

## Identifisering av sprekker i Francis turbiner

FORFATTER	Ole Gunnar Dahlhaug / Gine Kirkebøen Støren
PROSJEKT I HYDROCEN	WP 2, 5.2.8
DATO	20.01.2021

### Mål

Undersøke hvordan typiske feilmekanismer kan identifiseres med tilgjengelige målinger på Francis løpehjulet på Vannkraftlaboratoriet.

### Bakgrunn

De fleste store vannkraftverk ble bygget i perioden 1950 til 1990 og turbinene begynner i dag å vise trettthets symptomer blant annet gjennom sprekkdannelser i løpehjul. Turbinene har i tillegg blitt operert mer fleksibelt i senere tid og større variasjoner er ventet i fremtiden. Denne fleksible operasjonen av turbinene byr på driftstekniske problemer og høyere risiko for skader og havari. Dagens rutiner for å avdekke skader er gjennom visuelle inspeksjoner under stopp av aggregatet og ved å gjennomføre NDT-prøver på spesielle deler av løpehjulet. Det benyttes ingen måleteknikk for å identifisere dannelse av skader under drift. Dersom ulike feilmekanismer kan detekteres på et tidlig tidspunkt vil mulige havarier kunne unngås og en mer optimal planlegging av vedlikehold og oppgraderingsprosjekter gjennomføres.

Når det utvikles modeller for feildeteksjon, er det viktig å ha tilstrekkelig data fra både normale og unormale driftstilstander. Dette gjelder spesielt for vannkraftkomponenter, som er kjent for sitt unike design, høye pålitelighet og lange levetid. På grunn av disse egenskapene mangler det ofte historiske feildata og kunnskap om feil og havari, noe som gjør det umulig å lære av tidligere hendelser.

For å løse denne utfordringen, er en vanlig tilnærming å bygge modeller basert på systemets normale oppførsel som tar sikte på å lære de typiske relasjonene og mønstrene for systemets drift uten noen tegn til feil eller svikt. Dette gjør det mulig å sammenligne den faktiske målte verdien fra sensorer med den estimerte verdien fra normalmodellen. Eventuelle avvik indikerer en unormal situasjon som krever nærmere undersøkelse.

Modeller som brukes for feildeteksjon og tilstandsprediksjon kan kategoriseres som enten fysiske modeller eller datadrevne modeller. Fysiske modeller baserer seg på kunnskapen om prosessen og de underliggende fysiske fenomenene som fører til feil. Disse modellene bruker ofte prinsippene for den overvåkede prosessen og sammenligner den faktiske oppførselen med estimert oppførsel basert på fysiske ligninger fra normale operasjoner. Slike tilnærminger kan være nyttige for å oppdage spesifikke, lokale feil på komponentnivå, som for eksempel sprekkdannelse eller kavitasjonserosjon på løpehjulet til en turbin.

Datadrevne modeller, derimot, søker å identifisere relasjoner og mønstre i store datasett for å oppdage uventede trender og avvik. På grunn av kompleksiteten i vannkraftsystemer, der flere komponenter samhandler mekanisk, hydraulisk og elektrisk, kan det være vanskelig å beskrive sammenhenger med fysiske modeller. Datadrevne tilnærminger bruker maskinlæringsalgoritmer for å oppdage ikke-lineære avhengigheter i omfattende datasett. Selv om slike metoder ikke er utbredt i vannkraftindustrien, har eksperimenter som viser lovende resultater. For eksempel har noen forskere klart å forutsi den genererte effekten av en Kaplan-turbin ved hjelp av en modell som kontinuerlig sammenligner sanntidsdata med estimater fra normal oppførsel. En annen studie brukte en modell for å oppdage slitasje i servomotoren til en Francis-turbin ved å overvåke friksjonskrefter i ledeskovelene under ulike driftsforhold.

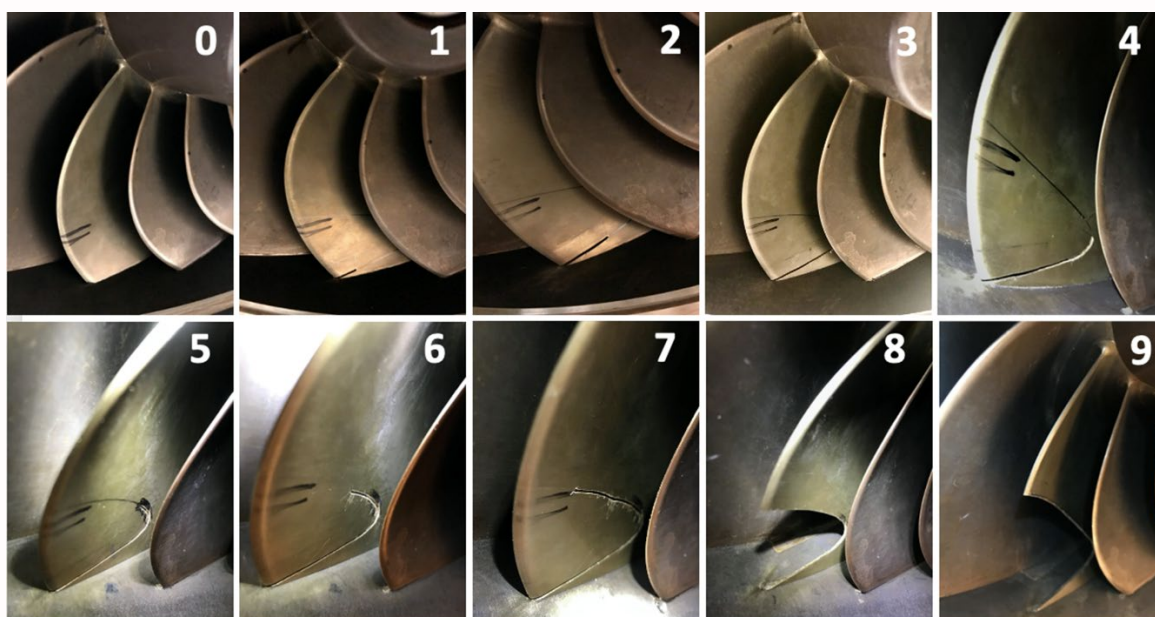
Denne forskningen innen vannkraftteknologi viser betydningen av å utvikle pålitelige modeller for feildeteksjon og tilstandsovervåkning for å opprettholde pålitelig drift i vannkraftverk.

### Funn/resultater

I denne oppgaven har det blitt undersøkt hvordan en typisk feilmekanisme på et Francis modell løpehjul kan identifiseres ved hjelp av målinger under drift. Testene har blitt utført i Vannkraftlaboratoriet på NTNU. En tenkt realistisk sprekk har blitt gjenkapt manuelt på avløpskanten på et av bladene, i krysset mellom ringen og kanten slik som vist i Figur 2. Sprekk lengden økte i 9 steg, langs en semi-elliptisk kurve innover i bladet, og resulterte i et løsevev bruddstykke. Trykksensorer og akselerometre ble installert på turbinen, og stasjonære målinger for ulike driftspunkt og ulike fallhøyder ble gjennomført for hvert steg. Ved å analysere dataen i tid og frekvensdomenet ble det undersøkt hvordan trykk- og vibrasjonssignaturene endret seg med sprekkutviklingen.



Figur 1. Utløpet fra Francis turbin



Figur 2. Påføring av sprekk og uttak av en «sprukket» del av løpehjulet

Resultatene avslørte en endring i trykksignaturen etter at bruddstykket ble fjernet. I tidssignalet ble det observert en lokal trykkreduksjon for hver løpehjulsrotasjon sammenlignet med tidligere sprekksteg. Trykkreduksjonen viste seg å øke med driftspunkt, men forble uendret med økende fallhøyde. En kombinasjon av lokale strømningseffekter i kanalen, og en omfordeling av belastningene på det ødelagte bladet, antas å være årsaken. Fra frekvensanalysen ble det observert

en tydelig økning i amplituden til rotasjonsfrekvensen, trolig som følge av en økt hydraulisk ubalanse skapt av det ødelagte bladet. I vibrasjonssignaturen ble det identifisert en økning i sidebånd rundt bladpasseringsfrekvensen. Hverken trykk eller vibrasjonssensorene målte noen tydelige endringer under selve sprekkdannelsen før bruddstykket ble fjernet.

### Nyttiggjøring/verdiskapning

Basert på de observerte resultatene har overførbarheten til prototyper blitt diskutert. Videre arbeid kan resultere i utvikling av en Functional Mock-up Unit, FMU som kan implementeres i vannkraftverk for å identifisere sprekkdannelse og at deler av turbinbladet er falt av.

Referanser og lenker til publikasjoner og avhandling /references and links to publications and thesis

Thesis: [NTNU Open: Signature Investigation of Typical Faults on Francis Turbines](#)

