore verdifullt å hatt all informasjon som driftsdata, vibrasjonsmåling og andre parametre tilgjengeleg via nett, men eg bruker det mest ute på anlegget.

14. Kven har levert kraftverkskomponentane til Jøssang?

Alstom har hovudkomponentane. Vibrasjonsvern: IKM.

15. Veit du om leverandøren prøvde å selja eller tilrå vedlikehaldssystem?

Ikkje som eg veit. Det var eg som spurte dei etter fleire løysningar, ikkje omvendt.

16. Kva meiner du er den største utfordringa med kraftverk som Jøssang?

Vassmurt turbinlager. Ikkje so mange av i Noreg. Det vart designa for å ha hyllevarer som reservedeler, men det har vist seg å ikkje stemme. Medfører lengre leveringstid på deler enn venta. Styringssystemet var utdatert då det vart levert. Leverandør må inn når det er feil på styringssystemet pga. kompleksiteten.

IT i Lyse:

17. Korleis opplever du Lyse sitt IT system mtp:

SAP vert brukt mykje, men det er lite oversiktleg. Eg har ikkje brukt det så mykje heller og kan sikkert læra meg det betre. Me har hatt litt kurs i SAP. Det er også snakk om å få meir driftsinformasjon knytt opp mot driftssentralen, som me igjen for tilgang til gjennom ein nettportal. E-docs skal innførast som nytt dokumentasjonsprogram. Det ser ut til å vera mykje betre. Gjennom ein nettportal kan me logga oss på og sjå all info om eit kraftverk i realtid. Dette er eit godt verktøy. Data går langt tilbake og kan trendast (driftsdata).

18. Er det noko av informasjon, data eller trendar du saknar i ditt arbeide?

Ikkje som eg kjem på. Me får mykje informasjon ut frå dei årlege kontrollane. Det kunne vore nyttig med litt meir vibrasjonsmåling

19. Er det lett for deg å få tak i informasjonen du treng?

Ikkje alltid pga. mykje er papirbaserte rapportar. Dei er lagra i eit arkiv på kontoret på Mariero. Men alle kraftverka skal ha full dokumentasjon ute i anlegget, samt datamaskin.

20. Korleis er kommunikasjonen mellom dine kollegaer innan ditt felt og dei som driftar kraftverka? Er det noko informasjon ein av partane sit på som den andre kunne hatt godt av?

Folk ute i feltet har kanskje meir informasjon enn dei som sit på kontoret ettersom dei kontinuerleg jobbar på anlegga. Mange kunne lært ein del av å vera meir ute.

21. Informasjon er veldig tilgjengeleg for privatpersonar, bedrifter kjem etter. Er det teknologiidear frå ditt daglegliv du ville ha hatt i arbeidslivet, som t.d. ein form for app?

Handyman med ordrelister og data har vore brukt litt. Ein løysning der ein kan senda data vidare til kontoret hadde vore fint.

22. Kor mykje vedlikehaldsdata lagrar/arkiverer Lyse, og kor lenge? (server)

Veit ikkje kor lenge det vert lagra. Dokumentasjon prøver Lyse no å samla i nye E-docs. Papir framleis mykje brukt

Intervju ingeniør 2

Tidsbruk: ca. 70 minutt

Om deg:

1. Kva er din rolle?

Senior ingeniør mekanisk. Har 22 år erfaring i Lyse.

2. Arbeidsoppgåver:

Lysebotn 2 prosjektet, driftskoordinator mekanisk utstyr, røyr og turbinar

3. Arbeidsområder:

Vedlikeholdsprosjekt, større rehab, og nokre mindre

4. Utdanning og anna erfaring?

3 år ingeniør mekanisk. Jobba ved mekanisk verkstad før utdanninga.

5. Har du jobba med Jøssang Kraftverk på noko måte, eller liknande kraftverk?

Ja, var med i lengre tid. Med i bygginga frå anlegget var ferdig innstøyppt til og med igangkøyringa.

Vedlikehald:

6. Har du erfaring med vedlikehaldsplanlegging?

Ja, jobba ein del med før, men ikkje so mykje no lengre.

7. Har du erfaring medfeilsøking i kraftverk?

Teknikarane og montørane tek seg av dei største jobben, men ingeniørar bidrar ved behov eller større problem. Systemet her fungerer bra. Virker stort sett bra for meg, men kan vera at det er på grunn av at eg har vore her lenge og veit kor eg skal leita for å finna informasjonen eg treng. Før var all informasjon i SAP, men no får me E-docs. Det vert sikkert betre. Men det er viktig å implementera E-docs på ein god måte slik at ein kan søka opp den spesifikke teikninga ein treng raskt og enkelt. Mykje av informasjonen eg jobbar med er papirbasert.

8. Har du erfaring tilstandsovervaking?

Me har litt vibrasjonsovervåking. Men det er trending og overvåking av til dømes trykk og temperaturar på lager etc. me har mest av. Der det ikkje er montert permanente vibrasjonssensorar kan selskap som f.eks. Norconsult kan kobla opp midlertidige sensorar. Dersom det er sensorar installert kan leverandørar kobla seg opp på dette systemet. Nye kraftverk har i dag litt vibrasjonssensorar som standard. Har grundige årlege kontrollar som følger leverandørar sine håndbøker. Her utfører me til dømes sprekkkontroll med NDT for å oppdaga påbegynte

skadar og utbetra dei før problem oppstår. Lyse jobbar med å verta betre på vibrasjonsmåling.

9. Kva meiner du er forskjellen mellom reaktivt, preventivt og tilstandsbasert vedlikehald?

Kan vera aktuelt med reaktivt for f.eks. smøreoljepumper. Dei er ikkje so avanserte og har rudundans. Kan jobba reaktivt på mindre uviktige komponentar, men me ser generelt over det meste av utstyret jamnleg. Mange tenker at det ikkje er fornuftig å skru på noko som fungerer og ikkje indikerer noko problem. Metodane me bruker mest er førebyggjande og tilstandsbasert. Dei fleste kraftverka vert stoppa ein gong i året og kontrollerte. Konsulentar og leverandørar kan vera med på vurdering ved alvorlege feil. Pusser/sliper (og sveiser ved behov) løpehjulet ca. annankvart år på større kraftverk. Dette hindrar utvikling av skadar, men er og positivt for verknadsgrada som følgje av redusert friksjon.

10. Kva tenker du om tilstandsbasert vedlikehald i kraftbransjen?

Me har allereie ein del. Det kan vera eit godt hjelpemiddel.

11. Ser du nokre utfordringar i kraftverksbransjen etter at straummarknaden gjekk over til fri marknad? (Teknisk, meir start/stopp)

Prisane har gått ned. Det fører igjen til at færre prosjekt er lønsame og vert kanskje ikkje gjennomført. Eg var på 90-talet med i prosjektet som skulle rekna ut kostnadane for start og stopp i kraftverk. Dette fokuserte mykje på generator og oppvarming/nedkjøling i dei. Det er god kommunikasjon mellom marknadsavdelinga og vedlikehald. Dei veit dermed om påkjenningane ved start/stopp og tenker på ved når dei bestemmer drift.

12. Korleis føler du organisasjonen (Lyse) ser på vedlikehald?

Lyse produksjon er ein liten organisasjon med vilje for godt vedlikehald. Avdelinga har vore på kurs innan verdiskapande vedlikehald. Lyse er eit stort konsern med mange forretningsområder. Kraftproduksjonsorganisasjonen konkurrerer dermed med dei andre avdelingane om investeringsmidlar i Lyse når ein vil gjennomføra større prosjekt. Mykje utstyr og maskiner begynner å verta gamalt. Det medfører at det vert vanskelegare å få tak i deler, kvalifiserte folk etc.

13. Er vedlikehaldsstrategien i tråd med konsernstrategien?

Veit ikkje.

14. Kva er ditt draumescenario innan drift og vedlikehald?

Er nok rom for forbetring, men kjem ikkje på noko store endringar

15. Kven har levert kraftverkskomponentane til Jøssang? (Alstom?)

Alstrom. Dei leverer håndbøker for vedlikehald med kraftverka sine.

16. Kva meiner du er den største utfordringa med kraftverk som Jøssang?
Me har hatt litt turbinproblem. Det er mykje startproblem. Feil og alarmer og bruddpinnar som ryk. Litt med utfordringar med kontrollanlegget også.

IT i Lyse:

17. Korleis opplever du Lyse sitt IT system mtp. vedlikehaldsinformasjon?
Kan logga oss inn på kontrollsystemet og sjå på driftsdata og trender. SAP er eg ikkje so mykje involvert i, men får inntrykk om at det er litt tungvint.

18. Korleis opplever du Lyse sitt IT system mtp. tilgang til dokumentasjon?
Ikkje alltid lett tilgjengeleg. Har pc i kraftverka som har tilgang til informasjon. All dokumentasjon til eit kraftverk skal stå i papirform ute på anlegget.

19. Korleis opplever du Lyse sitt IT system mtp. tilgang til tilstandsdata?
Me har tilgang til all driftsdata som er kobla opp til driftssentralsystemet gjennom ein nettportal. Har ikkje so mykje vibrasjonsmålingar og manglar tilgang til det frå kontor og kontrollanlegg. Det meste av vibrasjonsmåling føregår lokalt på anlegget. Informasjon frå NDT kontroll er basert på rapportar.

20. Er det ein type driftsdata, sensordata, tilstandsdata frå eit kraftverk du ynskjer visualisert/trend/tilgang til?
Får tilgang til mykje via driftssentral. Får meir og meir data og målingar di nyare anlegga er.

21. Korleis er kommunikasjonen mellom dine kollegaer innan ditt felt og dei som driftar kraftverka?
Organisasjon er liten nok til at informasjonen flyt bra. Føler ikkje det er noko kommunikasjonsgap.

22. Informasjon er veldig tilgjengeleg for privatpersonar, bedrifter kjem etter. Er det teknologiidear frå ditt daglegliv du ville ha hatt i arbeidslivet, som t.d. ein form for app?
Systemet kunne vore litt enklare.

Intervju ingeniør 3

Tidsbruk: ca. 50 minutt

Om deg:

1. Kva er din rolle, ditt fagfelt og kva er dine ansvarsområder? Kor lenge har du hatt stillinga?

Ingeniør kontroll og hjelpeanlegg sidan 2009

2. Arbeidsoppgåver:

Litt på planlagt vedlikehald, oppgraderingsprosjekt og oppfølging av elektriske vern

3. Utdanning og anna erfaring?

Shell Raffineriet på Sola. Vidaregåande skule: svakstraum og automasjon med litt påbygg på teknisk fagskule.

4. Har du jobba med Jøssang Kraftverk på noko måte, eller liknande kraftverk?

Har jobba lite med Jøssang. Har fått inntrykk av at det var litt problem med leveransen.

Om vedlikehald:

5. Har du erfaring med vedlikehaldsplanlegging:

Har vore med på planlagt vedlikehald. Lyse vil verta betre innan tilstandsbasert vedlikehald. SAP er litt statisk, men generer ordre. Det er tidsbasert vedlikehald.

6. Har du erfaring med feilsøking i kraftverk?

Me har moglegheit til å sjå på trendar i forbindelse med feilsøking. Driftssentralen identifiserer feil og melder i frå. Teknikar på vakt rykker ut. Ingeniørar bidrar dersom ein ikkje finn årsaka eller ved større problem. Vibrasjonsmåling er tilgjengeleg på mange kraftverk, men har ikkje noko strategi. Har difor ikkje vorte brukt på ein god måte. Eldre kraftverk har lite data, men ved større oppgraderingar av styringa får dei lik styring som moderne kraftverk. Vurdering av kvart enkelt anlegg vert gjort etterkvart basert på økonomi, sikkerheit og levetid.

7. Har du erfaring med tilstandsovervaking?

Kontrollerer instrument og testar dei. Har tilstandsovervaking på dei store komponentane i form av trykk og temperatur etc. Dei parametrane seier mykje om tilstand.

8. Kva meiner du er forskjellen mellom reaktivt, preventivt og tilstandsbasert vedlikehald?

Ikkje so bra med reaktivt; vanskeleg å planlegga, dyrt og medfører meir nedetid på utstyr. Tilstand: Me utfører i dag mykje tilstandskontrollar som til dømes: blodprøvar av olja i trafo og lagervibrasjonar. Preventivt: Stor del av vedlikehaldet vårt er preventivt. Til dømes: årlege revisjonar, signaltestar og test av sikkerheitsfunksjonar. Ikkje alle komponentar kan målast, som f.eks. vern. Plutseleg ryk det.

9. Kva tenker du om tilstandsbasert vedlikehald i kraftbransjen?

Mengde måling er ein balansegang. Fleire måling vil krevja meir ressursar å fylgja opp, samt høgare investering. Eit selskap må tena pengar so løysningane må vera kostnadseffektive. Nye verktøy kan sikkert brukast for å få ein enklare måte nytta informasjonen som kjem frå slike system. Må vurderer verdien opp mot innsatsen.

10. Ser du nokre utfordringar i kraftverksbransjen etter at straummarknaden gjekk over til fri marknad? (Teknisk, meir start/stopp)

Sliter litt meir på maskina. Kan krevja meir vedlikehald på f.eks. lager. Før gjekk maskina heila tida, no sel me krafta til andre land og tener meir pengar.

11. Korleis føler du organisasjonen (Lyse) ser på Vedlikehald?

Me jobbar ein del med økonomisk drift. Marknadsavdelinga og vedlikehald har møter kvar veka for å diskutera drift opp mot prisar og vedlikehaldsplan. Prøver å unngå vasstap (sender vatn til sjø utan produksjon) sjølv ved vedlikehaldsstopp av kraftverk.

12. Er vedlikehaldsstrategien i tråd med konsernstrategien?

Får midlar til å utføra det planlagde vedlikehald. Føler leiinga har forståing for behovet vårt.

13. Kva er ditt draumescenario innan drift og vedlikehald?

Moderne og robuste kontrollanlegg i alle stasjonar som kommuniserer med driftssentralen. Det vil igjen gje vedlikehald og ingeniørar mykje nyttig informasjon å jobba ut ifrå. Moglegheit for å analysere situasjonar. Det fins system so kan gå tilbake til ein situasjon og "spela den av" igjen. Det kan også visualisera kva faktorar som var avgjerande og hadde påverknad på resultatet. Men slike system er dyre og vil sikkert ikkje løna seg.

14. Kva meiner du er den største utfordringa med kraftverk som Jøssang?

Kanskje investeringsvilje på grunn av låge straumprisar. Nye krav til damsikring og magasin kostar mykje, kapitalkrevjande.

IT i Lyse:

15. Korleis opplever du Lyse sitt IT system med tanke på:

Tungvindt i SAP, vanskeleg å gjera endringar. Lite levande funksjonar som til delelager. Ikkje so lett nett no, men vert sikkert betre med E-docs. Det som ikkje er i driftssentral er i rapportar. Alt skal inn i E-docs.

16. Er det noko av informasjon, data eller trendar du saknar i ditt arbeide?

Det finst system der ein kan spela av ein hending for å sjå kortid det stoppa og kva som skjedde. Det hadde vore nyttig, men er nok for dyrt. Kjemometri: puttar masse informasjon inn og viser det kva som påverkar endringa.

17. Korleis er kommunikasjonen mellom dine kollegaer innan ditt felt og dei som driftar kraftverka?

God kommunikasjon mellom ute og inne. Liten organisasjon. Ca. 55 personar.

18. Informasjon er veldig tilgjengeleg for privatpersonar, bedrifter kjem etter. Er det teknologiidear frå ditt daglegliv du ville ha hatt i arbeidslivet, som t.d. ein form for app?

Bruka nettbrett for å finna dokumentasjon, trendar eller kva som har skjedd i prosessen. Slik løysning har vore vurdert til arbeidsordrer og likande.

19. Kor mykje vedlikehaldsdata lagrar/arkiverer Lyse, og kor lenge? (server)

Trend: i alle fall eit år, hendingar: 2-3 månadar

Intervju produksjonsplanlegger

Om deg:

1. Kva er din rolle, ditt fagfelt og kva er dine ansvarsområder? Kor lenge har du hatt stillinga?

Gruppeleiar økonomisk drift

2. Arbeidsoppgåver:

Produksjonsplanlegging, kraftforvaltning, vanndisponering

3. Utdanning og anna erfaring?

Har jobba med produksjonsplanlegging i Lyse sidan 2008. Vart gruppeleiar i fjor. Jobba før det i 3 år med damsikkerhet i Lyse. Før det igjen jobba eg 4 år i Elkem Energi også innanfor produksjonsplanlegging.

4. Har du jobba med Jøssang Kraftverk på noko måte, eller liknande kraftverk?

Jobbar med produksjonsplanlegging for alle kraftverka i Lyse og må då ha ein viss kjennskap til alle for å forstå deire begrensingar og moglegheiter. Under bygginga av Jøssang var eg med litt i prosjektet som HMS-koordinator.

Spørsmål:

1. Kan du kort forklara korleis de jobbar?

Dei daglege gjeremål går på rullering mellom dei 4 personane som jobbar ved Økonomisk Drift. Dei oppgåvene går blant anna ut på å anmelde pris og produksjon til Nord Pool for komande dag. Dette gjerast innan 12.00 og resultat frå Nord Pool kjem 13.00. Me vurderer og eventuelt tilpassar planen ut frå korleis vær, vind, tilsig m.m. er. Dersom det skjer uforutsette ting som flom, driftsproblem eller andre ting so er me med å vurderer det. Jobbar også med langsiktig plan, kan godt vera estimert pris om eit år eller to, og ser på korleis det kan påverka pris og vassverdi i dag.

Me støttar også vedlikehald med å finna optimalt tidspunkt for revisjonar og vedlikehald. Ein vil finna det tidspunktet med minst mogleg tap. Feks. med dårleg pris, tørr periode, god kapasitet i magasin etc. Målet er å ikkje få vasstap til sjø og få best mogleg pris når ein produserer. Støttar også verdsetjing og lønsamheit av prosjekt, oppgraderingar og utbyggingar.

Når for eksempel Statnett treng effektreservar eller frekvensregulering kan me by ein pris for å la det vera ekstra kapasitet ledig ved eit kraftverk mot at me vert kompensert for det. Feks. kan eit 110MW kraftverk reduserast til 100MW og endra statikken på kraftverket slik at det kan variera opp og ned 10MW

ettersom frekvensen går opp eller ned. Normalt står statikken på 12%, men ved effektreserver kan den f.eks. setjast til 2%. Då vil den reagere raskare på frekvensendring. Dette er tiltak som kan gje litt betre pris per m³ vatn.

2. Korleis reknar de ut vassverdien?

Her ser ein på kva forventa pris me kan få for vatnet. Vi bruker både kompliserte og meir enkle reknemodellar for å få fram vannverdiane.. Utfallsmodellane kan vera veldig avanserte med input frå alt frå magasinstorleik, nivå, vær, vind og prognosar. Kort fortalt er vassverdien det me er villig til å selja vatnet for. Forsøker å optimalisera for beste pris. Dersom det er mykje sol og vind i Danmark kan ein få mykje billeg kraft derifrå som vil gje dårleg pris i Noreg.

Jøssang har veldig lite magasin og er nesten som eit elvekraftverk. Dette gjer at ein ikkje treng so avansert modell for å vurdere produksjon eller ikkje. Men ein god tilsigsprognose har stor verdi. Når det er bra med tilsig må ein produsera for å hindra at det renn over dammen. Men optimal drift med ok tilsig vil vera å køyra kraftverket på dagtid og samla vatn på natt. I tørre periodar kan det gå lang tid mellom drift av Jøssang.

3. Kva tankar har de om dagens marknadssituasjon sitt i lys av vedlikehold og driftsutfordringar?

Prisen har ikkje vore spesielt god den siste tida, men me jobbar på same måte som før; prøver å utnytta svingningane i pris og få best pris i snitt. Når kraftverka allereie står der må me nytta dei so godt me kan.

Jøssang har veldig lite magasin og det vil difor vera ein fordel å unngå vedlikehald i periodar med sannsyn for god pris eller mykje tilsig. Eventuelt kan ein ta korte stopp for å unngå at det renn over. Men tek ein slikt arbeid på dagtid kan ein gå glipp av den beste timespris ilt. døgnet. Det beste er å ta vedlikehald i tørre periodar, som midt på sommaren. Ved svikt i kraftverket kan ein fort gå glipp av inntening ved gode prisar ved at det renn over dammen. Sparer ein f.eks. opp litt vatn ved dårleg pris for å produsera ved god pris er ein avhengig av at det startar og går fint. Eit anna problem med Jøssang er at prisane er høgast i tørre periodar og lågast i periodar med godt tilsig. Jøssang kan omtrent berre produsera i våte periodar. Men Jøssang har ein del effekt so om kraftverket er klart so kan ein utnytta enkelte periodar.

4. Korleis ser de for dykk marknaden i framtida og vil de føra til endra forventningar og krav til kraftverka?

T.d. tilgjengeleg, påliteleg, driftsikker, fleksibel, effektiv Det er dyrt å ikkje levera kraft som planlagt so tilgjengelege og pålitelige kraftverk er viktig. Dette har

vore fokus på i mange år ettersom prisane har variert lenge. Føler ikkje at det er endra noko betydeleg no med lågare prisar. Det viktigaste for oss er å utnytta svingningane. Då må ein vera fleksibel i forhold til kortid ein kan produsera. Det ser ut til at den auka mengda uregulerbar kraft som elvekraftverk, sol- og vindkraft skapar større svingningar, men ikkje på oppsida aukar den ikkje. Det drep heller prisen. Enkelte gongar er straumprisen negativ so det vil koste pengar å produsera. Det er periodar med overproduksjon. Må posisjonera oss for dei gode dagane.

I Jøssang sitt tilfelle so har den ein del effekt tilgjengeleg. Men på grunn av begrensa magasin so har den berre ein sjanse til å få best pris. Startar det ikkje då so vil det vera eit tap. Dette har vore ein utfordring ved Jøssang. I vinter hadde me situasjonar der me tapte 50.000 kr enkelte dagar på driftsproblem. Gjekk då nokre dagar, men stoppa av problem medan prisen framleis var god. Eit anna eksempel er når vi pga. driftsproblem vil unngå start/stopp.. Då var planen å køyra dag og stoppa natt, men må i staden kjøre eit par døgn i strekk.

5. Korleis er utviklinga innan vedlikeholdstilkomst?

Som nemnt over er fokuset heile tida på å få tid minst mogleg tap. Om det tilsig og pris er bra kan det lønna seg å utsetja arbeidet eller kalla inn fleire folk på overtid. Det beste er å ta vedlikehald når ein ikkje nyttar kraftverket. Eit vassdrag har eit gjennomsnittleg forventta tilsig gjennom året som fører til eit avgrensa reelt driftstimar for kraftverket. Klarer ein å treffe rett tidspunkt mellom der so har ein minst kostnader. Dette vurderer me heilege vegen og har tett kontakt med vedlikehaldsplanlegging.

6. Korleis er forholdet mellom vedlikehold, økonomiavdelinga, kontrollrom og marknadsavdelinga (økonomisk drift)?

Me har jamnlege møter og har tett samarbeid. Felles mål for alle avdelingane er å skapa mest mogleg verdi. Dei ulike faggruppene kan ha ulikt fokus og innspel frå alle avdelingane er difor viktig for å få det beste totale resultatet.

Jobbar f.eks. vedlikehald med eit lengre prosjekt og me ser prisen skal verta god før dei er ferdige so sjekkar me om dei kan fullføra før tida.

7. Har de tal på kva utilsikta stopp kostar for dei ulike kraftverka?

Arve har utrekningar over kva ulike stopp har kosta ved kraftverka. Der er det tatt hensyn til kva prisen var få det stoppa mot kva prisen dei fekk ved produksjon igjen. Eventuelt vasstap osv. Det er ulik oversikt for uplanlagt og planlagt vedlikehald.

8. I kva grad føler de at upålitelegheit er eit problem?

Er stort sett ikkje eit problem, men ved Jøssang har det ført til ein del tap. Jøssang har gått glipp av mange sjansar.

9. Tek de hensyn til start/stopp-slitasje og kostnader knytt til det?

Både verknadsgrad og start-/stoppkostnader er med i vurderinga når me planlegger, prisar og tilbyr produksjon til Nord Pool. Ved enkelte kraftverk tilbyr me ofte ein pris me kan starta på og køyra på optimalpunkt. Ved høgare pris kan me køyra over optimalpunkt for aggregatet. Ved ein lågare pris kan me redusera for å ikkje bruka for mykje vatn på dårleg pris. Dette gjer me berre dersom me forventar at det er dårleg pris i ein kort periode. Feks. i den normale prisdippen rundt middagstid. Synk prisen på kvelden er det lite sannsynleg at den går opp igjen og då vil me kanskje heller stoppa kraftverket. Blokkemelding mot Nordpool, dvs. at ein melder inn ei minimumstid på produksjonen, er ein måte å ta omsyn til start/stopp-kostnadane.

10. Korleis er ditt syn på tilsandsbasert vedlikehald?

Me ser berre på kost - nytte. Me er opptatt av å ha tilgjengelege kraftverk til rett tid. Som sagt tidlegare er det betre å ta vedlikehald når ein ikkje brukar det. Dersom tilstandskontrollsystemet seier at det er behov for vedlikehald midt på vinteren med høg pris vil det vera uheldig dersom me hadde moglegheit til å fiksa det sommaren før. For enkelte kraftverk, som Jøssang, kan det vera betre å ha to veker stopp om sommaren enn 2 dagar stopp om vinteren. Økonomisk drift blandar seg ikkje so mykje opp i tilstanden. Me forventar at eit kraftverk er driftsklart når det viser det. Det er opp til vedlikehaldsavgdelinga å ha kontroll over tilstanden.

11. Er det periodar i året at tilsiget er so lite at det berre er noko til å dekkja Dalen og elva ved Dalen?

Ser på driftsdata at det er veldig variasjon i drift gjennom året. Svart på det tidlegare.

12. Skaper redusert regulerinsevne andre utfordringar ved Jøssang samanlikna med andre kraftverk?

Ja, det fører til at Jøssang er meir sårbar for driftsutfordringar enn andre. For eksempel vart siste veka brukt til å samla litt vatn. Startar det ikkje når det er god pris då vil ein tapa mykje ettersom det er liten margin før det renn over. Ein får produsert ved Dalen, men den skapar mindre energi per m³ vatn. Ved mykje regn kan ein lika godt produsera heila døgn ettersom me ikkje får lagra noko. Likt som eit elvekraftverk.

Ein annan utfordring med Jøssang er at tilsiget om sommaren kan i lange periodar vera so liten at det meste av vatnet går til å dekkja krav til minstevassføring forbi

Jørpeland.


13. Har de andre tankar rundt Jøssang Kraftverk e.l.?

Slukeevne Jøssang = 13 m³, Slukeevne Dalen = 3,5 m³. Jøssang må ha minimumspris for å starta. Den er veldig liten og må berre dekke drift av hjelpesystem og slitasje. I tillegg får me litt el-sertifikat ved Jøssang, men ikkje av alt. El-sertifikat-ordninga gjeld for kraftverk som starta bygging etter 2012. Bekkeinntak frå Solheimsåna vart påbegynt etter 2012 og me får berre el-sertifikat for den delen av produksjonen.

Aggragatet ved Jøssang har best total virkningsgrad ved 31 MW produksjon. Ved god pris kan me produsera litt over 33 MW, men då får me litt mindre kr/ m³ vatn.

E Spørreundersøkelse med svar

ronnysteine@gmail.com ▾

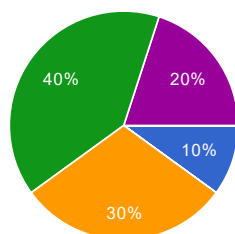


10 svar

[Vis alle svar](#)

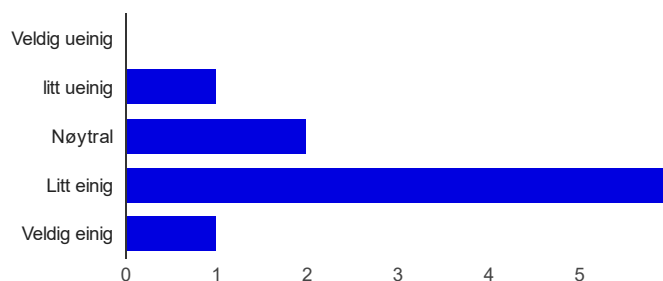
Sammendrag

Kva er din stilling?



Lærling	1	10 %
Energimontør	0	0 %
Tekniker	3	30 %
Ingeniør	4	40 %
Vedlikehaldsplanlegger	2	20 %
Driftssentral	0	0 %
Økonomisk drift (Produksjonsplanlegging)	0	0 %
Økonomi	0	0 %
Leder eller prosjektleder	0	0 %
Ekstern konsulent	0	0 %
Andre	0	0 %

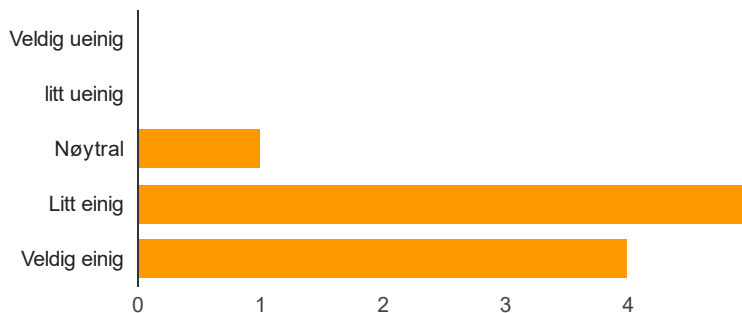
Dagens vedlikehold er bra [I kva grad er du einig i påstandane under]



Veldig ueinig	0	0 %
litt ueinig	1	10 %

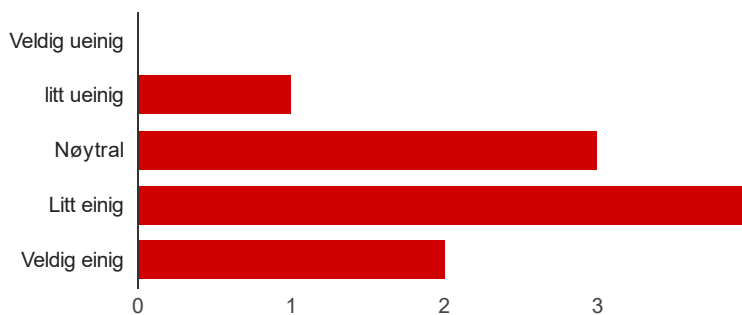
Nøytral	2	20 %
Litt enig	6	60 %
Veldig enig	1	10 %

Dei tilsette har god kjennskap til utstyret dei jobbar på [I kva grad er du enig i påstandane under]



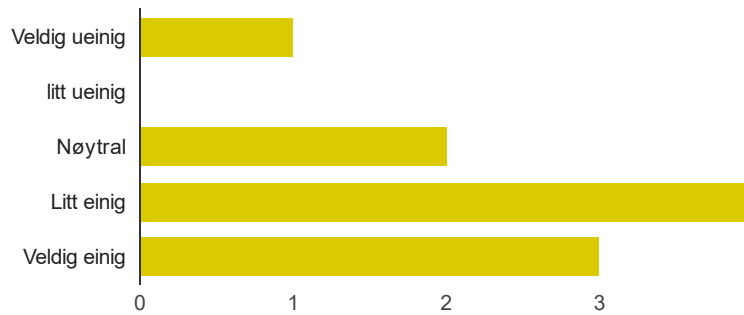
Veldig ueinig	0	0 %
litt ueinig	0	0 %
Nøytral	1	10 %
Litt enig	5	50 %
Veldig enig	4	40 %

Program for førebyggjande vedl. er for omfattande [I kva grad er du enig i påstandane under]



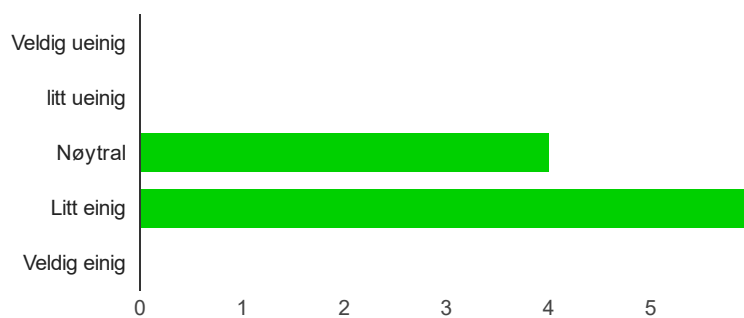
Veldig ueinig	0	0 %
litt ueinig	1	10 %
Nøytral	3	30 %
Litt enig	4	40 %
Veldig enig	2	20 %

Vedlikeholdsplanen er for dårleg tilpassa dei ulike kraftverka [I kva grad er du enig i påstandane under]



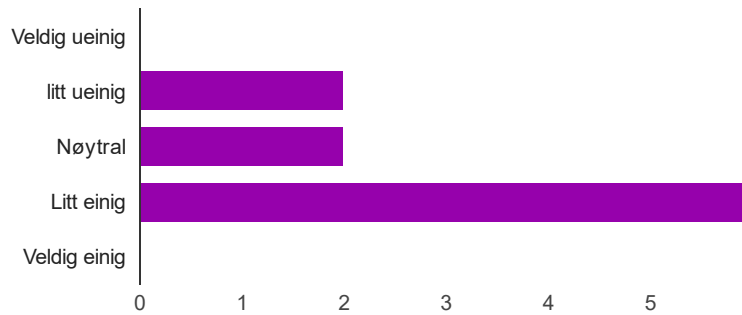
Veldig ueinig	1	10 %
litt ueinig	0	0 %
Nøytral	2	20 %
Litt enig	4	40 %
Veldig enig	3	30 %

Mange feil i kraftverka kunne vore oppdaga med tilstandsovervåking [I kva grad er du enig i påstandane under]

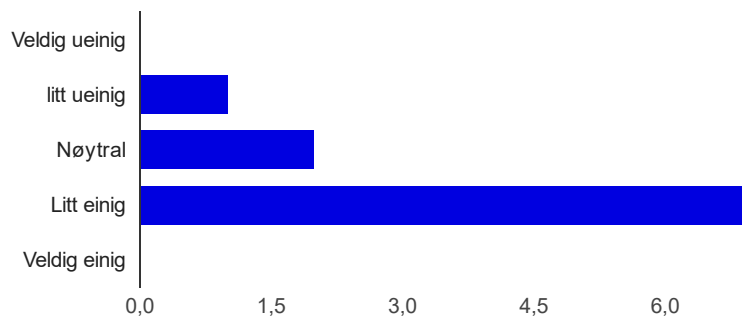


Veldig ueinig	0	0 %
litt ueinig	0	0 %
Nøytral	4	40 %
Litt enig	6	60 %
Veldig enig	0	0 %

Det er for mange uforutsette stopp i kraftverka [I kva grad er du enig i påstandane under]

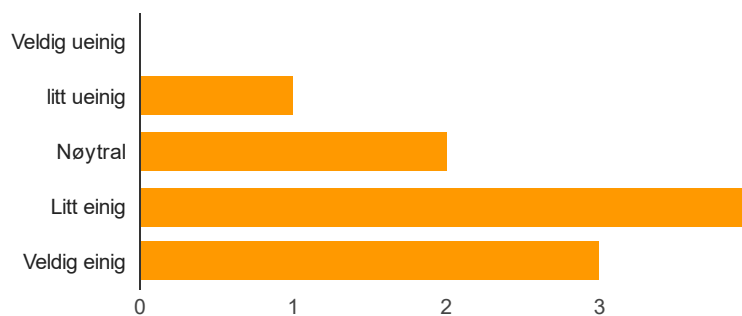


Ein del av dagens rutinearbeid kunne vore redusert eller erstatta av tilstandsmåling [I kva grad er du einig i påstandane under]



Veldig ueinig	0	0 %
litt ueinig	1	10 %
Nøytral	2	20 %
Litt einig	7	70 %
Veldig einig	0	0 %

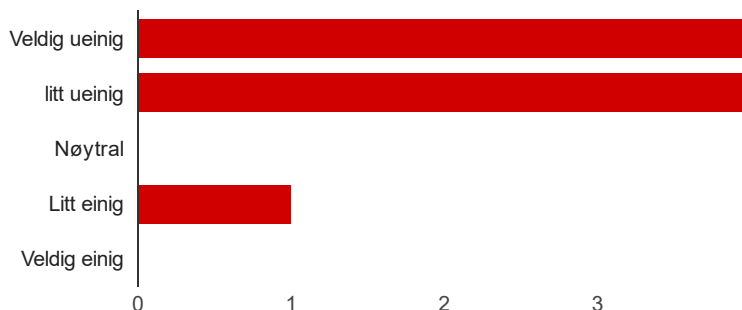
Det er tungvint å finne og analysere driftsdata i dag [I kva grad er du einig i påstandane under]



Veldig ueinig	0	0 %
litt ueinig	1	10 %
Nøytral	2	20 %
Litt einig	4	40 %

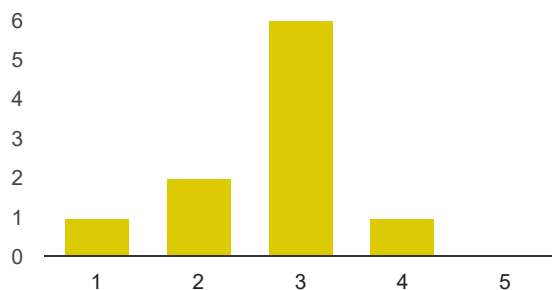
Veldig einig **3** 30 %

Det er enkelt å finna dokumentasjonen eg treng [I kva grad er du einig i påstandane under]



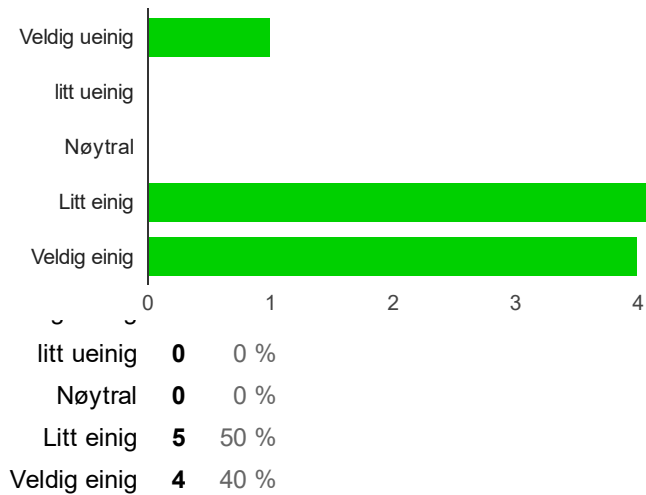
Veldig ueinig **4** 44.4 %
litt ueinig **4** 44.4 %
Nøytral **0** 0 %
Litt einig **1** 11.1 %
Veldig einig **0** 0 %

Kor mykje erfaring har du med tilstandskontroll av maskiner?

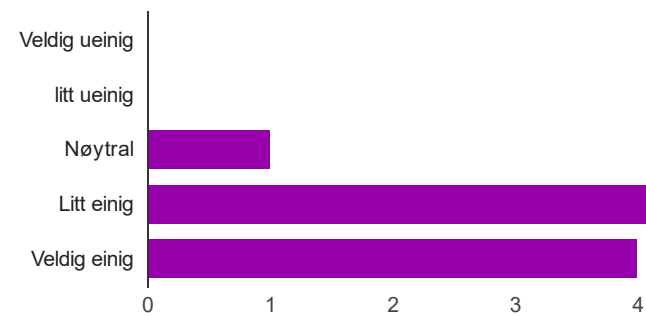


Ingen erfaring: 1 **1** 10 %
2 **2** 20 %
3 **6** 60 %
4 **1** 10 %
Mykje erfaring: 5 **0** 0 %

Informasjon om tilstanden til eit kraftverk er nyttig i mitt arbeid [I kva grad er du einig i påstandane under]

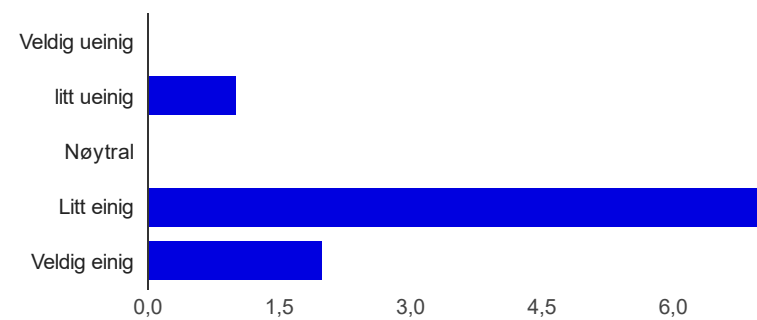


Eg vil læra meir om tilstandskontroll [I kva grad er du enig i påstandane under]



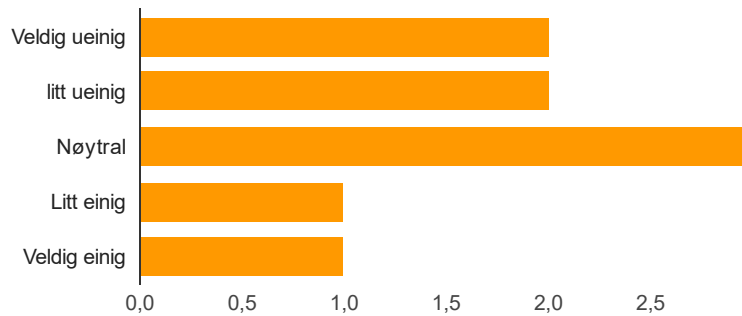
Response	Count	Percentage
Veldig ueinig	0	0 %
litt ueinig	0	0 %
Nøytral	1	10 %
Litt enig	5	50 %
Veldig enig	4	40 %

Eg treng meir opplæring om tilstandskontroll [I kva grad er du enig i påstandane under]



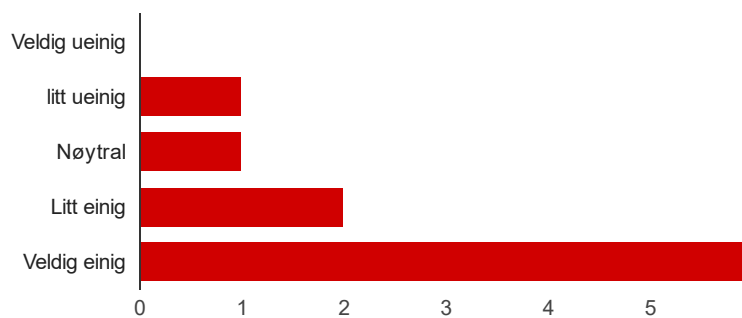
Veldig ueinig	0	0 %
litt ueinig	1	10 %
Nøytral	0	0 %
Litt enig	7	70 %
Veldig enig	2	20 %

Eg syns datasystem for tilstandskontroll er for tungvinte og vil derfor ikkje bruka dei [I kva grad er du enig i påstandane under]



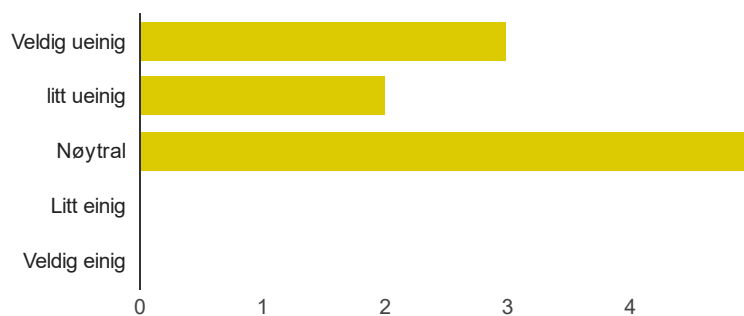
Veldig ueinig	2	22.2 %
litt ueinig	2	22.2 %
Nøytral	3	33.3 %
Litt enig	1	11.1 %
Veldig enig	1	11.1 %

Dersom eg kunne registrert/ lest av tilstandsinformasjon på mobil/nettbrett ville eg brukt det [I kva grad er du enig i påstandane under]



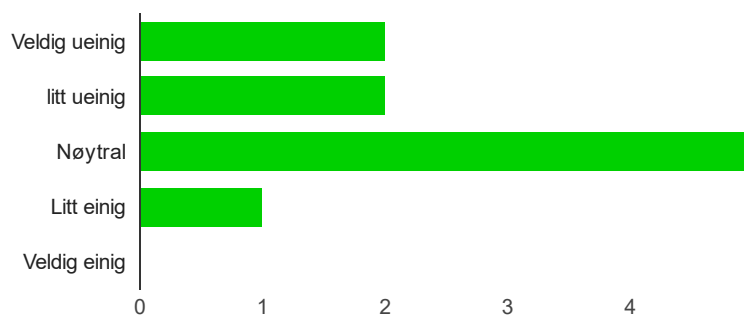
Veldig ueinig	0	0 %
litt ueinig	1	10 %
Nøytral	1	10 %
Litt enig	2	20 %
Veldig enig	6	60 %

Tilstandsbasert vedlikehold skaper ekstraarbeid for meg [I kva grad er du einig i påstandane under]



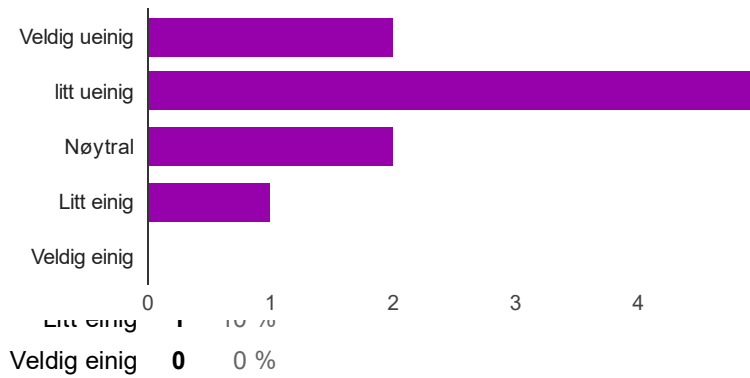
Veldig ueinig	3	30 %
litt ueinig	2	20 %
Nøytral	5	50 %
Litt einig	0	0 %
Veldig einig	0	0 %

Tilstandskontroll vil føre til nedbemanning [I kva grad er du einig i påstandane under]

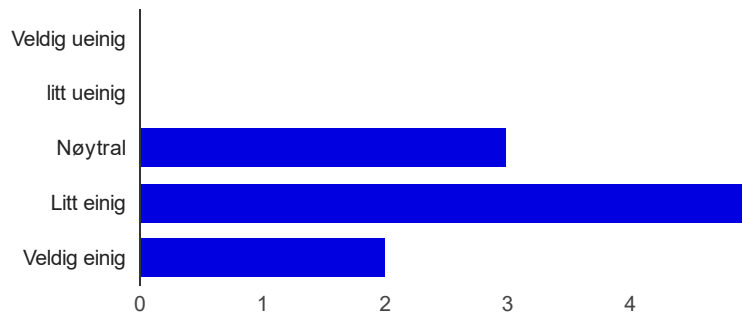


Veldig ueinig	2	20 %
litt ueinig	2	20 %
Nøytral	5	50 %
Litt einig	1	10 %
Veldig einig	0	0 %

Lyse treng ikkje meir tilstandskontroll [I kva grad er du einig i påstandane under]

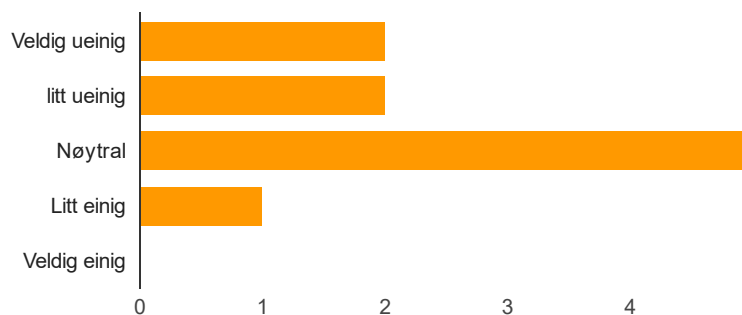


Det vil koma meir tilstandskontroll i industrien framover [I kva grad er du enig i påstandane under]



Veldig ueinig	0	0 %
litt ueinig	0	0 %
Nøytral	3	30 %
Litt enig	5	50 %
Veldig enig	2	20 %

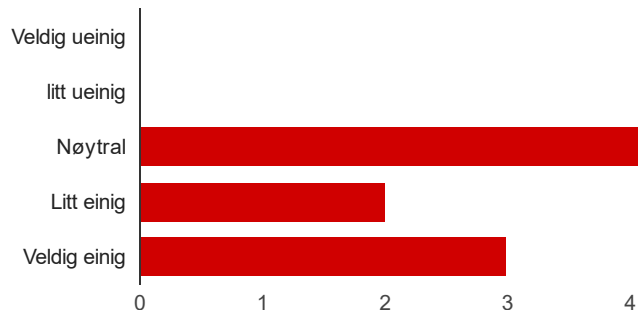
Teknologien er ikkje klar enda [I kva grad er du enig i påstandane under]



Veldig ueinig	2	20 %
litt ueinig	2	20 %
Nøytral	5	50 %

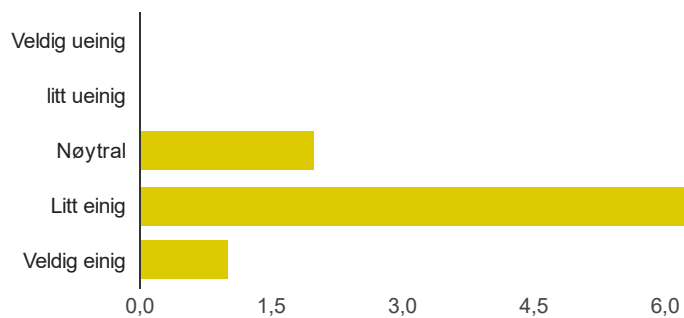
Litt einig **1** 10 %
Veldig einig **0** 0 %

Datasystema er for tungvinte [I kva grad er du einig i påstandane under]



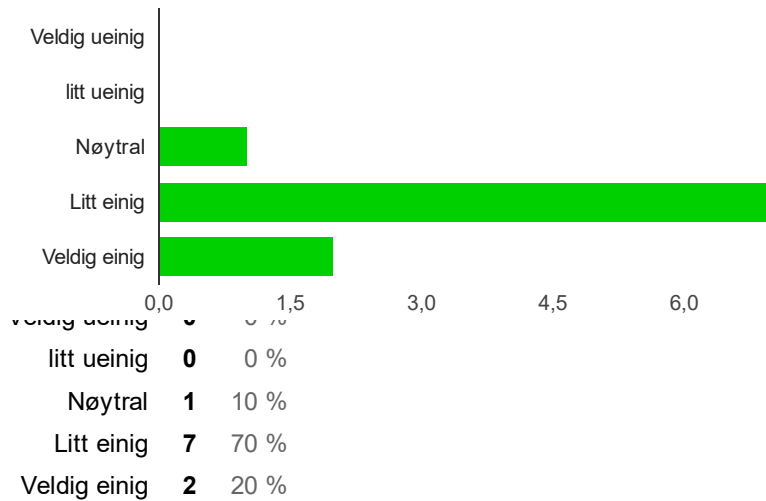
Veldig ueinig **0** 0 %
litt ueinig **0** 0 %
Nøytral **5** 50 %
Litt einig **2** 20 %
Veldig einig **3** 30 %

Smart-teknologi vil føra til sensorer på alle komponenter i framtida [I kva grad er du einig i påstandane under]

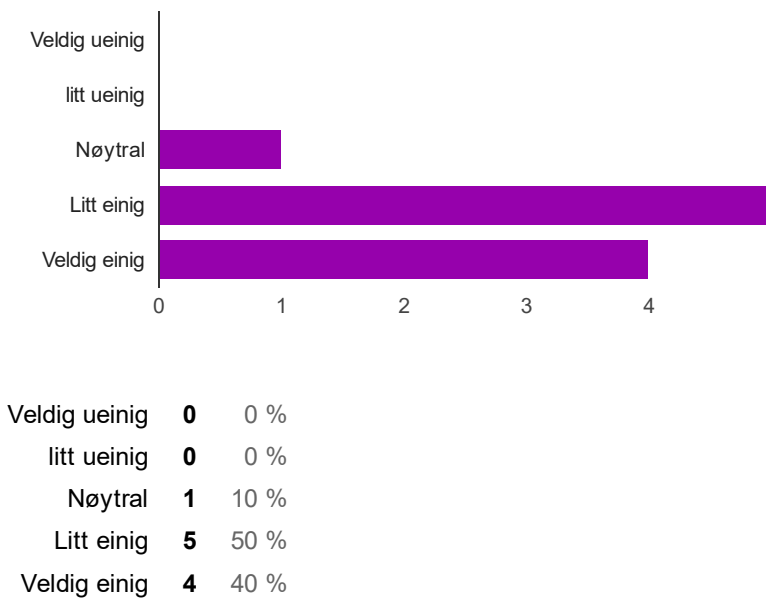


Veldig ueinig **0** 0 %
litt ueinig **0** 0 %
Nøytral **2** 20 %
Litt einig **7** 70 %
Veldig einig **1** 10 %

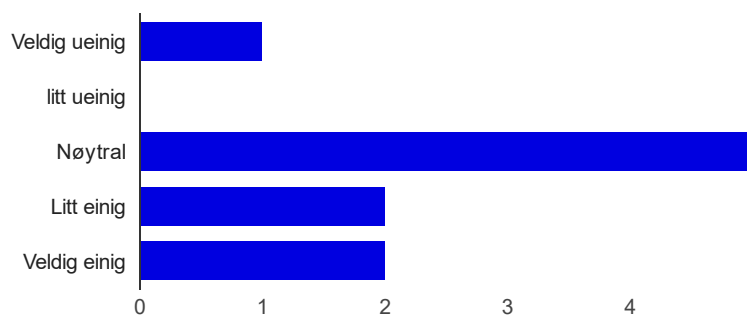
Lyse kan spare mykje ved å hindre havari og tilpasse vedlikehaldet til tilstanden til kraftverka [I kva grad er du einig i påstandane under]



Tilstandsinformasjon vil gjera planlegging av vedlikehald og produksjon lettare [I kva grad er du enig i påstandane under]



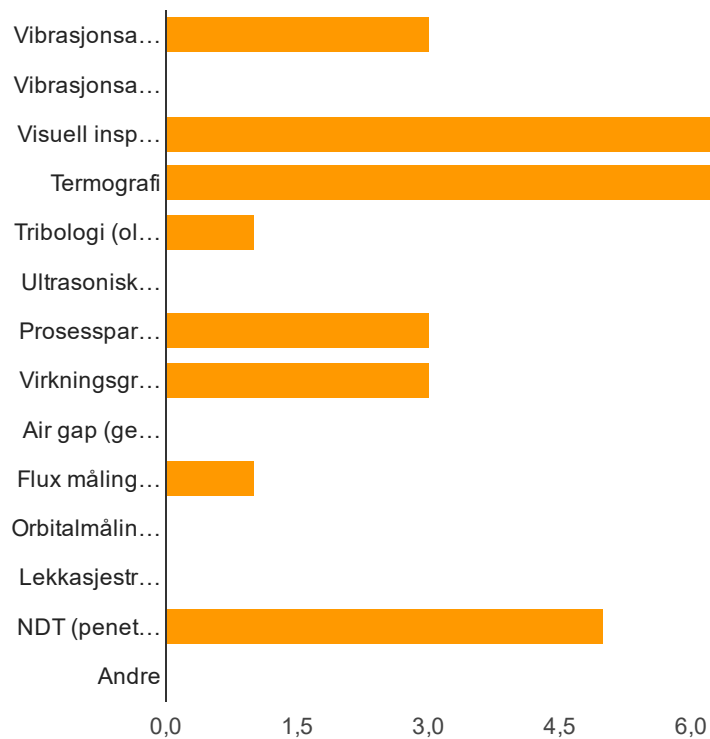
Om 10 år vert me varsla av ei datamaskin når ei maskin treng tilsyn [I kva grad er du enig i påstandane under]



Veldig ueinig	1	10 %
litt ueinig	0	0 %
Nøytral	5	50 %
Litt enig	2	20 %
Veldig enig	2	20 %

Del 2 av 4

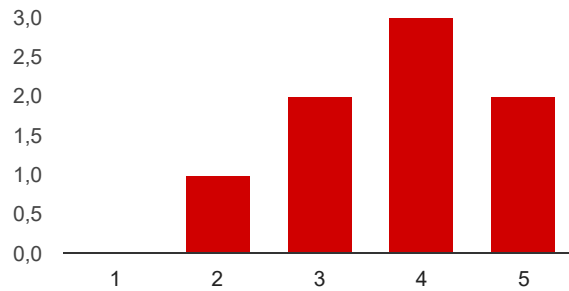
Dersom du har erfaring med tilstandsmålinger, kva type?



Vibrasjonsanalyse utan FFT (frekvensspekter)	3	33.3 %
Vibrasjonsanalyse med FFT (frekvensspekter)	0	0 %
Visuell inspeksjon	7	77.8 %
Termografi	7	77.8 %
Tribologi (oljeanalyser)	1	11.1 %
Ultrasonisk måling (høgfrekvent akustisk måling)	0	0 %
Prosessparameter (f.eks. temperatur, trykk, straum, turtall etc.)	3	33.3 %
Virkningsgradsmåling	3	33.3 %
Air gap (generator)	0	0 %
Flux måling (generator)	1	11.1 %

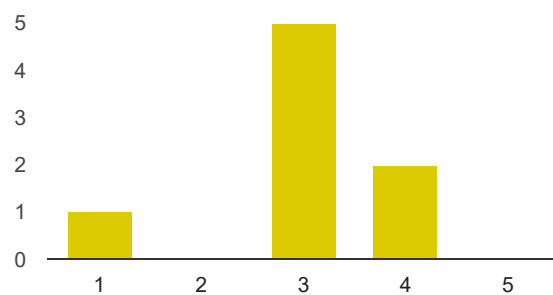
Orbitalmåling (akslingplassering og bevegelse)	0	0 %
Lekkasjestrøm	0	0 %
NDT (penetranttesting, eddy current, magnetpulvertesting, røntgen etc.)	5	55.6 %
Andre	0	0 %

Dersom du har erfaring med tilstandsmålinger, i kor stor grad gav dette meirverdi for deg i ditt arbeid?



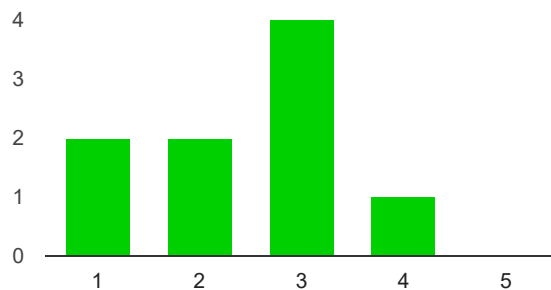
Ingen ekstra verdi:	1	0	0 %
	2	1	12.5 %
	3	2	25 %
	4	3	37.5 %
Stor verdi:	5	2	25 %

Dersom du har brukt nokre av metodane over, kor flink er Lyse til å systematisere og utnytte data frå målingane?



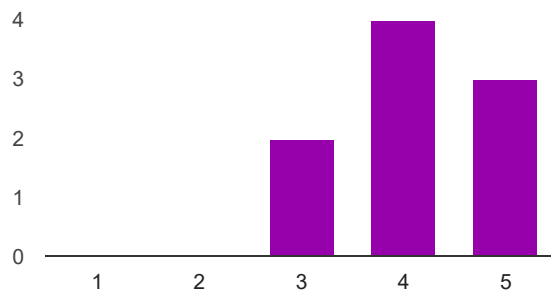
Veldig dårleg:	1	1	12.5 %
	2	0	0 %
	3	5	62.5 %
	4	2	25 %
Veldig god:	5	0	0 %

Kva grad av kunnskap har du om tilstandsbasert vedlikehald og metodane tilknytt eit slikt system?



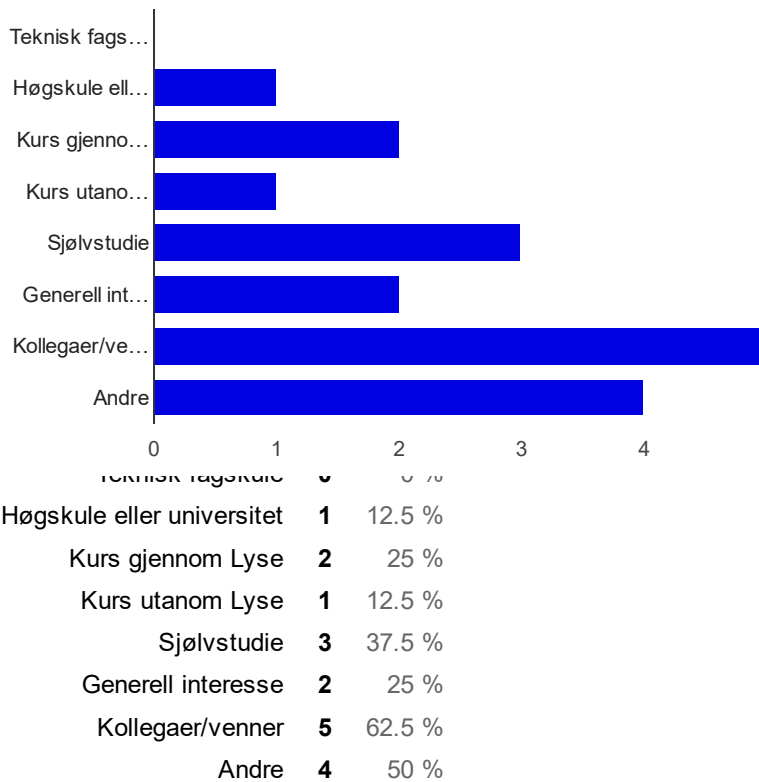
Veldig lite kunnskap: 1	2	22.2 %
2	2	22.2 %
3	4	44.4 %
4	1	11.1 %
Mykje kunnskap: 5	0	0 %

Sjå i dette spørsmålet bort frå kostnader og tenk på tilstandskontroll som eit verkøy i din kvardag. Dersom du fekk velga, ville du brukt meir eller mindre tilstandsmålingar?



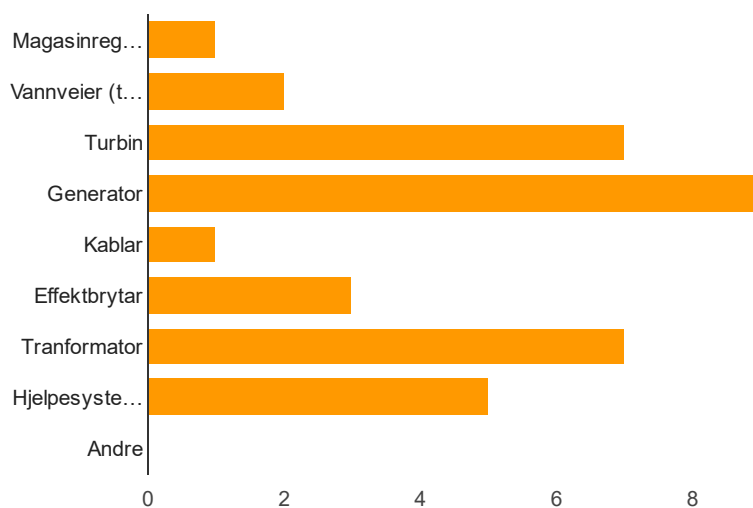
Mindre: 1	0	0 %
2	0	0 %
3	2	22.2 %
4	4	44.4 %
Meir: 5	3	33.3 %

Det du har av kjennskap til systemer og målingar tilknytt tilstandsbasert vedlikehald, kor har du tileigna deg den?



Del 3 av 4

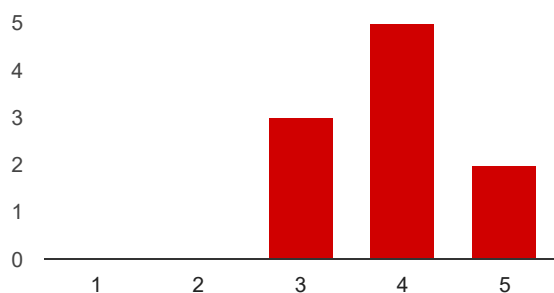
Basert på din erfaring i Lyse, kva del av kraftverka trur du vil ha størst nytte av tilstandsovervåking?



Magasinreguleringssystem (lucker og ventilar) **1** 10 %
 Vannveier (tunnellar, rør og ventilar) **2** 20 %

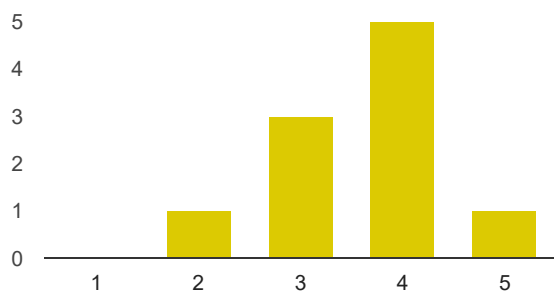
Turbin	7	70 %
Generator	9	90 %
Kablar	1	10 %
Effektbrytar	3	30 %
Tranformator	7	70 %
Hjelpesystem (hydraulikk, smøring, kjøling etc.)	5	50 %
Andre	0	0 %

Dersom Lyse skulle innført tilstandsbasert vedlikehold på nødvendige maskiner, i kva grad trur du det er behov for kompetanseheving?



Veldig lite behov: 1	0	0 %
2	0	0 %
3	3	30 %
4	5	50 %
Veldig stort behov: 5	2	20 %

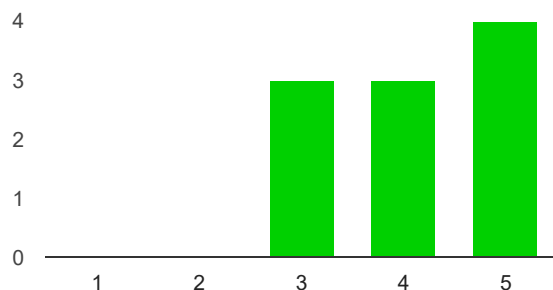
I kor stor grad trur du på nytteverdi av tilstandsbasert vedlikehold med dagens teknologi?



Veldig liten: 1	0	0 %
2	1	10 %
3	3	30 %

4 **5** 50 %
Veldig stor: 5 **1** 10 %

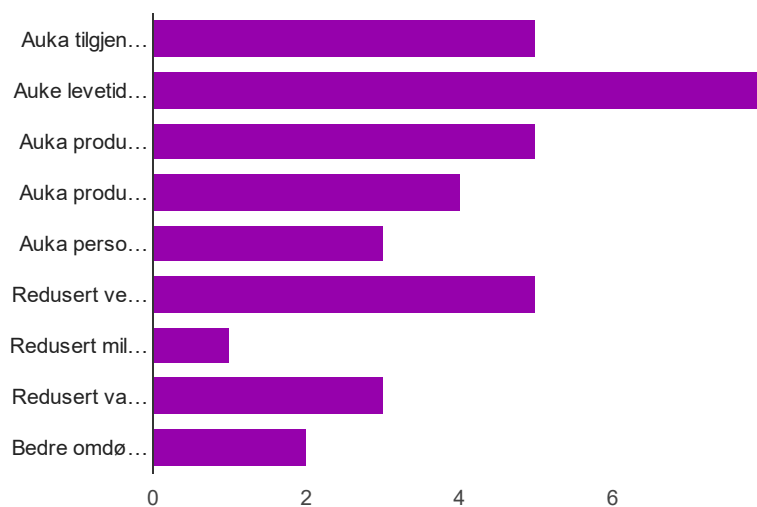
I kor stor grad trur du på nytteverdi av tilstandsbasert vedlikehald om 5 år?



Veldig liten: 1 **0** 0 %
2 **0** 0 %
3 **3** 30 %
4 **3** 30 %
Veldig stor: 5 **4** 40 %

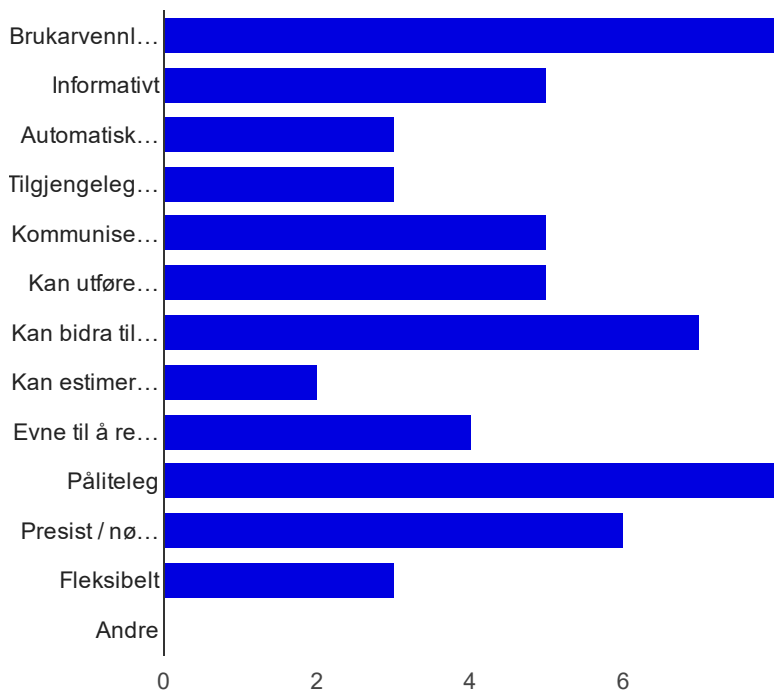
Del 4 av 4

IEEE sin "Guide for Applications of plant Monitoring for Hydroelectric Facilities" lister opp potensielle nytteverdiar ved tilstandskontroll. Kva trur du er viktigast for Lyse Produksjon?



Auka tilgjengelighet	5	50 %
Auke levetidsutnytting	8	80 %
Auka produksjonseffektivitet	5	50 %
Auka produksjonskapasitet	4	40 %
Auka personsikkerhet	3	30 %
Redusert vedlikehald	5	50 %
Redusert miljøbelastning	1	10 %
Redusert vanntap	3	30 %
Bedre omdømme	2	20 %

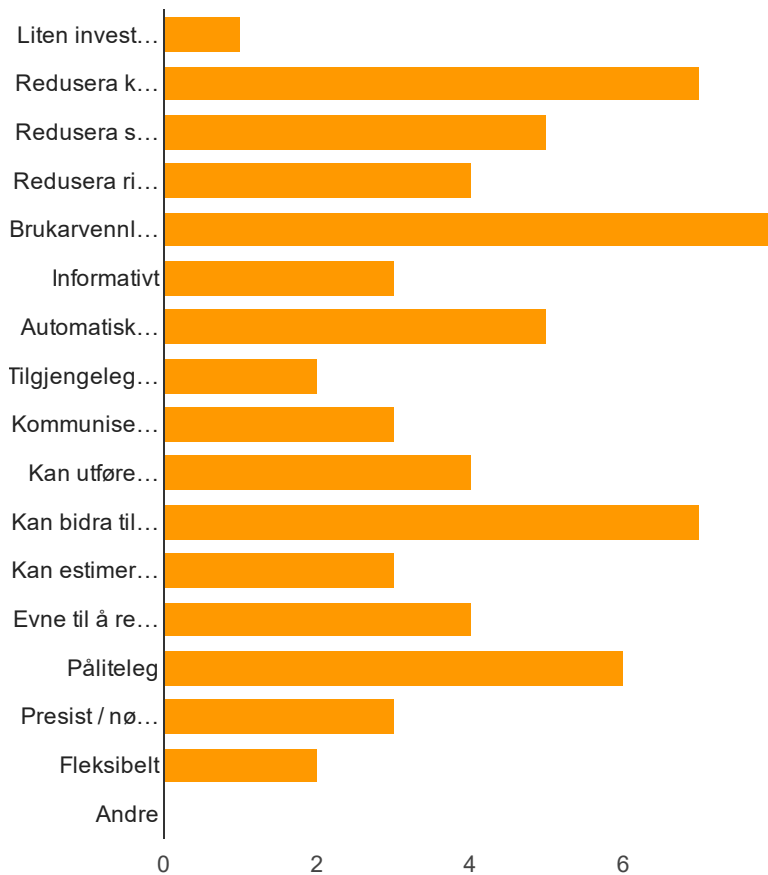
Kva faktorer er avgjerande for at du skal vera interessert i å bruke eit system for tilstandsbasert vedlikehald i ditt arbeid?



Brukarvennleg	8	80 %
Informativt	5	50 %
Automatisk måling og analyser i datasystemet	3	30 %
Tilgjengeleg overalt (f.eks. ute i feltet på mobil og nettbrett)	3	30 %
Kommuniserer med Lyse sine andre IKT systemer (f.eks. SAP)	5	50 %
Kan utføre analyser	5	50 %
Kan bidra til feilsøking	7	70 %
Kan estimere levetid (degradering)	2	20 %
Evne til å registrera manuelle verdier frå avlesingar og visuell kontroll	4	40 %
Påliteleg	8	80 %
Presist / nøyaktig	6	60 %

Fleksibelt **3** 30 %
 Andre **0** 0 %

Kva faktorer er avgjerande for at Lyse Produksjon skal vera interessert i å bruke eit system for tilstandsbasert vedlikehald?



Liten investering	1	10 %
Redusera kostnadar	7	70 %
Redusera skrutid	5	50 %
Redusera risiko	4	40 %
Brukarvennleg	8	80 %
Informativt	3	30 %
Automatisk måling og analyser i datasystemet	5	50 %
Tilgjengeleg overalt (f.eks. ute i feltet på mobil og nettbrett)	2	20 %
Kommuniserer med Lyse sine andre IKT systemer (f.eks. SAP)	3	30 %
Kan utføre analyser	4	40 %
Kan bidra til feilsøking	7	70 %
Kan estimere levetid (degradering)	3	30 %

Evne til å registrera manuelle verdier frå avlesingar og visuell kontroll	4	40 %
Påliteleg	6	60 %
Presist / nøyaktig	3	30 %
Fleksibelt	2	20 %
Andre	0	0 %

Er det noko anna du vil leggje til?

Antall svar per dag

