

Ikke-destruktiv prøving Inspeksjonsmetodikk Akseptkriterier

NDT Brukermanual – Francisløpehjul

Revisjon no.	Formål	Utgitt
0	For utgivelse	28.02.2000

Enfo prosjekt ref.: Enfo – NFR P3.03 (P4.03)	Tilgang: Konfidensiell	Side: 1	av: 20
--	----------------------------------	-------------------	------------------

Innhold

INNHold

Del A: Inspeksjon i kraftverket

Innhold	2
1. Hensikt og gyldighet.....	4
2. Akseptkriterier	6
2.1 Soneinndeling.....	6
2.2 Anbefalte akseptkriterier	7
3. Inspeksjonsstrategi.....	8
3.1 Områder og valg av inspeksjonsnivåer	8
3.2 Inspeksjonsintervaller	9
3.2.1 Inspeksjonsintervall i drift	9
3.2.2 Inspeksjoner foranlediget av spesielle forhold	9
3.2.2.1 Endret permanent driftssituasjon som påvirker stasjonære spenninger i løpehjulet	9
3.2.2.2 Fremmedlegemer	10
4. NDT-metodikk. Krav og anbefalinger	11
4.1 Krav til personell.....	11
4.2 Moderate NDT-krav	11
4.3 Beskjedne NDT-krav	11
4.4 NDT foranlediget av spesielle forhold	12
4.5 Beskrivelse av krav og anbefalinger til NDT-metodene	12
4.5.1 Penetrantprøving (PT)	12
4.5.2 Virvelstrømprøving (ET).....	12
4.5.3 Magnetpulverprøving (MT).....	13
5. Vurdering av indikasjoner.....	14
5.1 Generelt.....	14
5.2 Seigringer.....	14
5.3 Rapporteringsnivå	14
5.4 Akseptnivå	14
6. Tiltak og protokollføring.....	15
6.1 Retningslinjer for reparasjoner.....	15
6.1.1 Generelt	15
6.1.2 Reparasjoner	15
6.2 Protokoll.....	15

Del B: Inspeksjon i verksted

7. Metodikk for prøving av Francisløpehjul	18
8. Akseptkriterier	18
9. Inspeksjonsstrategi.....	18
10. NDT-metodebeskrivelser.....	18
11. Vurdering av indikasjoner.....	18
12. Tiltak.....	19

Referanser.....	20
-----------------	----

Del A

Inspeksjon i kraftverket

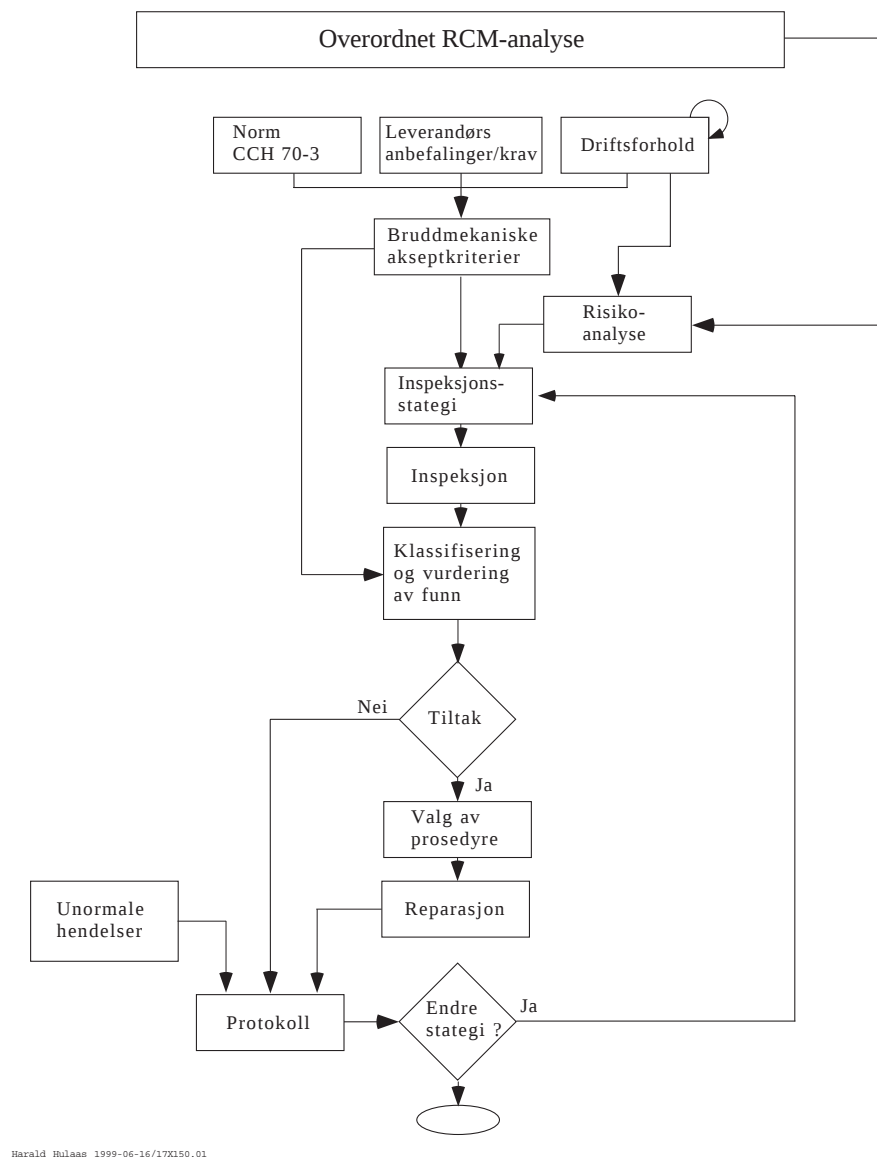
[Dette bladet bør erstattes av et skilleblad]

1. Hensikt og gyldighet

1. HENSIKT OG GYLDIGHET

Hensikten med denne manualen er å bedre og standardisere bruken av NDT (ikke-destruktiv prøving) på Francis løpehjul. Håndbøkene ”Tilstandskontroll av vannkraftverk” som omhandler vannkraftturbiner (Utgitt av Enfo i 1994, ISBN 82-436-0150-8) er ikke spesielt detaljert i behandling av NDT. I lys av at bruken av NDT ofte har vært lite konsekvent, ble det besluttet å utarbeide denne rettledningen for å bedre praksisen innen dette viktige området.

Flytskjemaet i figur 1.1 illustrerer systematikken som denne manualen følger.



Harald Hulaas 1999-06-16/17X150.01

Figur 1.1. Illustrasjon av metodikk for bestemmelse av inspeksjonsrutiner.

Når et kraftverk har fullført utarbeidelsen av den overordnede vedlikeholdsanalyse (Reliability Centered Maintenance (RCM), eller pålitelighetsstyrt vedlikehold), vil det være kartlagt hvilke deler av kraftverket som trenger hvilken type inspeksjon.

Manualen i de følgende kapitler beskriver på detaljnivå hvordan et Francis løpehjul skal undersøkes med ikke-destruktive prøvemetoder (NDT). Valget av NDT-metoder (kapittel 3 og 4) i de forskjellige områder på Francis

1. Hensikt og gyldighet

løpehjul, er basert på bruddmekaniske beregninger og betraktninger (kapittel 2), og en inspeksjonsstrategi etter modellen i figur 1.1.

Det må understrekes at en overveiende del av Francisløpehjulene i norske kraftverk ikke er sveist med artslikt tilsatsmateriale i hele løpehjulet. De mest følsomme inspeksjonsmetoder for deteksjon av små sprekker, magnetpulverprøving, MT og virvelstrømprøving ET, er praktisk anvendelig i sveisesoner kun hvis det er sveist med artslikt tilsatsmateriale. Ytterligere informasjon om typer løpehjul finnes i ref. 5.

Akseptkriteriene gitt i kapittel 2 er basert på målte spenningsamplituder fra de ikke-stasjonære strømningsforhold i hjulene og en beregnet stasjonær hydraulisk skovlbelastning. Akseptkriteriene har en innebygd sikkerhet basert på usikkerheter i den dynamiske belastningen. Fagansvarlig må søke tilstrekkelig ekspertise for å vurdere inpeksjonsstrategi som fraviker fra denne manualen.

Manualen konsentrerer seg i første rekke om lineære indikasjoner (f.eks. sprekker) i overflaten og like under overflaten. Kapittel 5 gir føringer for vurdering av indikasjoner.

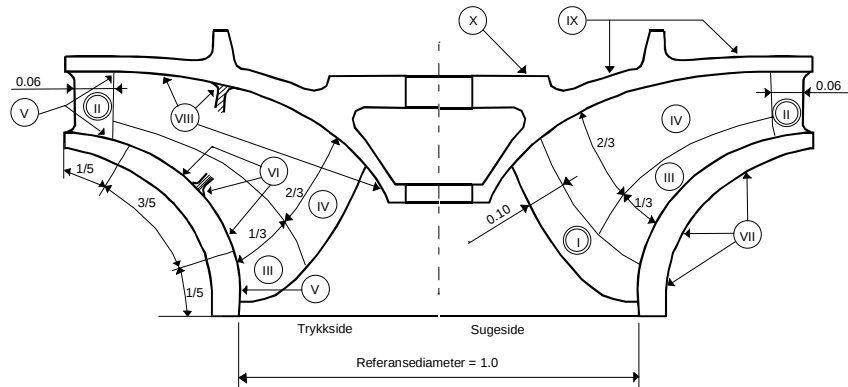
Dersom man med NDT-metoder registrerer indikasjoner eller det registreres unormale driftsforhold, skal det følges visse retningslinjer og rutiner for reparasjoner og protokollføring. Dette er beskrevet i kapittel 6.

Utfyllende teknisk bakgrunnsstoff for denne NDT Brukermanual er gjengitt i egen teknisk rapport (ref. 3).

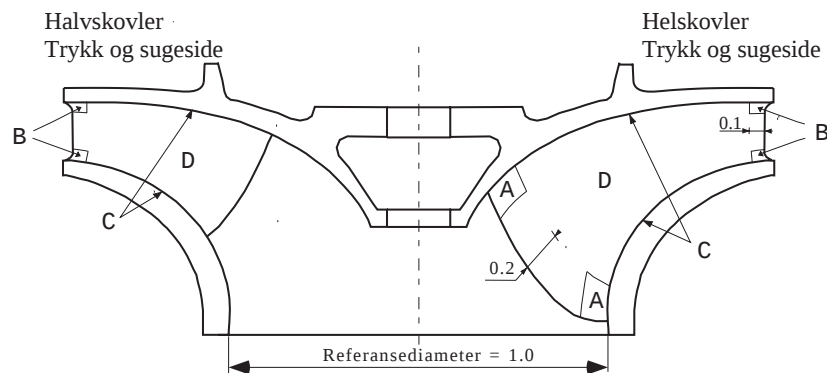
2. Akseptkriterier

2. AKSEPTKRITERIER

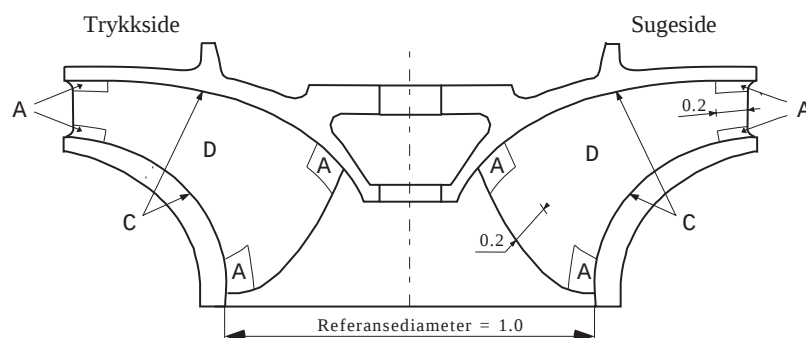
2.1 Soneinndeling



Figur 2.1. Soneinndeling for et støpt løpehjul i følge CCH 70-3.



Figur 2.2. Soneinndeling av løpehjul til Francis turbin



Figur 2.3. Soneinndeling av løpehjul til reversibel pumpeturbin

Sonene for sveiste hjul er delt inn i fire områder med forskjellige krav til akseptkriterier delt inn i klasser. Klasse A har det strengeste kravet til feilstørrelse ut fra spenningsanalyser, målinger av spenningsamplituder og erfaringer fra tidligere sprekkfunn. Det er ikke skilt mellom trykk- og sugeside på skovlene. Soneinndelingen er da:

2. Akseptkriterier

Soneinndeling	Francis turbin	Reversibel pumpeturbin
A	Hulkile og skovl ved avløp ved ring og boss.	Hulkile og skovl ved avløp og innløp ved ring og boss.
B	Innløp ved ring og boss.	<i>Ingen områder med aktuell belastning for denne turbintype.</i>
C	Langs hulkile ved ring og boss.	Langs hulkile ved ring og boss.
D	Hovedparten av skovlen. Ring og boss mellom skovlene.	Hovedparten av skovlen. Ring og boss mellom skovlene.

Tabell 2.1. Soneinndeling på Francis hjul.

2.2 Anbefalte akseptkriterier

Tabell 2.2 og 2.3 angir akseptkriterier for todimensjonale (lineære/plane) indikasjoner. Det vil si de krav som NDT-metodene må tilfredsstille. Enkelte leverandører kan ha strengere lokale krav til akseptkriterier.

Francisturbiner			
Område	Påkjenning	Akseptkriterier (l x d) i mm.	Anmerkninger
A	Høy	2 x 1	Spenningsene her er avhengig av geometri. Leverandør bør indikere og helst dokumentere spenningsnivå og størrelse på tillatte feil. Bruddstart her fører til at en del av skovlen faller av dersom sprekken får utvikle seg.
B	Middels	3 x 1.5	Sjelden problem for turbindrift.
C	Under middels	10 x 5	
D	Lite påkjente områder	30 x 15	PT: Generelt klasse 3 (CCH 70-3), lineære indikasjoner iht. forrige kolonne. MT/ET: Generelt klasse 4 (CCH 70-3), lineære indikasjoner iht. forrige kolonne.

Tabell 2.2. Anbefalte akseptkriterier for løpehjul til turbin.

Reversible pumpeturbiner			
Område	Påkjenning	Akseptkriterier (l x d) i mm.	Anmerkninger
A	Høy	2 x 1	Spenningsene her er avhengig av geometri. Leverandør bør indikere og helst dokumenterer spenningsnivå med beregninger eller målinger. Bruddstart kan føre til at en del av skovlen faller av dersom sprekken får utvikle seg både fra sugerør- og trykksiden. I pumpedrift kan en bit kile seg fast i hjul eller mellom hjul og ledeapparat, og føre til havari.
B	<i>Ingen områder med aktuell belastning for denne turbintype.</i>		
C	Under middels	10 x 5	
D	Lite påkjente områder	30 x 15	Alle metoder: Dersom støpte skovler, klasse 3 (CCH 70-3).

Tabell 2.3. Anbefalte akseptkriterier for løpehjul til pumpeturbin.

3. INSPEKSJONSSTRATEGI

For Francisturbiner vil et skovlbrudd ikke føre til havari av turbinen, mens et brudd på trykksiden i pumpeturbinhjul i pumpedrift kan føre til havari ved at biter fra hjulet kiles mellom hjul og ledeskovler.

En overordnet inspeksjonsstrategi vil gi retningslinjer for **når** en inspeksjon skal utføres, **hvor** den skal utføres og **hvordan** den skal utføres.

- **Når** bestemmes ut fra valgte inspeksjonsintervaller (kap. 3.2)
- **Hvor** er bestemt ut fra de mest kritiske områder, med de alvorligste konsekvensene ved utmattingsbrudd/havari (kap. 3.1)
- **Hvordan** angir passende inspeksjonsmetode, som er framkommet ut fra analyse av kritiske feilstørrelser og konsekvenser (kap. 4).

3.1 Områder og valg av inspeksjonsnivåer

De fire definerte områdene omtalt i denne manualen, A, B, C og D, er beskrevet i kapittel 2.

Kravene som skal stilles til NDT-metodene defineres etter utarbeidelse av risikoanalyse og inspeksjonsstrategi (tilsvarende som for Peltonløpehjulet, ref. 3). Kravene vil være

- Strengt
- Moderat
- Beskjedne

Ved å angi "moderat" eller "beskjedne" krav betyr ikke det at man skal lempe på nøyaktigheten og presisjonen ved bruk av en metode. "Moderat" betyr kun at man velger bruk av en enkelt metode og dermed aksepterer en lavere deteksjonssannsynlighet (POD, probability of detection) istedenfor en kombinasjon av to metoder for å oppnå bedre POD. "Beskjeden" betyr valg av en metode som i seg selv er mindre tid- og ressurskrevende, med en enda mindre POD.

Ingen områder på Francis løpehjulet kvalifiserer for høy konsekvens ved brudd. Områdene A og B kvalifiserer for moderate konsekvenser da kun deler av turbinskovler vil falle av, og disse delene vil bare påføre moderate skader og ikke representere noen sikkerhetsrisiko.

Moderate NDT-krav

1. Område A
2. Område B

Metoder (én av dem) som skal benyttes på moderat nivå er:

- Standard penetrantprøving (PT)
- Standard virvelstrømprøving (ET)
- Standard magnetpulverprøving (MT)

Samtidig med denne inspeksjonen vil det være naturlig (og anbefalt) å utføre en visuell inspeksjon (VT).

Områdene C og D har lave påkjenninger, lav til ingen sannsynlighet for brudd og moderate konsekvenser ved brudd. Disse områdene kvalifiserer derfor for lavt inspeksjonsnivå og beskjedne krav til NDT-metodene.

Beskjedne NDT-krav

3. Område C
4. Område D

Beskjedent inspeksjonsnivå er karakterisert ved:

- Visuell inspeksjon (VT).
- Eventuelt standard MT eller PT, etter behov.
- Ut over dette er det tilstrekkelig med den utførte fabrikkkontroll i henhold til CCH 70-3.

3. Inspeksjonsstrategi

Anbefalte NDT-metoder og kombinasjon av metoder i de ulike nivåer er beskrevet i kapittel 4.

3.2 Inspeksjonsintervaller

3.2.1 Inspeksjonsintervall i drift

Det forutsettes at løpehjulet blir grundig kontrollert ved overlevering fra produsent til kjøper. Feil som er oppdaget, men er innenfor akseptkriteriene, protokollføres for oppfølging (se kap. 6).

Lastvekseltallet for Francisturbiner og pumpeturbiner i pumpedrift er høyt. Sprekkveksten er derfor hurtig, og inspeksjon bør første gang foretas ved 10^8 vekslinger. Deretter bør inspeksjon foretas etter 5×10^8 og etter 10^9 vekslinger. Dersom ikke sprekkvekst er observert i løpet av 10^9 vekslinger, foretas årlige inspeksjoner. Etter mer enn 2 års drift uten sprekker er sannsynligheten for brudd liten.

Det totale vekseltallet beregnes etter følgende formel:

$$\text{Antall lastveksler} = n \cdot 60 \cdot N \cdot h$$

der

n = omløpstall (o/min)

N = antall ledeskovler

h = antall timer i drift

Eksempel på typiske størrelser:

n = 500 o/min

N = 24 ledeskovler

$h/\text{uke} = 24 \times 7 = 168$ timer

Dette gir

Driftstid	1 uke	1 måned	2 måneder	1 år
Antall lastveksler	$1,2 \times 10^8$	$5,3 \times 10^8$	$1,1 \times 10^9$	$6,3 \times 10^9$

Garantikontrollen (oftest etter 24 måneder) anses som den viktigste kontrollen sett fra kjøpers synspunkt. Det er derfor viktig at denne utføres grundig, da status her vil være med på å bestemme videre inspeksjonsintervaller (som er kjøpers ansvar).

3.2.2 Inspeksjoner foranlediget av spesielle forhold

Enkelte hendelser kan gi løpehjulet endrede dynamiske og/eller stasjonære spenninger eller slagaktige påkjenninger pga. fremmedlegemer.

I motsetning til Peltonturbiner vil for Francisturbiner den dynamiske sykliske belastningen ikke øke med øket ytelse eller ved avslag. Dette betyr at bare fremmedlegemer i turbinen beskrevet i dette avsnittet gir behov for endrede inspeksjonsintervall om det ikke er utført sveisereparasjoner. (Endrede driftsforhold ved flere start og stopp kan gi grunnlag for hyppigere inspeksjoner av turbinen generelt pga. utmattingsfare av trykkpåkjennte deler. Ved slike inspeksjoner bør også løpehjulet inspiseres.)

Hendelsene er diskutert i avsnittene under.

3.2.2.1 Endret permanent driftssituasjon som påvirker stasjonære spenninger i løpehjulet

Dersom kraftverket har en permanent endring av driftssituasjonen som påvirker spenningene i løpehjulet, bør man analysere situasjonen inngående gjennom en (ny) risikoanalyse. Eksempel på permanent endring:

3. Inspeksjonsstrategi

Driften blir endret til lange perioder med dellast hvor turbinen har sugerørspulsasjoner, og perioder med overbelastning eller ekstreme variasjoner i fallhøyde og/eller med økende antall start og stopp (dvs. toppkraftproduksjon).

3.2.2.2 Fremmedlegemer

Generelt kan mindre metallgjenstander som bolter, jernstenger e.l. fra varegrinder, ”gjenglemte” eller løsnede deler i vannveien oppstrøms turbinen, forvolde skade på ledeapparat og løpehjulets innløpsdel. Skadeomfanget bør undersøkes før videre drift.

Mindre metallbiter, f.eks. muttere, kan bli roterende mellom løpehjul og ledeskovler og føre til slagskader. Dette vil imidlertid høres veldig godt, slik at aggregatet kan stoppes etter kort tid om stasjonen er bemannet. Større deler, slik som trebiter kan også sette seg fast mellom to ledeskovler. Ved endring av åpningen av ledeapparatet kan en av skovlene bli vridd ut av stilling og komme inn i løpehjulet for visse turbiner, slik at vi får skader, eller i verste fall, havari på aggregatet om skovlen snur seg helt rundt.

En må være særlig på vakt når det gjelder pumpeturbiner om en løsnet ledeskovl rekker bort til løpehjulet da skovlen vil butte imot omløpsretningen på løpehjulet i pumpedrift selv om ledeskovlen ikke snur seg helt rundt.

Alle hendelser og reparasjoner skal protokollføres og gjennomføres etter retningslinjene i kap. 6.

4. NDT-METODIKK. KRAV OG ANBEFALINGER

Ved normal driftsinspeksjon (kapittel 4.2 og 4.3) vil aktuelle metoder være:

- Penetrantprøving (PT)
- Virvelstrømprøving (ET)
- Magnetpulverprøving (MT)

Ved løpehjul bestående av umagnetisk (austenittisk rustfritt) stål, vil magnetpulverprøving være uegnet. Løpehjul som inneholder sveis med ikke-artslikt tilsatsmateriale (f.eks. magnetisk grunnmateriale og umagnetisk sveis) vil kunne fremkalle falske indikasjoner for magnetpulver- og virvelstrømprøvingen i overgangssonene mellom de ulike materialene.

I denne manualen er hovedfokus satt på bruk av manuelle standard prøvemeter. Hvis økt pålitelighet for å finne feil er ønsket kan det benyttes mer enn en av metodene i områdene for ”moderate NDT-krav”¹.

4.1 Krav til personell

Personell som utfører NDT på de viktigste områdene på skovlen, område A, skal være sertifisert Nivå 2 i henhold til NS-EN 473/Nordtest eller tilsvarende. Dette gjelder alle tre metoder: PT, ET så vel som MT.

Magnetpulver- og penetrantprøving i område B kan utføres av Nivå 1 personell under ledelse av Nivå 2, men det anbefales å benytte sertifisert Nivå 2 personell. Virvelstrømprøving (ET) anbefales utført av Nivå 2 personell.

4.2 Moderate NDT-krav

Områdene A og B er mest påkjent (definert i kap. 3.1), og det bør stilles moderate krav til NDT-metodene som skal benyttes. Ut fra lokale forhold og spesifikke anbefalinger, kan det vurderes nyansering av kravene i de to områdene.

Ved normal drift vil det som regel være tilstrekkelig å benytte én av følgende metoder (beskrevet i kapittel 4.5):

- Penetrantprøving.
- Virvelstrømprøving.
- Magnetpulverprøving.

Samtidig med denne inspeksjonen vil det være naturlig (og anbefalt) å utføre en visuell inspeksjon (VT).

Krav og anbefalinger knyttet til disse tre metoder for prøving er beskrevet i mer detalj i kapittel 4.5. NDT-prosedyrer er beskrevet i ref. 3 og 4.

4.3 Beskjedne NDT-krav

I områdene C og D, som er minst påkjent (definert i kap. 3.1), er det tilstrekkelig med visuell inspeksjon (VT). Utbyttet av VT kan bli svært godt dersom hjelpemidler brukes:

- Stillbare speil og lykter. Gir tilgang der det kan være for trangt å komme til å få utført andre prøvemeter eller se ordentlig.
- Endoskop. Det fleksible skopet gir tilgang til trange inspeksjonsområder.
- Videoskop. Endoskopets egenskaper samt forstørrelsesmuligheter av bilde på videoskjerm. Gir svært god følsomhet.

¹ Erfaringer fra andre felt viser at robotiserte eller automatiserte løsninger vil bedre påliteligheten av prøvingen. Dersom automatiserte inspeksjonsmetoder kan dokumentere gode resultater for Francisløpehjulet bør disse vurderes. I dag finnes det imidlertid ingen kommersielt tilgjengelige automatiserte løsninger.

4. NDT-metodikk. Krav og anbefalinger

Visuell inspeksjon kan kombineres med andre prøvemetoder for å vurdere generell tilstand. Magnetpulver- og penetrantprøving kan benyttes etter behov. Magnetpulverprøving vil være uegnet i soner med forekomst av sveis med ikke-artslikt tilsatsmateriale som forklart i avsnittet over.

4.4 NDT foranlediget av spesielle forhold

Dersom løpehjulet har vært sveisereparert pga. mekaniske skader, kavitasjonstæring eller sprekker skal inspeksjonsmetoder (kap. 3.1) og inspeksjonsintervaller (kap. 3.2) være som for nye hjul.

Ved vedvarende dellastkjøring hvor turbinen "går stygt" kombinert med overlast kjøring og/eller store variasjoner i fallhøyden og økende start-stopp intervaller, bør fagansvarlig kontakte leverandør for å finne ut om inspeksjonsintervallene bør endres.

4.5 Beskrivelse av krav og anbefalinger til NDT-metodene

4.5.1 Penetrantprøving (PT)

Penetrantprøving regnes i mange tilfeller i driftsinspeksjon som en mindre sikker metode enn magnetpulverprøving (MT) og virvelstrømprøving (ET). Dette fordi sprekken kan være gjenklinet fra f.eks. sliping eller tett på annen måte. PT er imidlertid svært hensiktsmessig på Francisløpehjul da kravene til NDT-metoder er moderate eller beskjedne, og tilkomst med andre metoder ofte er vanskelig.

For løpehjul med "innstøpte skovler" vil det være en kaldsveis (fremkommer som kontinuerlig sprekke) langs hele skovlen bortsett fra ved innløp og utløp der det vil være lagt på austenittisk sveis. Langs hels skovlen vil det være sprekkindikasjoner, og dette er altså en sprekke som skal være der. I områdene A og B kan indikasjonen forsvinne dersom det er påleggssveist her.

En prøving av Francisløpehjul med penetrantprøving skal utføres i henhold til prosedyre gitt i ref. 3 og 4. Generelt skal denne type prøving kjennetegnes ved følgende krav:

- Fluorescerende metode er å foretrekke, spesielt på en glatt og fin overflate. Denne metode gir best følsomhet for små sprekker.

Hvis derimot overflatetilstanden er noe grov slik at den fluorescerende bakgrunnsstøyen blir betydelig, bør man vurdere å benytte farget (rød) metode.
- Penetranten skal enten være vannvaskbar, eller være basert på fjerning med løsningsmiddel.
- Det er meget viktig at skovlene er tørre og romtempererte (spesifikt: temperatur over duggpunkt). Dersom vann er tilstede kan det sperre for penetranten i en sprekkeåpningen, og dermed hindre inntrenging.
- Personell som utfører penetrantprøving i område A og B skal være sertifisert Nivå 2 i henhold til NS-EN 473/Nordtest eller tilsvarende

4.5.2 Virvelstrømprøving (ET)

Løpehjul som inneholder sveis med ikke-artslikt tilsatsmateriale (f.eks. magnetisk grunnmateriale og umagnetisk sveis) vil fremkalle falske indikasjoner for virvelstrømprøvingen i overgangen mellom grunnmaterialet og sveis. Metoden er ikke egnet i slike områder.

Virvelstrømprøvingen skal kjennetegnes med følgende krav:

- Bruk av impedansplan-utstyr av type Hocking 2200 eller tilsvarende.

4. NDT-metodikk. Krav og anbefalinger

- Bruk av sveiseprobe (ca. 100 kHz), type Hocking 800P04 eller tilsvarende.
- Avsøking med 10% overlapp, og i to scan med probe dreid 45 grader i andre scan i forhold til det første.
- Eventuelle funn skal bekreftes ved bruk av en absoluttsonde (overflateprobe, 500 kHz) av type Hocking 105P4 eller tilsvarende. Funn kan med fordel dokumenteres med utskrift av skjermbildet.
- Personell som utfører ET skal være sertifisert Nivå 2 i henhold til NS-EN 473/Nordtest eller tilsvarende
- Supplerende NDT med magnetpulverprøving (eller penetrantprøving) vil øke deteksjonspåliteligheten for små overflatesprekker.
- Ved grove overflater vil ET miste følsomhet for de minste sprekkestørrelsene (typiske sprekklengder mindre enn 3-5 mm).

4.5.3 Magnetpulverprøving (MT)

Magnetpulverprøving skal kun utføres på magnetiske stålqualiteter, dvs. det må være tilstrekkelig martensitt i det rustfrie stålet.

Sveis med ikke-artslikt tilsatsmateriale (magnetisk grunnmateriale og umagnetisk sveis) vil fremkalle falske indikasjoner. Metoden er ikke egnet i slike områder.

Magnetpulverprøvingen skal kjennetegnes med følgende krav:

- Fluorescerende metode er å foretrekke, spesielt på en glatt og fin overflate. Denne metode gir best følsomhet for små sprekker.

Hvis derimot overflatetilstanden er noe grov slik at den fluorescerende bakgrunnsstøyen blir betydelig, bør man vurdere å benytte farget (svart pulver) metode med kontrastfarge.

- Det skal benyttes vekselstrøm (AC) eller halvbølgerikrettet strøm (HWDC). AC er mest følsom for overflatesprekker. HWDC kan finne feil inntil 1-2 mm under overflaten, men neppe så små som 2x2 mm. HWDC har noe redusert følsomhet for overflatefeil.
- Våtpulver skal benyttes.
- Magnetiseringen kan utføres med bruk av strømaggregat og håndelektroder. Det må sikres svært god elektrisk kontakt mellom elektroder² og metalloverflate. Minimumskrav til strømstyrke (toppverdi) gitt av:

$$I = 6 \text{ A/mm} \times \text{elektrodeavstand}$$

- Åkmagnet kan benyttes i alle områdene, også i områdene A og B dersom det er god kontaktflate mellom åkbeina og objektoverflaten. Løftekraften skal overstige 50 N.
- Personell som utfører MT skal være sertifisert Nivå 2 i henhold til NS-EN 473/Nordtest eller tilsvarende.
- Eventuelle malingsbelegg må ikke overstige 50 µm, uten at følsomheten svekkes. Hvis belegget er tykkere må det fjernes, eller så bør man vurdere å benytte virvelstrømprøving.
- For å bedre deteksjonspåliteligheten kan prøvingen suppleres med virvelstrømprøving. Prøvingen vil da også dekke overflatenære sprekker (ned til ca. 0,5 mm) på en betydelig bedre måte.

² For å hindre metallurgiske skader bør f.eks. blysko eller bly-aluminiumslegerte sko brukes.

5. VURDERING AV INDIKASJONER

5.1 Generelt

Ut fra bruddsikkerhet er det lineære indikasjoner (betraktet som sprekker) som i denne manualen vies oppmerksomhet. Hvis en NDT-operatør finner en indikasjon vil det normalt skje en vurdering opp mot

1. rapporteringsnivå

2. akseptnivå (akseptkriterier).

Disse nivåene er diskutert under i kap. 5.3 og 5.4.

5.2 Seigringer

En aktuell problemstilling ved støpegods er at seigringer i materialet gir falske sprekkindikasjoner ved magnetpulverprøving. Problemstillingen er særlig aktuell for helstøpte hjul eller hjul med støpte komponenter. Støpte komponenter er boss og ring, og i noen tilfeller skovler ved sveiste hjul.

Det er svært viktig at operatøren er oppmerksom på problemet og er nøye med verifisering av indikasjoner (f.eks. ved hjelp av PT begrenset til området for den aktuelle indikasjonen). I tvilstilfeller kan ”replikaprøver” for undersøkelse i mikroskop vurderes.

5.3 Rapporteringsnivå

Rapporteringsnivået settes i forhold til hvor høyt informasjonsnivå som ønskes om løpehjulets tilstand. Et høyt (strengt) rapporteringsnivå vil gi mulighet til å følge en utvikling på indikasjoner der størrelsen er under akseptkriteriet.

For Francisløpehjul der brudd skyldes utmatting (sprekkvekst) er det ønskelig at alle indikasjoner rapporteres, dvs. føres inn i protokoll. Indikasjoner mindre enn akseptkriteriene protokollføres også.

5.4 Akseptnivå

Akseptnivå for sprekkindikasjoner settes ut fra bruddmekaniske og erfaringsmessige betraktninger, i denne sammenheng ut fra verdier på akseptkriterier gitt i kap. 2. Indikasjoner som vurderes større enn akseptabel størrelse vil medføre tiltak som beskrevet i kap. 6.

Alle indikasjoner som vurderes mindre enn akseptkriteriet vil, i Francisløpehjulets tilfelle, medføre protokollføring etter retningslinjer gitt i kap. 6.

6. TILTAK OG PROTOKOLLFØRING

6.1 Retningslinjer for reparasjoner

6.1.1 Generelt

Hvis reparasjoner av indikasjoner vurderes, bør fagansvarlig alltid hente inn nødvendig kompetanse. Det vil være naturlig å henvende seg til leverandøren av løpehjulet, siden denne sitter med detaljert kunnskap og vil ha synspunkter på hvordan ulike tiltak vil påvirke videre drift.

I garantitiden er dette en selvfølge, og tiltak som gjøres uten å kontakte leverandør kan føre til frafall av garantiansvaret.

6.1.2 Reparasjoner

Enhver sprekkvekst eller feil større enn akseptkriteriet som påvises ved periodisk *kontroll må vurderes fjernet ved sliping med en gang*. Dersom slipedybden er for stor til å jevnes ut ved sliping på stedet, må hjulet demonteres og sveiserepareres. (Fortsatt drift med sprekkindikasjoner større enn akseptkriteriet kan føre til brudd.)

Sprekkindikasjoner i område A betraktes som så alvorlig at utbedring sterkt må vurderes utført før videre drift av hjulet.

I noen tilfeller kan en boring ved spissen av en sprekkindikasjon forsinke sprekkveksten noe. Dette tiltaket kan vurderes dersom det er akutt behov for å holde turbinen i drift en kortere tid før reparasjon.

For en enkelt sprekk har sveisereparasjon på stedet med bløte austenittiske tilsatsmaterialer med steking av sveis, vist seg vellykket i noen tilfeller. Slike reparasjoner må imidlertid generelt frarådes, og under ingen omstendighet utføres av andre enn leverandøren av hjulet. Dette fordi leverandøren vil fraskrive seg ethvert ansvar for hjulet dersom en slik reparasjon foretas på stedet av andre. (Normalt bør et hjul med sprekkindikasjoner sveiserepareres i verksted med artslikt tilsatsmateriale.)

Generelt sett: Ved sveisereparasjoner bør leverandørens anbefalinger følges.

Det må føres nøye protokoll over alle feilindikasjoner, også de med feilstørrelse mindre enn akseptkriteriet. Alle sveisereparasjoner må også føres inn på skjema da overgang mot sveis vises ved magnetpulverprøving.

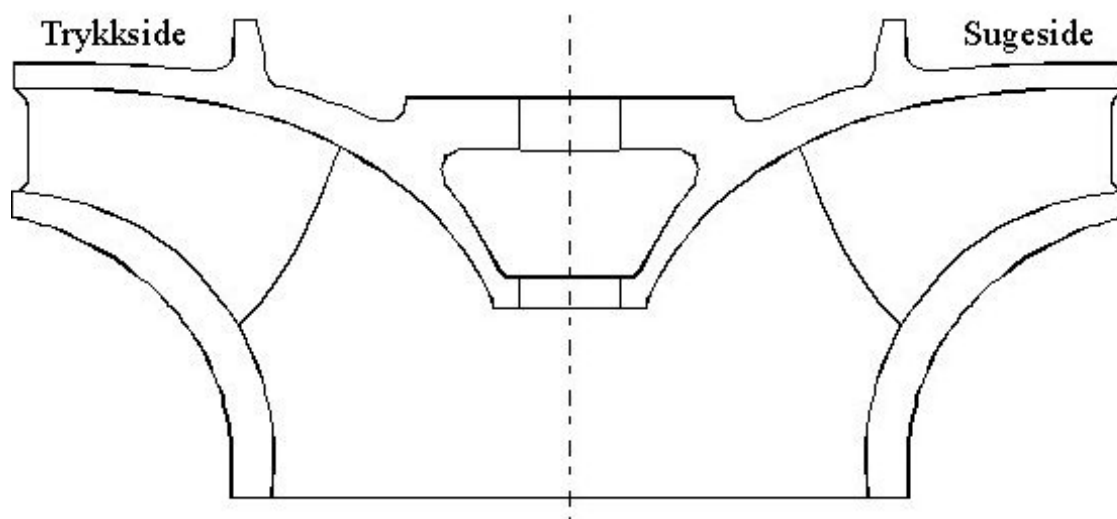
I garantiperioden har leverandøren ansvar for å utbedre skadene.

6.2 Protokoll

En protokoll skal utarbeides. Denne skal blant annet inneholde:

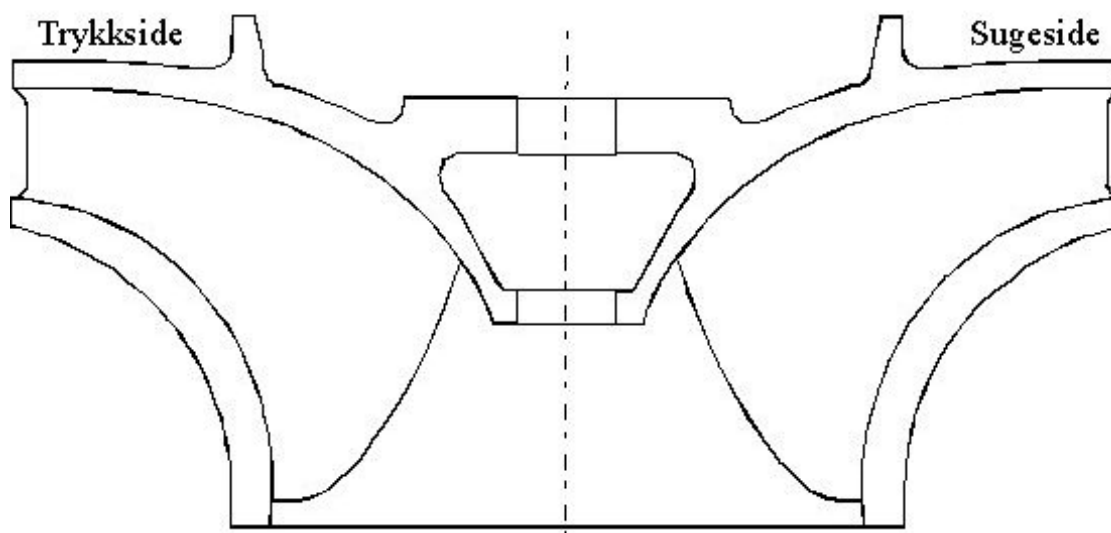
- a) Sporbar referanse til løpehjul (leverandør-/charge nr. eller fabrikkasjonsnr.).
- b) Sporbar referanse til benyttede NDT-metoder eller -teknikker (herunder utstyrsbeskrivelse).
- c) Operatørens navn og sertifikatnummer.
- d) Referanse til akseptkriterier.
- e) Alle indikasjoner funnet med NDT, og evt. endringer fra siste/tidligere rapporter.
- f) Alle betydelige endringer i driftsforhold eller hendelser av betydning for løpehjulets påkjenninger.
- g) Alle reparasjoner, inklusive elektrodetyper og om det er benyttet varmebehandling eller ikke.
- h) Skisse med opptegnelse av indikasjoner (eksempler på skisser er gitt nedenfor).
- i) Antall start/stopp per år.
- j) Statistikk over forekomst av indikasjoner i hvert inspeksjonsintervall.

Halvskovler



Figur 6.1. Skisse for opptegnelse av indikasjoner på halvskovler (Francisturbin).

Helskovler



Figur 6.2. Skisse for opptegnelse av indikasjoner på helskovler (Francisturbin og pumpeturbin).

Del B

Inspeksjon i verkstedet

[Dette bladet bør erstattes av et skilleblad]

7. METODIKK FOR PRØVING AV FRANCISLØPEHJUL

Metodikk for NDT på løpehjul tatt inn til verksted for reparasjon bør avspeile inspeksjonsstrategien i kraftverket. Prøvingen må gjøres med metoder som er like gode eller bedre enn de som skal benyttes i kraftverket. I tillegg til prøving beskrevet i Del A, kapittel 4 i denne håndboken og i CCH 70-3, anbefales det å benytte ultralydprøving for å detektere plane feil (sprekker) under overflaten, og som ikke kan finnes med magnetpulverprøving eller virvelstrømprøving. Til dette kan det benyttes krypbølgeteknikk (prosedyre se ref. 4, vedlegg 3), standard puls-ekko-teknikk eller teknikker som leverandøren foretrekker.

8. AKSEPTKRITERIER

Akseptkriteriene må være de samme eller strengere enn de som er beskrevet i Del A av manualen for driftsinspeksjonen.

9. INSPEKSJONSSTRATEGI

Inspeksjonsstrategien ved sluttkontroll og overtagelse av løpehjul i fabrikk må gjenspeile strategien anbefalt i drift. Se kap. 3 i Del A.

I motsetning til i drift vil det være bedre adkomst til detaljer i den kompliserte geometrien når løpehjulet står i verksted. Særlig gjelder det adkomst fra innløpssiden og utvendig på ringen. Dette tatt i betraktning anbefales ”**strengt NDT-krav**” i område A. Det vil som regel være tilstrekkelig å benytte én av følgende metodikker:

- i) Penetrantprøving i kombinasjon med virvelstrømprøving.
- ii) Penetrantprøving i kombinasjon med ultralydprøving (standard puls-ekko teknikk med miniatyrløydhoder).
- iii) Penetrantprøving i kombinasjon med magnetpulverprøving (krever god nok tilgang).
- iv) Magnetpulverprøving (krever god nok tilgang), fluorescerende teknikk. Prøvingen kan gjerne suppleres med virvelstrømprøving for å bedre påliteligheten i sprekkdeteksjonen ytterligere.
- v) Virvelstrømprøving. Prøvingen kan gjerne suppleres med magnetpulverprøving (krever god nok tilgang) for å bedre påliteligheten i sprekkdeteksjonen ytterligere.
- vi) Magnetpulverprøving i kombinasjon med ultralydprøving (standard puls-ekko teknikk med miniatyrløydhoder)..

I enkelte tilfeller er radiografiprøving (RT) ønskelig for å detektere indre volumfeil. Denne metoden vil evt. komme i tillegg til de ovennevnte metodikkene for å detektere overflatefeil.

Metodene er beskrevet i kap. 4 (unntatt RT og UT). Her vil også begrensninger for virvelstrømprøving og magnetpulverprøving ved umagnetiske materialer og ikke-artslikt tilsatsmateriale være beskrevet.

10. NDT-METODEBESKRIVELSER

I tillegg til MT, PT og ET beskrevet under Del A, kapittel 4 og i CCH 70-3, kan det være formålstjenlig å utføre krypbølgeteknikk med ultralyd for å avdekke plane feil liggende mer eller mindre vinkelrett på overflaten, og fra 0-5 mm ned under overflaten. Dette er beskrevet i ref. 4, vedlegg 3.

Ved sluttkontroll og overtagelse av løpehjul i verksted, anbefales også tradisjonell puls-ekko ultralydprøving (UT) som beskrevet i CCH 70-3. Metodene vil gi gode deteksjonsmuligheter for innvendige feil. Da denne manualen har fokus på vedlikeholdsinspeksjon vil ikke UT diskuteres inngående her.

11. VURDERING AV INDIKASJONER

Vurdering av indikasjoner skal være i henhold til kapittel 5 i Del A.

12. TILTAK

Tiltak ved lineære indikasjoner vil være som beskrevet i fabrikkasjonsspesifikasjonene og leveransebetingelsene.

REFERANSER

- [1] CCH 70-3 1996. *Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines*
- [2] Enfo 1994. ISBN 82-436-0102-3. *Tilstandskontroll av vannkraftverk. HÅNDBOK - Turbiner*
- [3] Robit Dokument TR041990, *Teknisk bakgrunn for NDT Brukermanual*
- [4] Robit Dokument TR042990, *NDT Brukermanual – Peltonløpehjul*
- [5] SINTEF Energiforskning, Termisk energi og vannkraft, Teknisk rapport 2000: TRA 5164, *Klassifisering av løpehjul for Francis turbiner og reversible pumpeturbiner*