

Spørreundersøkelse - Sikkerhet turbiner

Sammendragsrapport

Per Egil Skåre og Hermod Brekke

August 2000

**SINTEF Energy Research**

Address: N-7465 Trondheim,
NORWAY
Reception: Sem Sælands vei 11
Telephone: +47 73 59 72 00
Telefax: +47 73 59 72 50

<http://www.energy.sintef.no>

Enterprise No.:
NO 939 350 675 MVA

TEKNISK RAPPORT

SAK/OPPGAVE (tittel)

Spørreundersøkelse - Sikkerhet turbiner

SAKSBEARBEIDER(E)

Per Egil Skåre og Hermod Brekke

OPPDRAGSGIVER(E)

Energiforsyningens fellesorganisasjon

TR NR.	DATO	OPPDRAGSGIVER(E)S REF.	PROSJEKTNR.
TR A5270	2000-08-28	Bjørn Undrum, Statkraft Engineering	11X175
ELEKTRONISK ARKIVKODE		PROSJEKTANSVARLIG (NAVN, SIGN.)	GRADERING
000828pesk133521		Per Egil Skåre	Åpen
ISBN NR.	RAPPORTTYPE	FORSKNINGSSJEF (NAVN, SIGN.)	OPPLAG SIDER
8259418924	Teknisk rapport	Nils Flatabø	12
AVDELING	BESØKSADRESSE	LOKAL TELEFAKS	
Kraftproduksjon og marked	Sem Sælands vei 11	73 59 72 50	

RESULTAT (sammendrag)

Rapporten omhandler statistikk om eksisterende kontrollrutiner og antall start/stopp for et relativt stort antall norske kraftstasjoner med Francis og Pelton aggregat. Statistikken er basert på svarene fra en spørreundersøkelse som ble sendt til norske kraftselskap våren 2000. Kraftstasjonene er valgt med en spredning i størrelse (i MW) og alder for å få et representativt utvalg.

Totalt inngår 79 aggregat i statistikken. Flesteparten av aggregatene er bygget i tidsrommet 1950 til 90, noe som reflekterer den store utbyggingsaktiviteten i disse tiårene. Prosentvis fordeling av type aggregat i statistikken er 68% Francis, 3% reversible Francis pumpeturbiner og 29% Pelton. Kaplan turbiner er ikke med i denne rapporten.

Undersøkelsen viser at kontrollrutinene varierer fra kraftstasjon til kraftstasjon. Selv innen samme kraftselskap er det store forskjeller. Metodene som brukes for sprekkekontroll i de trykkpåkjente delene er oftest en visuell sjekk. For Francis blir 33% av aggregatene sprekkekontrollert også med andre metoder slik som Penetrant, Magnaflux, Virvelstrøm og Ultralyd oftest sammen med visuell sjekk. For Pelton er det under 10% av aggregatene som blir kontrollert med mer avanserte metoder, og da i hovedsak Magnaflux.

STIKKORD

EGENVALGTE	Trykkpåkjente deler	Francis og Pelton
	Kontrollrutiner	Start/stopp kjøring

INNHOLDSFORTEGNELSE

	Side
1	INNLEDNING..... 3
2	BAKGRUNN 3
3	SPØRREUNDERSØKELSE 4
4	STATUS PÅ NORSKE KRAFTSTASJONER 5
4.1	Kraftstasjoner 5
4.2	Revisjoner 6
4.2.1	Fjerning av forspenning på lokk 7
4.3	Start/stopp kjøring..... 8
4.4	Vedlikeholdsrutiner - trykkpåkjente deler 8
4.5	Sprekkkontroll - trykkpåkjente deler 9
5	SPREKKFUNN 10
	Spørreskjema..... 11

1 INNLEDNING

Denne rapporten viser resultatet av et delprosjekt under Enfo prosjektet "Sikkerhet turbiner" (P3.03) utført i år 2000. Delprosjektet omhandler en undersøkelse omkring dagens kontroll- og vedlikeholdsrutiner, start/stopp kjøring osv. ved norske kraftverk. Undersøkelsen tar for seg kraftverk med Pelton og Francis¹ aggregater. Navn på kraftstasjoner og eiere er ikke med i presentasjonen da hovedhensikten med undersøkelsen var å få en status på rutiner ved ulike verk.

Prosjektet Sikkerhet turbiner (P3.03) er en videreføring av et prosjekt som er blitt utført i regi av Enfo i 1998-99 der fokus har vært på roterende deler, dvs. løpehjul. Metodikk og NDT-metoder for inspeksjon av løpehjul blitt beskrevet. Det er satt opp akseptgrenser for feilstørrelser i de ulike områdene i løpehjulene, basert på spenningsbetraktninger og bruddmekanisk teori. Prosjektet har tatt for seg Pelton, Francis og Kaplan løpehjul. Det er utarbeidet praktiske brukerveiledninger for feilsøking i form av manualer/håndbøker som er å få kjøpt hos Enfo.

De trykkpåkjente stasjonære delene i turbinen var ikke omfattet av det opprinnelige prosjektet, men er tatt opp i år 2000 og 2001 som en fortsettelse av prosjektet. Sammenligner en konsekvensen for et brudd i trykkpåkjente stasjonære deler med brudd i løpehjul er forskjellen enorm. Nye kjørerutiner med flere start/stopp sykler øker også faren for farlig sprekkvekst som starter i material/sveisefeil i de trykkpåkjente stasjonære delene. Sprekkveksten kan føre til feil av kritisk størrelse som gir ustabilt (eksplosivt) brudd om den ikke blir oppdaget og reparert før den har vokst til kritisk størrelse.

2 BAKGRUNN

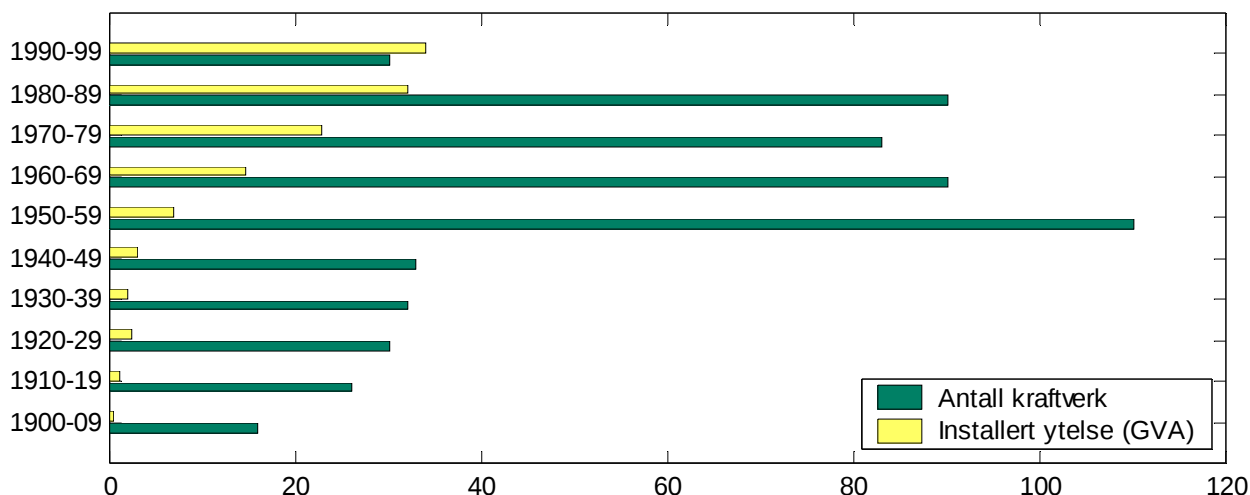
Ser en på design og materialvalg for eksempel på spiraltromme i en høytrykks Francisturbin er vekten redusert med en faktor på 3 fra 1955 til 1980. De økte spenningene fører til at opprinnelig små materialfeil i de nyere turbinene vokser raskere ved start/stopp kjøring enn de eldre typene. På de eldre trommene med moderat spenningsnivå vil en kritisk feilstørrelse bli så stor at sprekken går igjennom platen slik at lekkasje oppstår før ustabilt brudd oppstår. "Lekkasje før brudd" kriteriet er da oppfylt, dvs. at en sprekk kan finnes ved hjelp av lekkasje før et ustabilt brudd oppsto. Dette vil ikke alltid være tilfelle for nyere type spiraltrommer og gjelder ikke for sprekker i stag i spiraltrommer. Materialfeil som ligger på grensen til ustabilt brudd er oppdaget flere steder rundt omkring i verden for turbiner og rørledninger. I Norge er rørbruddet utenfor Maudal et kjent katastrofalt brudd som heldigvis skjedde utenfor kraftstasjonen. Bruddet skjedde i forbindelse med en hurtig lukking av turbinpådraget.

Viktigheten med å kontrollere de stasjonære delene i kraftverket vil øke i fremtiden ved endrede kjørerutiner. En antar at behovet for effektvariasjoner i kortere perioder og dermed antall start/stopp vil øke pga. toppkraft produksjon. Kriterier for design mht. driftstilstand for maskinen har hittil i Norge vært basert på 50000 start/stopp før ustabilt brudd oppstår. Dette oppfylles om den maksimale spenningen ikke overstiger ca. 200 MPa. Det kan imidlertid forekomme turbiner med lokale spenningsspisser som ikke oppfyller dette kriteriet.

Fordelingen av antall kraftverk igangsatt i perioden 1900 til 2000 er vist Figur 2.1. Som vi ser ble de fleste aggregatene installert i perioden 1960 til 1990. De fleste utbyggingene med store installasjoner forgikk i perioden 1970 til 1985. De siste store utbyggingene var Svartisen og Meråker som ble ferdige i første halvdel av 1990 årene.

¹ Inkluderer både turbiner og reversible pumpeturbiner

I Norge i dag er det ca. 560 kraftverk, fordelt på ca. 200 kraftselskaper. Installasjonene varierer fra noen hundre kilovatt til 1260 MW. Den totale effekt som er installert i Norge var i 1996 ca. 27500 MW (NVE rapport, desember 95).



Figur 2.1 Aldersfordeling i norske kraftverk²

3 SPØRREUNDERSØKELSE

For å få en status over driftsforhold mhp. start/stopp kjøring og rutiner for inspeksjon, vedlikehold osv. på trykkpåkjente deler ble det sendt ut et spørreskjema til fleste større norske kraftprodusenter. Spørreskjemaet er vedlagt til slutt i denne rapporten. Spørsmålene var delt opp i følgende hovedemner:

- Type og leverandør
- Fallhøyde og ytelse
- Leveringsår og evt. revisjonsår
- Antall start/stopp
- Vedlikehold og intervall mellom vedlikehold
- Inspeksjonsrutiner, inkl. intervall, metode og utførende av kontrollen
- Registrerte sprekker

I tillegg til svar på spørsmålene ba vi også om å få sammenstillingstegninger og snittegninger av de trykkpåkjente delene. Dette vil bli brukt videre i prosjektet for å få et bilde av utviklingen av design av de trykkpåkjente delene og dimensjoner. Dette vil også hjelpe oss med å beskrive hvor de kritiske stedene som må kontrolleres finnes i de forskjellige typer av turbiner.

Totalt ble det sendt ut forespørsel på ca. 100 aggregat tilhørende 20 forskjellige kraftselskap. Totalt kom de inn opplysninger fra omtrent 75% av aggregatene. Resultatene er anonymisert slik at ikke opplysningene skal kunne kobles til spesifikke aggregat og kraftprodusenter. Resultatene er i hovedsak gitt som prosent av antall besvarte aggregat. I tillegg er opplysningene koblet

² Opplysningene er hentet fra Enfo-konferansen 1999, Terje Ellefsrød, Norconsult
 11X175 TR A5270

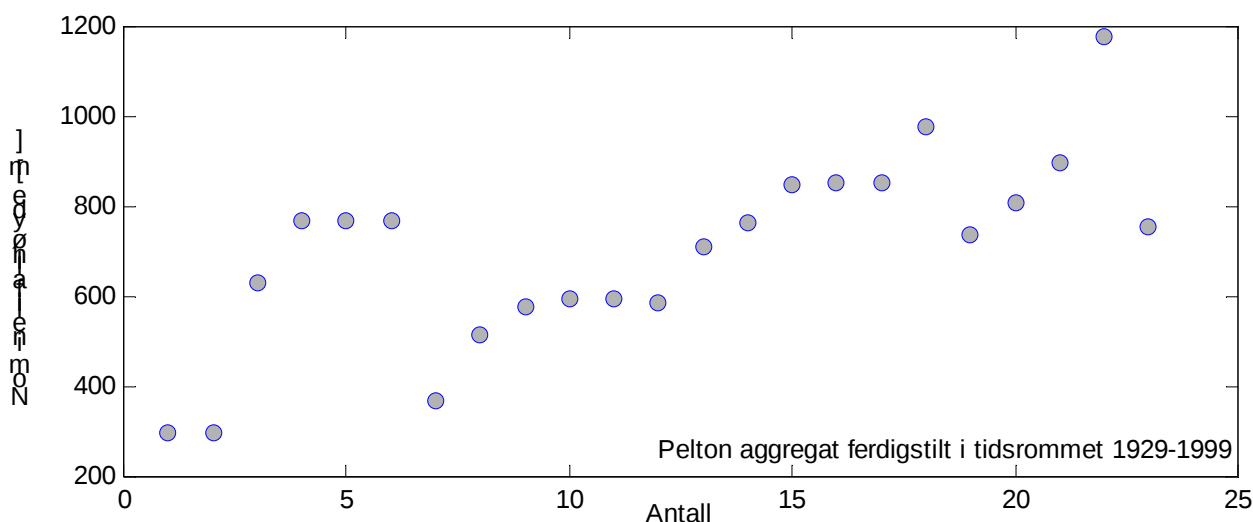
spesifikt til om det er Pelton eller Francis aggregat dersom de ble funnet store forskjeller mellom de to aggregattypene.

4 STATUS PÅ NORSKE KRAFTSTASJONER

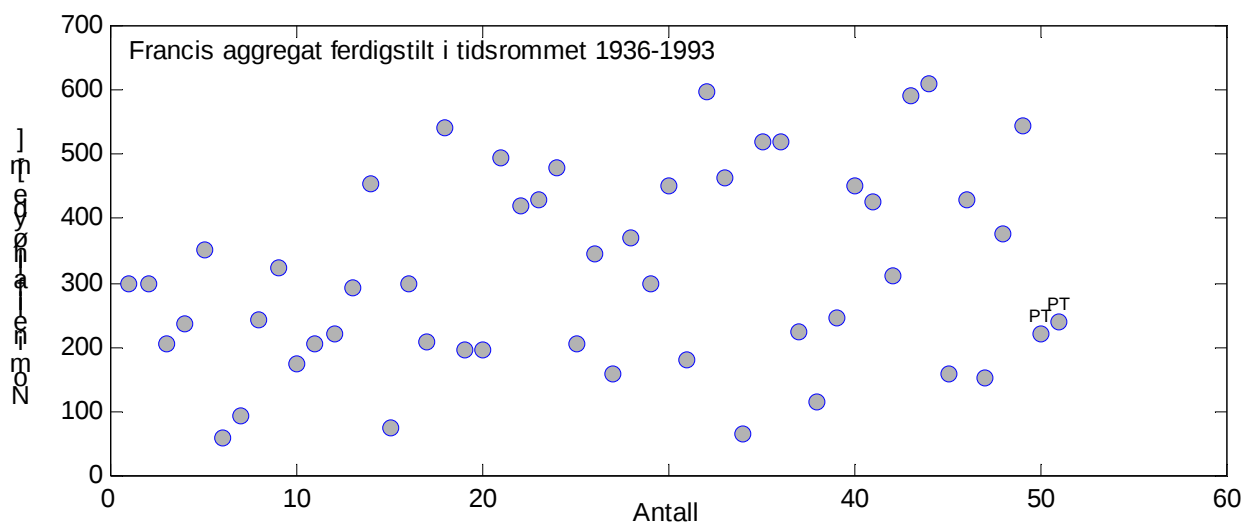
I dette kapittelet er resultatet fra undersøkelsen vist grafisk med kommentarer til de ulike delspørsmålene.

4.1 Kraftstasjoner

Informasjon ble hentet inn fra 79 antall aggregat fordelt på 68% Francis, 3% reversible Pumpeturbiner, 29% Pelton og 0% Kaplan. Fordelingen av nominell fallhøyde for Pelton og Francis aggregatene er vist i hhv. i Figur 4.1 og Figur 4.2. Øker vi nominell fallhøyde med 10-20% avhengig av trykkstigning ved avslag under høyeste statiske trykk får vi antatt maksimalt trykk som er brukt som konstruksjonstrykk for de trykkpåsatte delene.



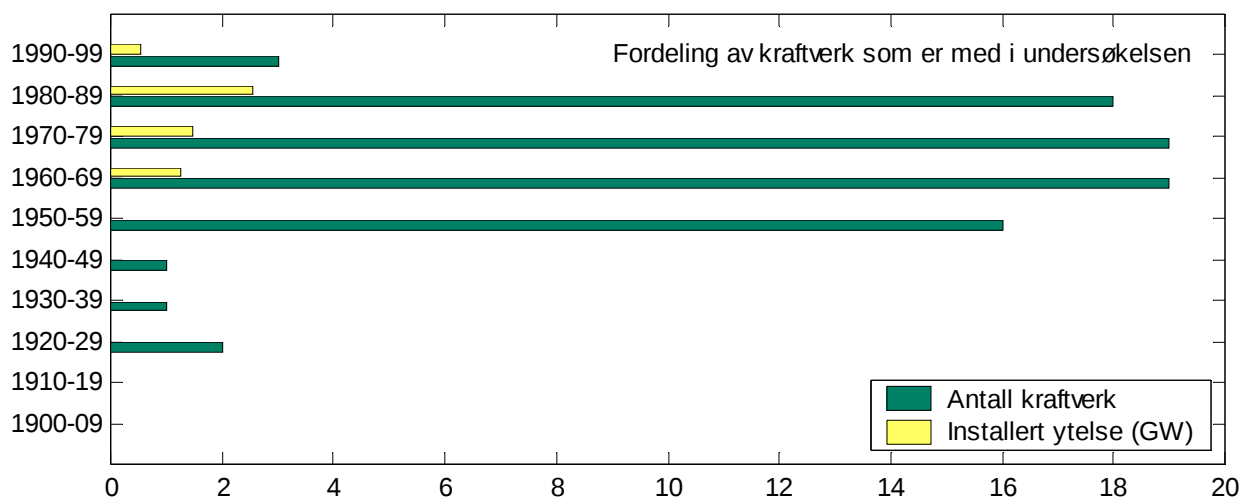
Figur 4.1 Fordeling av nominell fallhøyde for de undersøkte Pelton anleggene



Figur 4.2 Fordeling av nominell fallhøyde for Francis anlegg³ i Norge

³ Forkortelsene PT står for reversibel Pumpeturbin. De som er uten merke er Francis turbiner.
11X175 TR A5270

Leveringstid for de undersøkte aggregatene var fra 1929 og helt frem til 1999. Figur 4.3 viser en oversikt over leveringstidsrom (10 års periode) sammen med summert ytelse (i GW) for de undersøkte aggregatene. Majoriteten er fra 1950 til 1990. Det er også i denne perioden de store endringer skjedde med hensyn på design av de trykkpåkjente delene.

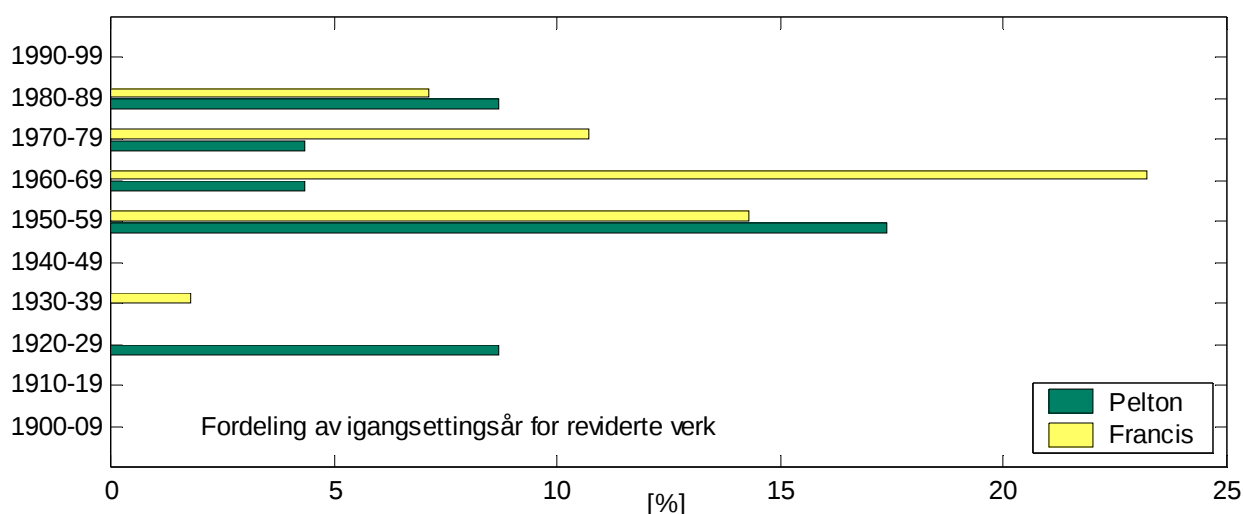


Figur 4.3 Leveringstid for undersøkte aggregat

Hele 77% av de undersøkte aggregatene var produsert av Kværner⁴, nå GE Hydro. Sulzer stor for 10%, mens resten var produsert av Neyrpick, Charmilles, Voith og Bell.

4.2 Revisjoner

Omtrent halvparten av de undersøkte kraftverkene har vært revidert i perioden fra de var satt i drift og frem til i dag. Revisjonene inkluderte alt fra løpehjulsrevisjoner, revisjon av ledeskovler, lokk og labyrintringer for Francis. For Pelton er utskifting av nåleventiler og sliping av løpehjul det vanligste.



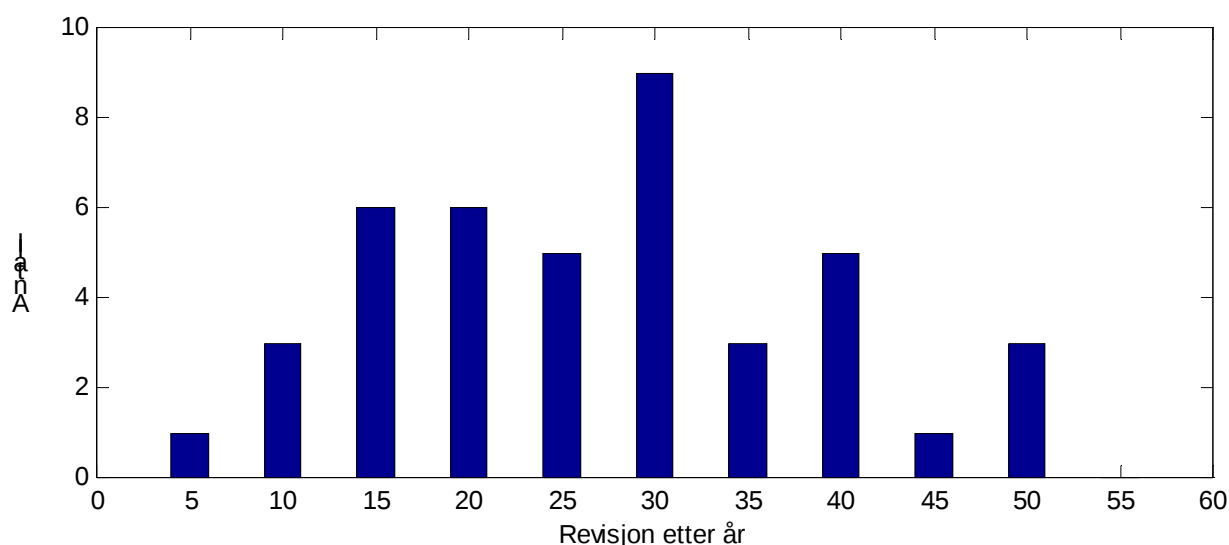
Figur 4.4 Oversikt over reviderte Pelton og Francis anlegg

⁴ Inkluderer også NOHAB og KMW produserte maskiner.

Vedlikehold som maling og sandblåsing av trykkpåsatte deler er ikke inkludert under revisjoner, men under vedlikehold.

Totalt har 47% av Pelton aggregatene og 57% av Francis anleggene blitt revidert. For de undersøkte Pelton og Francis aggregatene er fordelingen vist i Figur 4.4. Som vi ser så er flest Francis aggregat som er laget på 60-tallet revidert, mens det for Pelton er hovedvekten av revisjonene utført på maskiner fra 50-tallet

Ser en på tiden fra igangsettelsen til revisjon for alle de reviderte aggregatene så er fordelingen som vist i Figur 4.5. Selv om de fleste revisjonene er utført etter omtrent 30 år, så er det ikke noen klare revisjonsintervaller som fremkommer av undersøkelsen. Dette kan komme av at turbiner som har rent driftsvann slites langsomt, mens turbiner som har vann med høyt sandinnhold slites hurtig. Det er ikke prøvd å finne noen korrelasjoner mellom vannets sandinnhold og revisjonsintervall. Erosjon på grunn av kavitasjon forekommer sjelden i Norge.



Figur 4.5 Tid fra igangsettelse til revisjon

4.2.1 Fjerning av forspenning på lokk

På norskproduserte høytrykks Francis turbiner ble det ofte brukt radiell forspenning mellom lokk og staging. Hensikten med forspenningen var å redusere vinkelvridningen av lokkene ved trykksettingen slik at spalten mellom ledeskovlene og lokkene ble redusert. Dermed fikk en redusert de hydrauliske lekkasjetapene en fikk på grunn av klaringer mellom ledeskovler og lokk. Ved senere revisjoner har forspenningen blitt fjernet ved en del av aggregatene. De økte klaringene mellom ledeskovlene og lokk har ofte blitt kompensert med å bruke endetetninger på ledeskovlene. Imidlertid vil fjerning av forspenningen øke spenningene i avløpsspissene på stagen, noe som kan utgjøre en øket risiko for sprekkvekst og redusere sikkerheten. Hovedregelen er:

Ved revisjoner der forspenningen blir fjernet må dette kun gjøres i samarbeide med leverandør av turbinen. En spenningsberegning bør gjennomføres for å finne de økte maksimalspenningene.

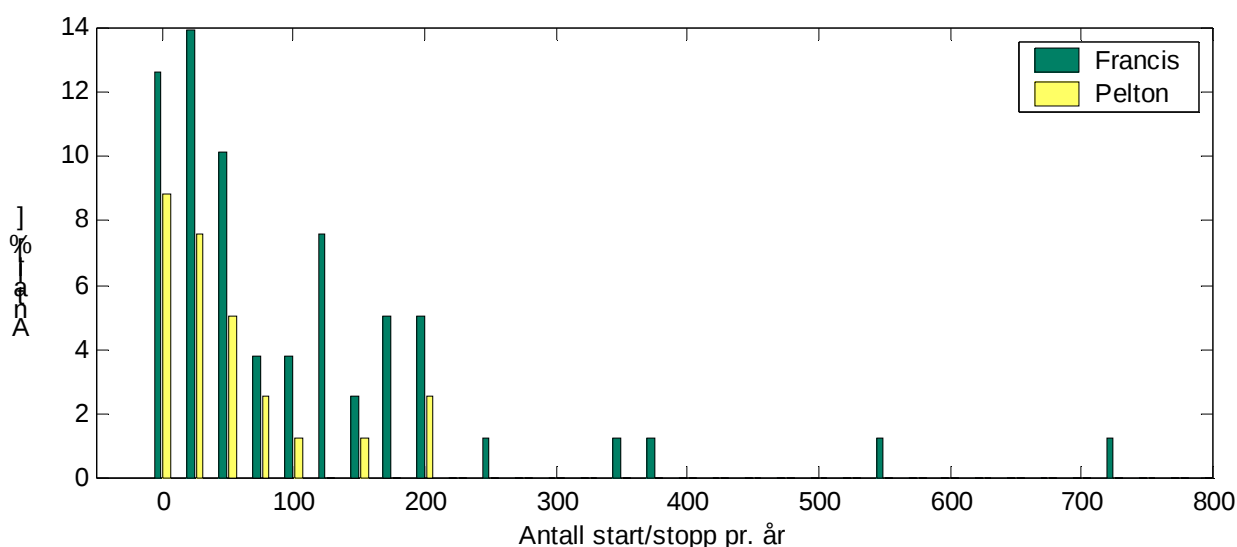
Ved 20% av Francis anleggene er lokkenes forspenningen fjernet, dvs. at

35% av alle revisjonene på Francis inkluderer fjerning av forspenningen av lokkene.

Spesielle rutiner ved kontroll av stagringer der forspenningen av lokken er fjernet vil bli beskrevet i prosjektets sluttrapport.

4.3 Start/stopp kjøring

I et mer dynamisk kraftmarked med mer effektkjøring er det antatt at antall start/stopp ved kraftverkene vil øke betraktelig. Undersøkelsen har vist at antall start/stopp har økt de siste årene, men fortsatt er det et fåtall som har flere enn 1 start/stopp pr. dag. Fordelingen over antall start/stopp i løpet av et år for de undersøkte kraftverkene er vist i Figur 4.6. Histogrammet er laget med intervaller på 25 start/stopp, dvs. at utslaget på over 12% ved 0 start/stopp betyr at antallet er mindre enn 25 start/stopp pr. år.



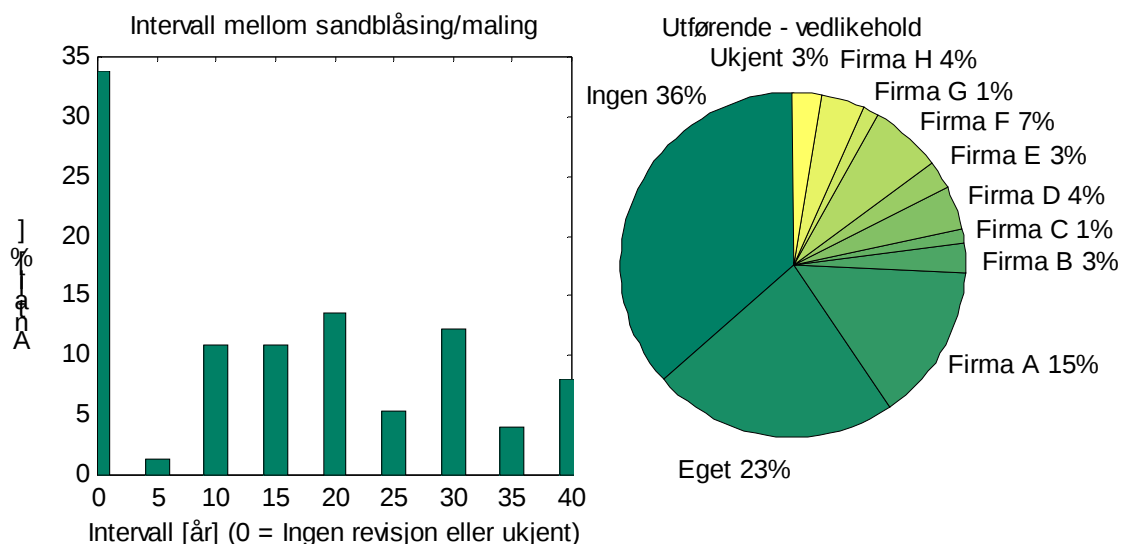
Figur 4.6 Antall start/stopp pr. år ved de undersøkte kraftverkene

4.4 Vedlikeholdsrutiner - tryktpåkjente deler

Vedlikeholdsrutiner for de tryktpåkjente delene ble undersøkt. Intervallet mellom hver gang ringledning eller spiraltromme blir sandblåst og malt varierer sterkt fra kraftstasjon til kraftstasjon. Figur 4.7 viser intervaller mellom sandblåsing/maling og utførende av vedlikeholdet for de undersøkte aggregatene. Som vi ser er nesten 35% av aggregatene ikke sandblåst/malt. Det er heller ikke noen typiske intervaller som skiller seg ut.

De tryktpåkjente delene ofte er dekket med et tykt lag med rustbeskyttende maling, er det vanskelig å oppdage begynnende sprekker ved den visuelle kontrollmetoden. Ved større sprekker vil det imidlertid ofte danne seg ruststriper, men også dette kan ofte skjules av den tykke malingen.

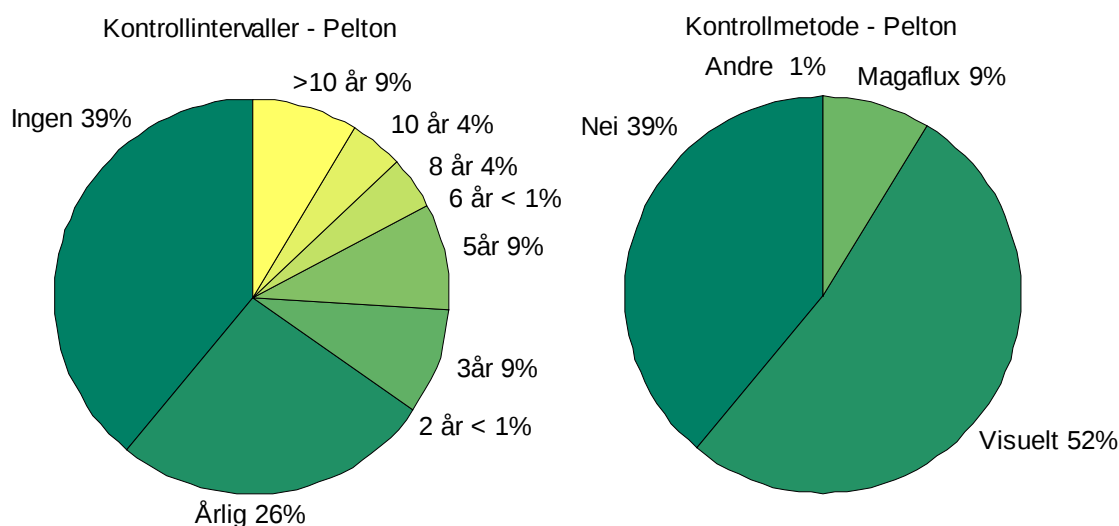
Ved revisjon blir ofte stålkonstruksjonen sandblåst, noe som gjør kontroll enklere. Imidlertid kan sandblåsing "tette igjen" sprekker slik at de ikke blir oppdaget ved visuell kontroll. Sprekker kan også bli oppdaget under selve sandblåsing, da fuktighet kan piple frem andre plasser enn feltet der en sandblåser. Dette tyder på sprekker er tilstede. God kommunikasjon mellom sandblåser og vedlikeholdsmannskapet vil være til stor hjelp for å oppdage sprekker.



Figur 4.7 Intervall mellom vedlikehold og utførende selskap

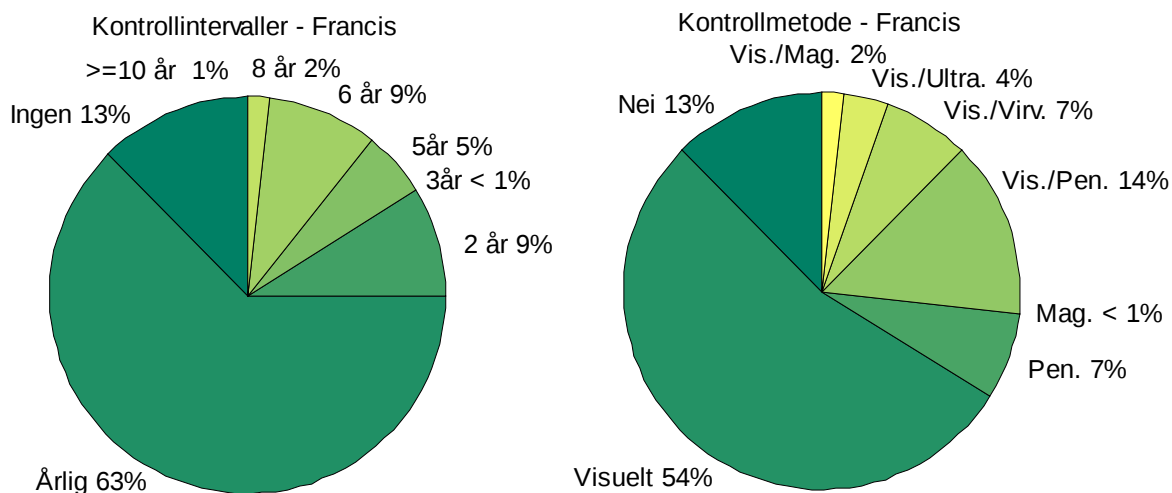
4.5 Sprekkkontroll - trykkpåkjennte deler

Undersøkelsen viste av sprekkkontrollen rundt om på kraftstasjonene varierer sterkt selv innen samme selskap. Det viste seg også å være en del forskjell mellom kontrollene på Pelton og Francis aggregatene. Hele 39% av Pelton aggregatene har aldri hatt sprekkkontroll på sine trykkpåkjennte deler, mens bare 13 % av Francis aggregatene ikke har hatt kontroll. Dette kan skyldes at tilløpsrør og ringledninger for Pelton-turbiner er trange og vanskelig tilgjengelig. Intervallene mellom hver gang de trykkpåsatte delene har vært kontrollert og fordeling av metoder er vist i Figur 4.8 og Figur 4.9, for hhv. Pelton og Francis aggregat.



Figur 4.8 Rutiner for sprekkkontroll for Pelton anlegg

Det er visuell sjekk som er den mest vanlige metoden for kontroll av trykkpåkjennte deler i et Pelton aggregat med over 50%. 9% av aggregatene blir kontrollert ved hjelp av Magnaflux.



Figur 4.9 Rutiner for sprekk kontroll⁵ for Francis anlegg

For trykkpåkjente deler i Francis aggregat så er bildet litt mer sammensatt. Også her er en visuell kontroll det mest vanlige, mens Penetrant (enten alene eller kombinert med visuell sjekk) utgjør hele 21%. Intervallene mellom sprekkkontrollen er også kortere for Francis enn Pelton aggregat, med 1 års intervaller som det mest vanlige (63%).

5 SPREKKFUNN

Det er svært få sprekkfunn som er gjort på trykkpåkjente turbindeler i motsetning til sprekkfunn på roterende deler der sprekkfunn er mer vanlig. Dette skyldes en nøyere kontroll og at antall spenningssyklus er mye større for roterende deler. Antall aggregat som har rapportert sprekkfunn er under 9%. Noen av sprekkfunnene er støpesprekker mens andre sprekker er lokalisert i områder med lave spenninger. De fleste sprekkene er rapportert i hulkile ved stag. Nærmere vurdering av aksepterte sprekkstørrelser i ulike områder av de trykkpåkjente delene vil bli diskutert i sluttrapporten i prosjektet "Sikkerhet turbiner".

⁵ Forkortelser: Pen.: Penetrant, Mag.: Magnaflux, Virv.: Virvelstrøm og Ultra.: Ultralyd
 11X175 TR A5270

* Inkluderer NOHAB og KMW. (Kværner er nå oppkjøpt av GE Hydro)