

Ikke-destruktiv prøving av løpehjul

Inspeksjonsmetodikk

Akseptkriterier

NDT Brukermanual – Peltonløpehjul

Revisjon no.	Formål	Utgitt
0	For utgivelse	08.02.2000

Enfo prosjekt ref.: Enfo – NFR P3.03 (P4.03)	Tilgang: Konfidensiell	Side: 1	av: 37
--	----------------------------------	-------------------	------------------

INNHALDSFORTEGNELSE

Del A: Inspeksjon i kraftverket

Innholdsfortegnelse	2
1. Hensikt og gyldighet	4
2. Akseptkriterier	6
3. Inspeksjonsstrategi	8
3.1 Områder på Peltonløpehjul	8
3.2 Inspeksjonsintervaller	8
3.2.1 Inspeksjonsintervall ved normal drift	8
3.2.2 Inspeksjoner foranlediget av spesielle forhold	9
3.2.2.1 Endret permanent driftssituasjon som påvirker spenningene i løpehjulet	9
3.2.2.2 Nødstop og store avslag	9
4. NDT-metodikk. Krav og anbefalinger	10
4.1 Krav til personell	10
4.2 Streng NDT-krav	10
4.3 Moderate NDT-krav	10
4.4 Beskjedne NDT-krav	11
4.5 NDT foranlediget av spesielle forhold	11
4.6 Beskrivelse av krav og anbefalinger til NDT-metodene	11
4.6.1 Magnetpulverprøving (MT)	11
4.6.2 Penetrantprøving (PT)	12
4.6.3 Virvelstrømprøving (ET)	13
4.6.4 Automatisert NDT	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 Reparasjoner	15
6.1.1 Generelt	15
6.1.2 Kjøring med redusert last	15
6.1.3 Reparasjoner i vannberørte flater	15
6.1.4 Reparasjoner i ikke-vannberørte flater	16
6.2 Protokoll	16

Del B: Inspeksjon i verksted

7. Metodikk for prøving av Peltonløpehjul	20
8. Akseptkriterier	20
9. Inspeksjonsstrategi	20
10. NDT-metodebeskrivelser	20
11. Klassifisering og vurdering av indikasjoner	20
12. Tiltak	20
Referanser	21
Vedlegg 1. Magnetpulverprøving med bruk av kabelmagnetisering	22
Vedlegg 2. Virvelstrømprøving med bruk av impedansplaninstrument	27
Vedlegg 3. Ultralydprøving med bruk av krypbølgeteknikk	33

Del A

Inspeksjon i kraftverket

[Dette bladet bør erstattes av et skilleblad]

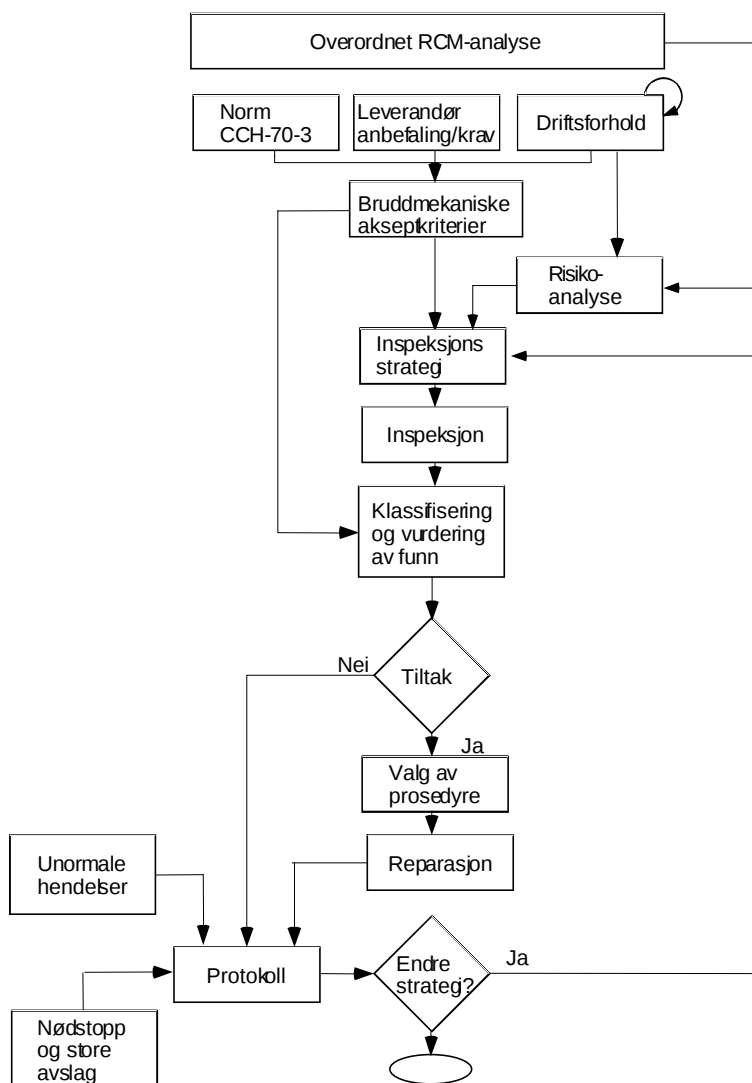
1. Hensikt og gyldighet

1. HENSIKT OG GYLDIGHET

Hensikten med denne manualen er å bedre og standardisere bruken av NDT (Non-Destructive Testing eller ikke-destruktiv prøving) på Peltonløpehjulet, med hovedfokus på skovlene, siden de vil være de belastede deler. Håndbøkene "Tilstandskontroll av vannkraftverk" som omhandler vannkraftturbiner (Utgitt av Enfo i 1994, ISBN 82-436-0150-8, ref.3) er ikke spesielt detaljert i behandling av NDT. I lys av at bruken av NDT ofte har vært mangelfull og lite konsekvent, ble det besluttet å utarbeide denne rettleidingen for å bedre praksisen innen dette viktige området.

Det må nevnes at brudd og havari på Peltonløpehjul er en sjeldenhet i Norge. Ingen løpehjul som er blitt inspisert etter leverandørs spesifikasjoner (mht. inspeksjonsintervaller og inspeksjonsmetoder) har gått til brudd. Det er likevel vurdert nødvendig og nyttig å utarbeide en generell inspeksjonsmanual med beskrivelse av metodikk, intervaller og tiltak.

Flytskjemaet i figur 1.1 illustrerer systematikken denne "NDT Brukermanual" følger. Forkortelser benyttet i flytskjema er forklart i den etterfølgende teksten.



Harald Hulaas 1998-10-28/17X125.01

Figur 1.1. Illustrasjon av metodikk for bestemmelse av inspeksjonsrutiner.

1. Hensikt og gyldighet

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 Peltonløpehjulet¹ skal undersøkes med ikke-destruktive prøvemeter (NDT). Valget av NDT-metoder (kapittel 3 og 4) i de forskjellige områder på Peltonløpehjulet, er basert på bruddmekaniske beregninger og betraktninger (kapittel 2), og en inspeksjonsstrategi etter modellen i figur 1.1.

Denne manual gjelder for 13-1 (stål med 13 % krom og 1 % nikkel), 13-4 og 16-5-stål (det vil si kun martensittisk og martensitt-austenittisk stål, og dermed ikke rent austenittisk stål).

Høyeste spenningsvidde² ("peak to peak") må ikke overskride 45 MPa med de anbefalte akseptkriterier og NDT-metoder beskrevet i denne manual.

Unntak: Dersom det kan dokumenteres lavere spenningsvidde enn 45 MPa, kan akseptkriteriene revurderes, av fagfolk, i lys av de aktuelle spenningsforløp.

Hjul med større spenningsvidde enn 45 MPa (se ref. 1 for presiseringer og utdypinger) er ikke dekket av denne manualen. I disse tilfeller må de rette fagfolk kontaktes av fagansvarlig i kraftselskapet kontaktes for å kartlegge den videre strategi.

Akseptkriteriene gitt i kapittel 2 har en innebygd sikkerhet basert bl.a. på de ulike mulige belastningstilfellene på løpehjulets skovler.

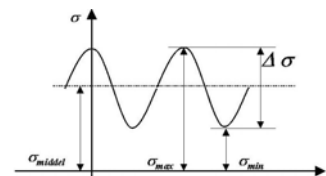
Manualen konsentrerer seg i første rekke om lineære indikasjoner (f.eks. sprekker) i overflaten og like under overflaten. Kapittel 5 gir føringer for vurdering av indikasjoner.

Dersom man med NDT-metoder registrerer indikasjoner eller dersom det registreres unormale hendelser, skal man følge retningslinjer for tiltak og protokollføring, beskrevet i kapittel 6.

Utfyllende teknisk bakgrunnsstoff for denne NDT Brukermanual er gjengitt i en egen teknisk rapport (Ref .5).

¹ Andre komponenter montert i nær forbindelse med løpehjulet (f.eks. rytter) vil også være utsatt for utmatting, og ved løsriving av en slik komponent kan løpehjul og dyser bli påført stor skade. Disse komponentene bør derfor også inngå i en inspeksjonsstrategi, men er ikke dekket i denne manualen.

² Spenningsvidde ($\Delta\sigma$) er total spenning fra negativ amplitude til positiv amplitude om en stasjonær middelspenning, se figur til høyre. Se ref. 4 for presis definisjon.



2. Akseptkriterier

2. AKSEPTKRITERIER

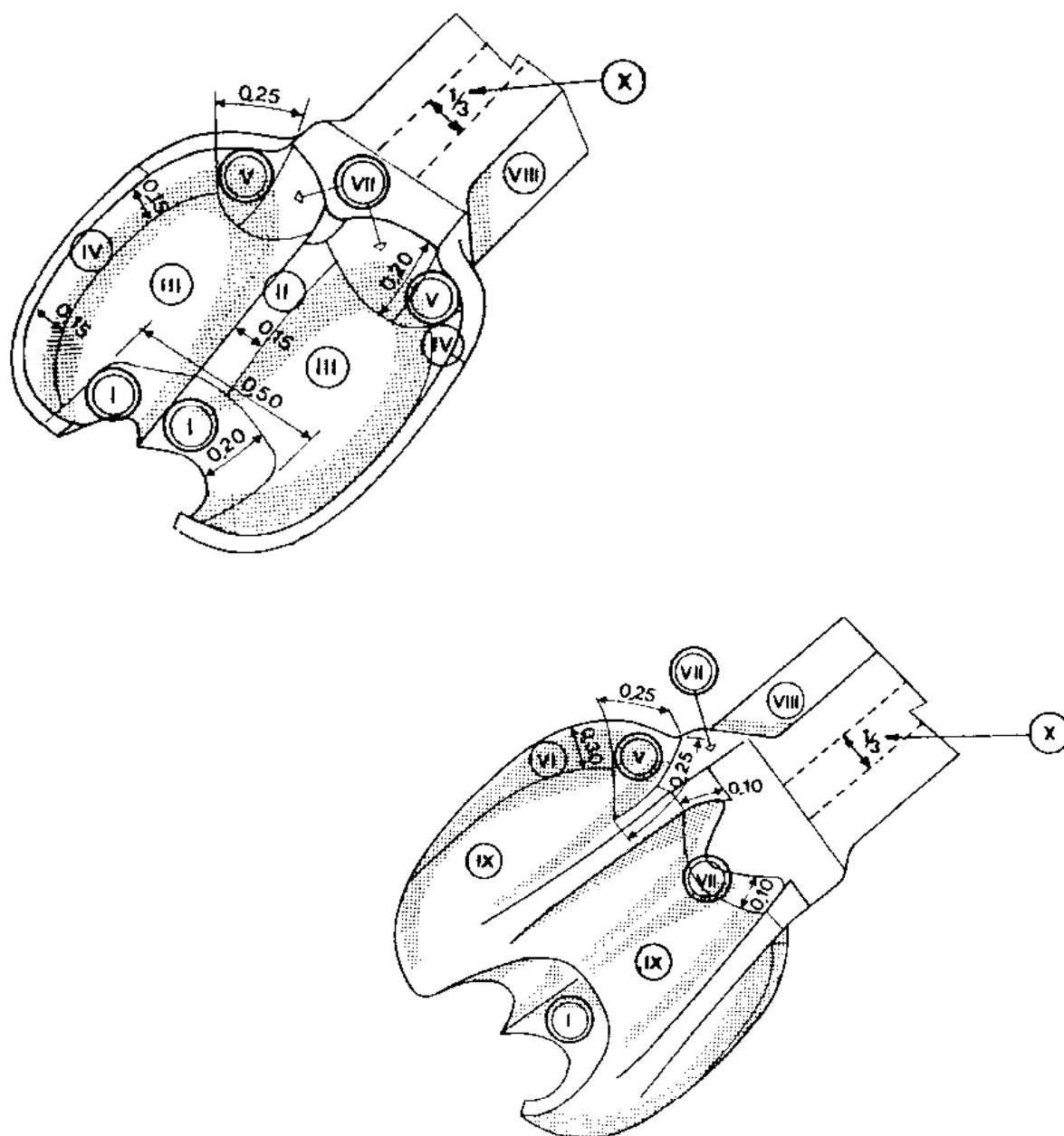
Område	Påkjenning	Akseptkriterier ³	Anmerkninger
I	Relativ høy	2x1 (2x2)	Spenningene her er sterkt avhengig av geometri. Leverandør bør indikere og helst dokumentere spenning ved beregninger. Bruddstartområde. Liten fare for støpefeil. Bør inspiseres nøye i drift. Bruddstartområde med maskinhavari lite sannsynlig ved brudd her da bare mindre biter av skovlen faller av. Sandslitasje vil føre til redusert gods som igjen kan føre til sprekkutvikling.
II	Relativ høy innerst men lavere enn gap i område I.	2x1 (2x2)	Liten fare for støpefeil, men området er ømfintlig for steinslag som kan gi bruddanvisning. Høye krav til NDT da skovlbrudd kan inntre ved materialfeil innerst på eggen.
III	Lave spenninger	4x1.5 (4x3)	Fare for porer som bør fjernes for å unngå kavitasjonsskader. Brudd starter sjelden i dette området. Inspeksjon her bør imidlertid også gjennomføres ved kontroll.
IV	Middels til lave spenninger	3x1 (3x2)	Bruddstart her lite sannsynlig. Porer bør fjernes p.g.a. kavitasjonstæringer. Bør inspiseres ved kontroll.
V	Middels til høye spenninger ved stor vinkel 70-90° mellom avløpskant på skovl og navskive.	2x1 (2x2)	Bruddstart her fører oftest til at deler av skovlene faller av. Totalt skovlbrudd ved at hele skovlen faller av og fører til havari er lite sannsynlig. Skovlbrudd kan bety store konsekvenser (både for personell og materiell).
VI	Middels til lave spenninger	3x1(3x2)	Som for IV.
VII	Høyeste spenninger i hjulet i dette området	2x1 (2x2)	Bruddstart her gir havari ved at skovlen kan falle av eller at navskiven sprekker. Leverandør bør indikere og helst dokumenterte spenning ved beregninger. Materialfeil sannsynlig i dette området ved støpte hjul. Gode sveisereparasjoner er viktig. Inspeksjon av sveisereparasjon er påkrevet. Varmebehandling av hele hjulet må utføres ved sveisereparasjon her. Artslike elektroder må benyttes. Viktigste område for NDT ved periodisk inspeksjon.
VIII og IX	Lite påkjente områder	4x1.5 (4x3)	Bruddstart lite sannsynlig her men sveising uten varmebehandling forbudt også her pga. tykt gods. Minst viktig inspeksjonsområde.
X	Minst farlig område	10x3	Inspiseres evt. bare med røntgen av nye hjul for å indikere godskvaliteten ved å ta bilde av 2 skovler.

Tabell 2.1. Anbefalte akseptkriterier.

Tabell 2.1 angir akseptkriterier for todimensjonale (lineære/plane) indikasjoner, det vil si de akseptkriterier NDT-metodene må tilfredsstille. Kritiske feilstørrelser er minst 1 mm lengre enn akseptkriteriene og må fjernes ved sliping og eventuell sveisereparasjon (se kapittel 6). Tabellen gjelder for 13-4, 13-1 og 16-5 stål med eventuell sveisereparasjon utført med artslikt tilsatsmateriale og høyeste spenningsamplituder på 45 MPa.

³ Størrelsene angir indikasjoner i overflaten (lengde x dybde) i mm (parentes angir størrelser under overflaten).

2. Akseptkriterier



Figur 2.1. Definerte områder på Peltonløpehjulets skovler.

3. INSPEKSJONSSTRATEGI

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

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

3.1 Områder på Peltonløpehjul

I følge CCH 70-3 er Peltonløpehjul delt inn i 10 områder (figur 2.1).

For NDT-formål begrenses disse 10 områder til følgende 3 grupperinger av områder, rangert etter viktighet for NDT. For eksempel betyr ”strengt NDT-krav” at områdene har høye materialspenninger og det er store konsekvenser ved brudd (anbefalt bruk av NDT-metoder er beskrevet i kapittel 4).

Strengt NDT-krav	
II)	Egg, innside, nær rot mot midten av skovl
V)	Overgang skovlrot/skovlside
VII)	Overgang skovlrot/midtparti av skovl

Moderate NDT-krav	
I)	Skovlgap
II)	Egg, innside, fra midten av skovl og ut mot gap

Beskjedne NDT-krav	
III)	Innvendig bunn
IV)	Innvendig side
VI)	Utvendig side
VIII)	Ytre 1/3 av navskive, begge sider
IX)	Bakside av skovl (unntatt skovlgap)
X)	Midtre 1/3 av navskive

3.2 Inspeksjonsintervaller

3.2.1 Inspeksjonsintervall ved normal drift

Inspeksjonsintervallene vil generelt bestemmes ut fra bruddmekaniske beregninger, antall driftstimer, antatt belastningsforløp på skovlene, konsekvens ved brudd og valg av NDT-metodikk.

Driftstimer (t) regnes om til antall belastningssykler (N) etter følgende formel

$$N = n \cdot z \cdot t \cdot 60$$

der n er omdreininger i minuttet, z er antall dyser og t er tid i timer.

Belastningssykler regnes om til fullast belastningssykler (N_{eff}) ved følgende formel

3. Inspeksjonsstrategi

$$N_{eff} = N_{1.0} + N_{0.8} \cdot 0,8^3 + N_{0.6} \cdot 0,6^3$$

$$N_{eff} = N_{1.0} + N_{0.8} \cdot 0,512 + N_{0.6} \cdot 0,216$$

der belastningssyklusene er delt inn i følgende lastområder:

$$P = 1.0 \Rightarrow N_{1.0} \\ 0,9 < P < 1.05$$

$$P = 0,8 \Rightarrow N_{0.8} \\ 0,7 < P < 0,9$$

$$P = 0,6 \Rightarrow N_{0.6} \\ 0,5 < P < 0,7$$

Belastningssyklus under 50% belastning telles ikke.

Inspeksjon skal da skje etter følgende antall belastningssyklus etter installasjon av nye hjul eller reparerte hjul, eller etter ekstraordinære påkjenninger som fullast avslag, nødstopp eller uhell ved at hjulet har vært i berøring med stasjonære deler i turbinen.

$$1. \quad N_{eff} = 5 \cdot 10^7$$

$$2. \quad N_{eff} = 10^8$$

$$3. \quad N_{eff} = 5 \cdot 10^8$$

$$4. \quad N_{eff} = 10^9$$

$$5. \quad N_{eff} = 2 \cdot 10^9$$

osv.

Det føres månedlig "loggbok" for turbinene for beregning av N_{eff} . Etter 2 - 3 års driftserfaring kan det være praktisk å innføre årlig inspeksjon om N_{eff} er mindre enn 10^9 spenningsamplituder i løpet av et år.

3.2.2 Inspeksjoner foranlediget av spesielle forhold

Enkelte hendelser eller driftsforhold kan gi løpehjulet høye, kortvarige spenninger. Disse spenningene kan "rive opp" ikke-kritiske feil slik at de går over kritisk feilstørrelse.

Dette er diskutert i avsnittene under.

3.2.2.1 Endret permanent driftssituasjon som påvirker spenningene 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:

Driften blir endret fra lange perioder med lastpådrag mellom dellast og fullast til korte perioder med overbelastning, og/eller med økende antall start og stopp.

3.2.2.2 Nødstopp og store avslag

Nødstopp med bruk av bremsestråle gir høye spenninger i løpehjulet. Etter nødstopp, nedbremsing fra 90 – 100 % av fullt turtall, med bruk av bremsestråle skal inspeksjonsintervallene settes som for ny turbin i drift.

Også betydelige avslag (uten bruk av bremsestråle), over 90% av fullast, kan gi høye spenninger, og man bør vurdere inspeksjonsstrategien hvis dette opptrer.

4. NDT-METODIKK. KRAV OG ANBEFALINGER

Ved normal driftsinspeksjon (kapittel 4.2, 4.3 og 4.4) vil aktuelle metoder være:

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

I denne manualen er hovedfokus satt på bruk av manuelle standard prøvemethoder. Hvis økt pålitelighet for å finne feil er ønsket kan det benyttes mer enn en av metodene i områdene for ”strengte NDT-krav”.⁴

NDT etter nødstoppp eller betydelige avslag kan involvere flere NDT-metoder enn de nevnt ovenfor. Se kapittel 4.5.

4.1 Krav til personell

Personell som utfører NDT i områdene for ”strengte NDT-krav”, skal være sertifisert Nivå 2 i henhold til NS-EN 473/Nordtest eller ha tilsvarende kvalifikasjoner. Dette gjelder MT, PT så vel som ET.

Magnetpulver- og penetrantprøving i disse områdene for ”moderate NDT-krav” kan utføres av Nivå 1 personell under ledelse av Nivå 2, men det anbefales å benytte sertifisert Nivå 2 personell. Når det gjelder virvelstrømprøving (ET), skal operatør være sertifisert Nivå 2, som i område for ”strengte NDT-krav”.

Dokumentert erfaring fra inspeksjon av Peltonløpehjul er påkrevet.

4.2 Strengte NDT-krav

Løpehjulets områder som er mest kritiske (definert i kap. 3.1) krever de strengeste krav til NDT.

Ved normal drift vil det som regel være tilstrekkelig å benytte én av følgende metodikker:

- i) Magnetpulverprøving, fluorescerende teknikk (detaljer i kapittel 4.6.1). Prøvingen kan gjerne suppleres med virvelstrømprøving for å bedre påliteligheten i sprekkdeteksjonen, f.eks. ved enkelte inspeksjonsintervall.
- ii) Penetrantprøving (detaljer i kapittel 4.6.2), i kombinasjon med virvelstrømprøving.
- iii) Penetrantprøving, i kombinasjon med magnetpulverprøving.
- iv) Virvelstrømprøving (detaljer i kapittel 4.6.3). Prøvingen kan gjerne suppleres med magnetpulverprøving for å bedre påliteligheten i sprekkdeteksjonen.

Krav og anbefalinger knyttet til disse tre metodene for prøving av Peltonløpehjul, er beskrevet i noe mer detalj i kapitlene 4.6.1 – 4.6.3. **Utvalgte NDT-prosedyrer er beskrevet i Vedlegg 1-3.**

4.3 Moderate NDT-krav

I områdene der belastningene er mindre enn i områdene for ”strengte NDT-krav”, og der konsekvensene ved et eventuelt brudd er mindre (definert i kap. 3.1), bør NDT-omfanget gjenspeile dette.

Som en generell regel kan man her utføre MT, ET eller PT som frittstående enkeltteknikker uten behov for supplement av hverandre. Dette gjelder både i normal driftssituasjon og ved nødstoppp. Følgende alternativer er da å anbefale (metodene er beskrevet i kapittel 4.6):

⁴ Erfaringer fra andre felt viser at robotiserte eller automatiserte løsninger vil bedre påliteligheten av prøvingen. Dersom automatiserte inspeksjonsmetoder kan dokumentere resultater for Peltonløpehjulet bør disse vurderes. I dag finnes det imidlertid ingen kommersielt tilgjengelige automatiserte løsninger.

4. NDT-metodikk. Krav og anbefalinger

- Magnetpulverprøving, fluorescerende eller farget metode.
- Penetrantprøving, fluorescerende eller farget metode.
- Virvelstrømprøving.

4.4 Beskjedne NDT-krav

I de minst påkjente områdene, er det tilstrekkelig med visuell inspeksjon, kombinert med andre prøvemethoder for å vurdere generell tilstand. Magnetpulver- og penetrantprøving kan benyttes etter behov.

4.5 NDT foranlediget av spesielle forhold

Dersom det er registrert nødstoppp eller betydelige avslag (mer enn 90% av fullast) kan det, på grunn av de store belastningene, være økt sannsynlighet for at indre feil/sprekker har utviklet seg. For derfor å bedre deteksjonspåliteligheten, spesielt for plane (lineære) feil i og nær overflaten, anbefales det at prøvingen utføres mest mulig lik første driftsinspeksjon av nye hjul (eller reparerte hjul). I områder med "strenge NDT-krav" (kap. 3.1), anbefales det at prøvingen alltid inkluderer en kombinasjon av to metoder:

Alternativ 1. Kombinasjon av MT og ET

Følgende kombinasjon anbefales:

- Magnetpulverprøving basert på bruk vekselstrøm (AC) eller halvbølgelikerettet strøm (HWDC) for å finne overflatesprekker (eventuelt litt under overflaten).
- Virvelstrømprøving med riktig valg av sonde og frekvens for å finne både overflatesprekker og sprekker litt under overflaten.

Alternativ 2. Kombinasjon av PT og ET

Følgende kombinasjon anbefales:

- Penetrantprøving for å finne rene og åpne overflatesprekker.
- Virvelstrømprøving med riktig valg av sonde og frekvens for å finne både overflatesprekker og sprekker inntil 0,5 mm under overflaten.

Alternativ 3. Kombinasjon av PT og MT

Følgende kombinasjon anbefales:

- Penetrantprøving for å finne rene og åpne overflatesprekker.
- Magnetpulverprøving basert på bruk av HWDC for å finne overflatenære feil.

Alternativ 4. Overflatemetode kombinert med ultralydprøving

Følgende kombinasjon anbefales:

- Magnetpulverprøving, virvelstrømprøving, eller penetrantprøving.
- Ultralydprøving med krypbølgelydhode. Denne metoden er detaljert beskrevet i Vedlegg 3.

4.6 Beskrivelse av krav og anbefalinger til NDT-metodene

4.6.1 Magnetpulverprøving (MT)

En prøving av Peltonløpehjul med magnetpulverprøving skal utføres i henhold til prosedyre gitt i Vedlegg 1. Generelt skal denne type prøving kjennetegnes med følgende krav:

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

4. NDT-metodikk. Krav og anbefalinger

- Det skal benyttes vekselstrøm (AC) eller halvbølgelikerettet 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 skal utføres med bruk av strømaggregat, og en av følgende tre teknikker:
 - a) Det kan benyttes 2 eller 3 viklinger som beskrevet i prosedyre "Magnetpulverprøving med bruk av kabelvikling"(se Vedlegg 1). Her må magnetisk feltstyrke overstige 4 kA/m (toppverdi for tangentialfelt) i hele området fra 0 til 50 mm fra ytterste vikling.
 - b) Et enkelt strekk av kabel langs overflaten kan også være en egnet teknikk. Denne står også beskrevet i detalj i Vedlegg 1.
 - c) Dersom man sikrer svært god elektrisk kontakt mellom elektroder⁵ og metalloverflate, kan det også benyttes hånalektroder med minimumskrav til strømstyrke (toppverdi) gitt av:

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

- På grunn av vanskelig tilgjengelighet må bruk av åkmagnet (elektromagnet) utføres med spesiell varsomhet. Åkmagnet kan kun benyttes dersom det er god kontaktflate mellom åkbeina og objektoverflaten.
- Et 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 anbefales det å supplere prøvingen med virvelstrømprøving. Prøvingen vil da også dekke overflatenære sprekker på en bedre måte.

4.6.2 Penetrantprøving (PT)

Penetrantprøving er i de fleste tilfeller i driftsinspeksjon en mindre sikker metode enn magnetpulverprøving (MT) og virvelstrømprøving (ET). Dette er tilfelle fordi sprekken kan være gjenklinet eller tett på annen måte.

Dersom PT velges som primær prøvemetode i områder med "strengt NDT-krav", bør den derfor kombineres med virvelstrøm- eller magnetpulverprøving. I områder med "moderate NDT-krav kan det utføres penetrantprøving som selvstendig metode.

Penetrantprøving på Peltonløpehjul vil kunne følge standard prosedyrer, f.eks. NS-EN 571-1. Hvis spesifikasjonen for PT i CCH 70-3 (ref. 2) benyttes som prosedyre bør man være oppmerksom på at denne kun gjelder for farget penetrant og ikke fluorescerende, som vil være noe mer følsom. Prøvingen skal kjennetegnes med følgende krav:

- Fluorescerende metode er å foretrekke, spesielt på en glatt og fin overflate. Denne metode gir best følsomhet for å finne 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 løpehjulet er tørt og romtemperert. Dersom vann er tilstede kan det sperre for penetranten i en sprekkåpning, og dermed hindre inntrenging.

⁵ For å hindre metallurgiske skader bør f.eks. blysko eller bly-aluminiumslegerte sko brukes.

4.6.3 Virvelstrømprøving (ET)

Virvelstrømprøving er beskrevet i Vedlegg 2 og kjennetegnes med følgende krav:

- bruk av impedansplan-utstyr
- bruk av "sveiseprobe" (ca. 100 kHz), eller tilsvarende
- avsøking med 10% overlapp, og i to scan med probe dreid 45 grader i andre scan i forhold til det første
- eventuelle indikasjoner skal bekreftes ved bruk av en absoluttsonde (overflateprobe, typisk 500 kHz)
- supplerende NDT med magnetpulverprøving (eller penetrantprøving) vil øke deteksjonspåliteligheten for små overflatesprekker
- ved grove overflater vil ET miste følsomhet for de minste sprekkstørrelsene (typiske sprekkklengder mindre enn 3-5 mm)

4.6.4 Automatisert NDT

Erfaringer fra andre felt viser at robotiserte eller automatiserte løsninger vil bedre pålitelighet av deteksjon av sprekker, spesielt når sprekkeene er så små som de aktuelle akseptkriterier spesifisert i kapittel 2. Automatiserte løsninger vil fullt ut kunne anbefales brukt dersom det blir dokumentert at de har deteksjonsfølsomhet som er lik eller bedre enn de teknikker som er beskrevet i kapitlene 4.6.1 – 4.6.3. I dag finnes det imidlertid ingen kommersielt tilgjengelige automatiserte løsninger.

Automatiserte løsninger vil også tillate prosessering av inspeksjonsdata slik at en mer korrekt tolkning av indikasjoner kan utføres. Med andre ord vil feilindikasjoner med større sannsynlighet bli "avslørt" og dyrebare unødvendige reparasjoner unngås.

Eksempler på automatiserte løsninger er:

- Robotisert virvelstrømprøving (deteksjon av overflatefeil og overflatenære feil).
- Robotisert ultralydprøving (deteksjon av feil under overflaten).
- Robotisert ACFM (deteksjon av overflatefeil og overflatenære feil), som er basert på en elektromagnetisk metodikk.

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 indikasjoner ved magnetpulverprøving. Problemstillingen er særlig aktuell for litt eldre helstøpte 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).

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 Peltonløpehjul der brudd skyldes utmatting (sprekkvekst) er det ønskelig at alle indikasjoner rapporteres, altså føres inn i protokoll, også indikasjoner mindre enn akseptkriteriene.

5.4 Akseptnivå

Akseptnivå 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 Peltonløpehjulets tilfelle, medføre protokollføring etter retningslinjer gitt i kap. 6.

6. TILTAK OG PROTOKOLLFØRING

6.1 Reparasjoner

6.1.1 Generelt

Hvis reparasjoner av lineære indikasjoner vurderes, bør fagansvarlig alltid hente inn nødvendig kompetanse. Leverandør av løpehjulet vil være naturlig å henvende seg til siden disse sitter med detaljerte kunnskap, og vil ha synspunkter på hva ulike tiltak vil ha å si for videre drift.

6.1.2 Kjøring med redusert last

Situasjoner kan tilsi at en lengre stans av løpehjulet er svært uønsket. Dette kan f.eks. være med kraftprismarkedet i gunstig posisjon og med begrensede vannmengder i magasinene etter vintersesongen. I disse tilfellene kan det være aktuelt å slippe vekk en indikasjon til feilfritt materiale uten å foreta sveisereparasjon for deretter å fortsette og kjøre hjulet på dellast. Før en slik beslutning tas må leverandør kontaktes.

6.1.3 Reparasjoner i vannberørte flater

Vannberørte flater defineres som område I, II, III, IV, V og delvis VII (se kap. 2).

- A) Indikasjoner som forsvinner ved sliping ned til maksimalt 1 mm dybde, kan vanligvis utjevnes ved sliping. En må kontakte leverandør hvis godstykkelsen blir vesentlig redusert (eksempelvis vil dette raskt skje i gap og på egg). Bølgeformet overflate kan gi kavitasjonsskader og sliping bør utføres i samarbeid med leverandør. Sliping av steinslag, sandslitasje og/eller kavitasjon behandles på samme måte.
- B) Dypere indikasjoner enn 1 mm må som regel sveises om ikke et større parti kan utjevnes med sliping som i tykkere deler av skovlen. Leverandør av hjulet må kontaktes for å få opplysning om kjemisk analyse og tidligere reparasjoner.
- Alle sveisereparasjoner skal i utgangspunktet utføres med artslikt tilsatsmateriale, med forvarming og etterfølgende spenningsgløding. Skal slik sveising utføres fjernes eventuelle tidligere austenittiske reparasjoner som nå sveises med artslikt tilsatsmateriale. Det er viktig at det ikke finnes seigringer eller andre urenheter i bunnen av utslipingen før sveising (det kan anbefales sliping/polering samt 100% PT etter cch70-3 klasse 3). Reparasjoner utenfor tangentsirkelen kan varmebehandles med lokal gløding av en enkelt. Er det reparasjoner i flere enn 3 skovler anbefales spenningsgløding av hele hjulet. Glødetemperatur er avhengig av kjemisk analyse og tidligere varmebehandlinger. Charge nr. eller fabrikkasjons nr. må oppgis og leverandør av hjulet må kontaktes før sveising startes.
 - Reparasjoner i område III kan midlertidig utføres ved sveising med austenittisk tilsatsmateriale, for reparasjoner med maksimalt dybde 3 mm etter utsliping. Dersom løpehjulet skal varmebehandles i ovn må alle evt. tidligere austenittiske reparasjoner fjernes og sveises med artslikt tilsatsmateriale før gløding.
- C) Merk 13% Cr, 1% Ni stål må behandles særlig forsiktig da sveising er vanskelig på disse hjulene og seigringer gir tydelige lineære indikasjoner ved magnetpulverprøving. Videre vil sveisereparasjoner gi synlige lineære indikasjoner i overgangen mot grunnmaterialet i 13% Cr, 4% Ni og 17% Cr, 4% Ni (=16% Cr 5% Ni) stål pga. restaustenitt. Varmepåvirket sone rundt sveisen blir også så hard og sprø at varmebehandling er nødvendig.
- D) Porer behandles i henhold til akseptkriterier fra leverandør. Tiltak vil være som beskrevet ovenfor i dette kapitlet.

6. Tiltak og protokollføring

6.1.4 Reparasjoner i ikke-vannberørte flater

Ikke-vannberørte flater defineres som område VI og delvis VII (se kap. 2).

Dersom en har lineær indikasjon som kan tolkes som sprekk kan det slipes ned 2% av godstykkelsen men maksimalt 10 mm, helst med en mellomkontroll ved halve slipedybden. Flaten må poleres til finhet bedre enn 0.8 µm Ra med nøye kontroll med MT. Leverandør bør kontaktes.

Er det indikasjon på at det er sprekk lengre enn 3 mm etter utsliping som omtalt, bør hjulet skiftes ut for nøyere kontroll. Er det ingen indikasjon i bunnen av utsliping kan 10 mm dype utsliping utjevnes i skovlrotpartiet hvor det er mye gods dvs. midt mellom skovlene. Dersom det er påvist flere lignende lineære indikasjoner i eldre hjul bør det tas "replika" av typiske indikasjoner for mikroskop undersøkelse. Dette for å være sikker på at det er sprekker og ikke seigringer i stålet da seigringer ikke trenger reparasjon. Dette gjelder særlig om de finnes i gamle hjul.

Følgende fremgangsmåte anbefales for utbedring:

- A) Påviste seigringer utbedres ved polering av overflaten for nøyaktig måling av lengde av indikasjon for sammenligning ved senere kontroller. (Sliping i dypet må unngås). Nøyaktig merking av sted og lengde protokollføres for senere oppfølging.
- B) Blir sliping dypere enn 10 mm for å fjerne indikasjonen må hjulet sveiserepareres ved forvarming og spenningsgløding. Oppvarmingshastighet og nedkjølingshastighet må ikke overstige 30°C per time. Avkjøling av hjulet i ovn ned til 150°C. Dette for å unngå "termiske" spenninger i hjulet ved for hurtig avkjøling ned til romtemperatur i siste del av avkjølingsprosessen. Holdetid og glødetemperatur avgjøres av spesialist basert bl.a. på kjemisk analyse.

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 (charge nr. eller fabrikkasjonsnummer).
- b) Sporbar referanse til benyttede NDT-metoder og -teknikker.
- c) Referanse til akseptkriterier.
- d) Alle betydelige avslag og nødstopp.
- e) Alle indikasjoner funnet med NDT og evt. endringer fra siste/tidligere rapporter.
- f) Alle reparasjoner, inklusive om det er benyttet varmebehandling eller ikke.
- g) Skisse med opptegnelse av indikasjoner. Eksempel på skisse er gitt nedenfor (fig. 6.1 og 6.2).
- h) Antall start/stopp pr. år.
- i) Statistikk over forekomst av indikasjoner i hvert inspeksjonsintervall.

6. Tiltak og protokollføring

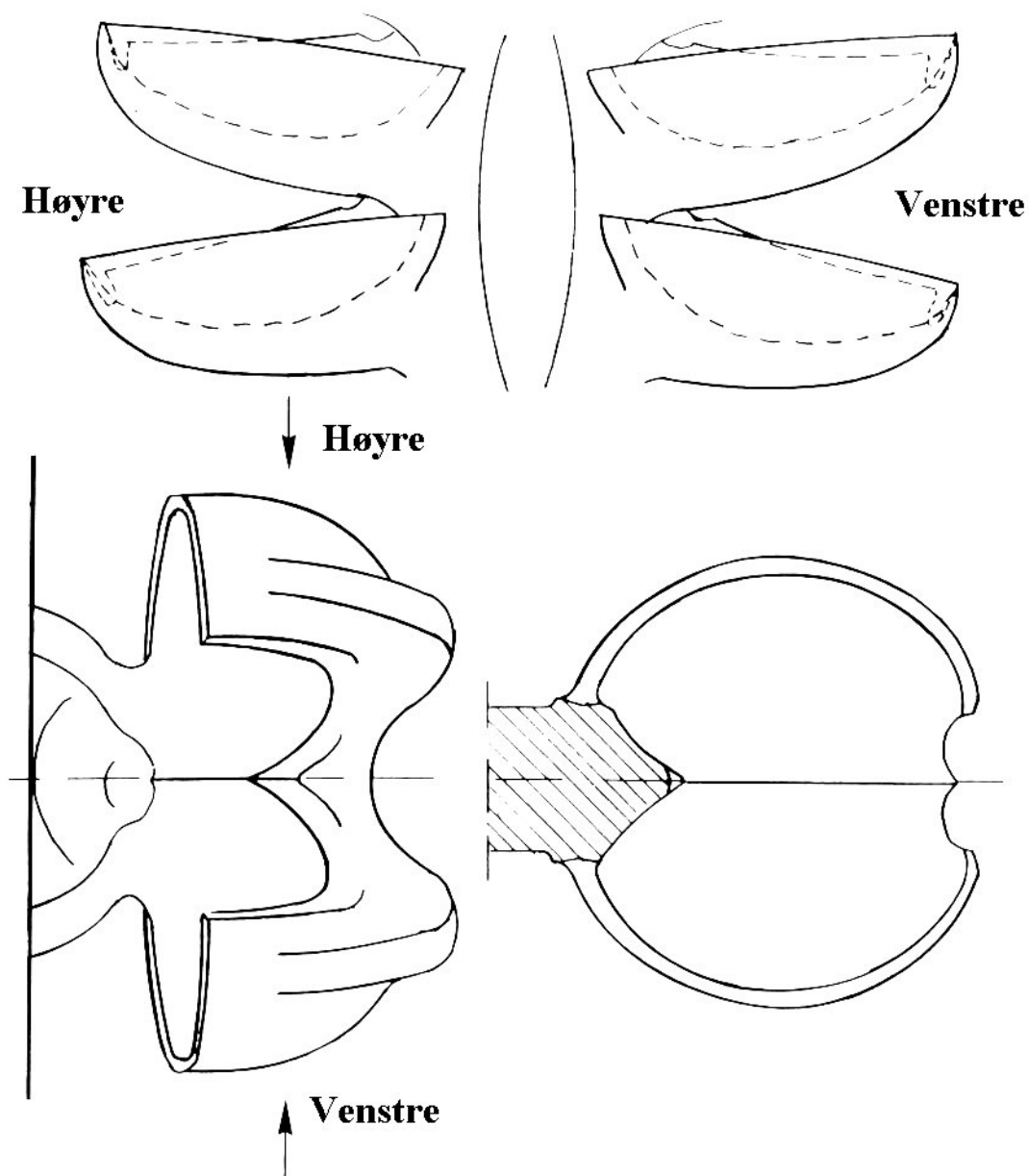


Fig. 6.1. Skisse for opptegning av indikasjoner (fra ref.3).

6. Tiltak og protokollføring

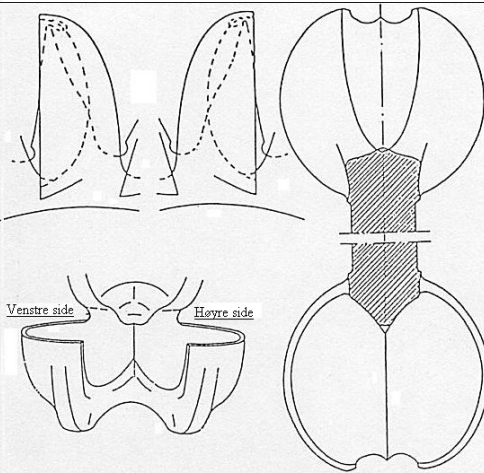
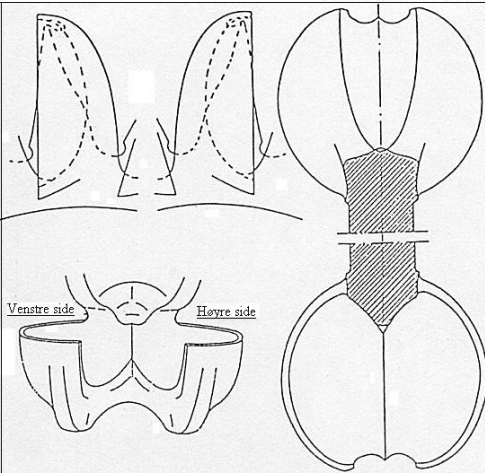
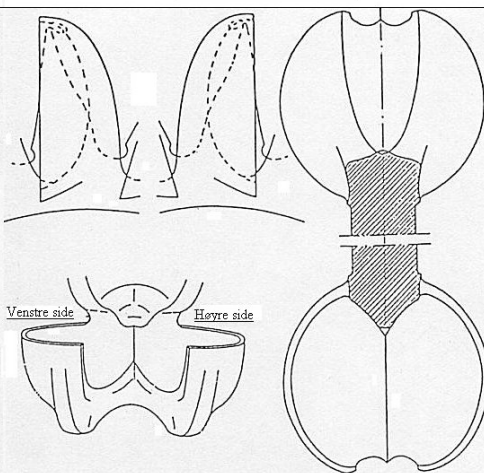
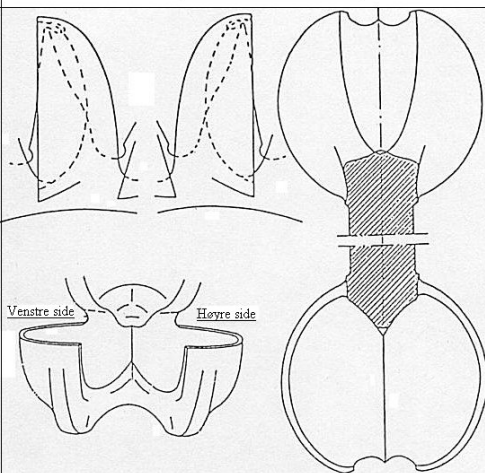
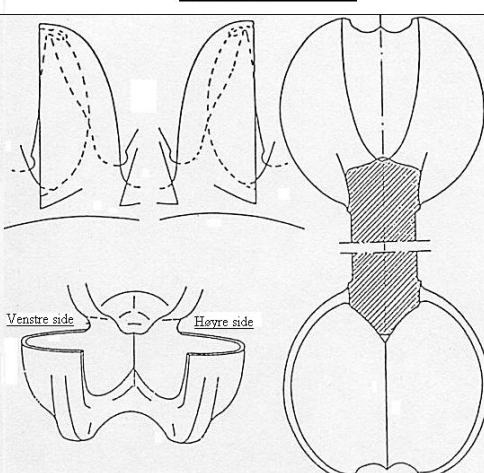
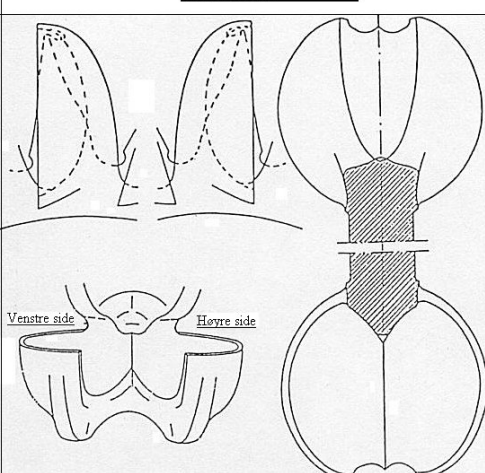
Kontrollskjema			
Inspeksjonsmetode:			
			
Skovl nr. _____		Skovl nr. _____	
			
Skovl nr. _____		Skovl nr. _____	
			
Skovl nr. _____		Skovl nr. _____	
Inspektør:	Dato:	Charge nr:	Turbin nr:

Fig. 6.2. Skisse for opptegning av indikasjoner.

Del B

Inspeksjon i verkstedet

[Dette bladet bør erstattes av et skilleblad]

7. METODIKK FOR PRØVING AV PELTONLØPEHJUL

Metodikk for NDT på løpehjul tatt inn til verksted for reparasjon må 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 benyttes krypbølgeteknikk (se Del A og Vedlegg 3).

8. AKSEPTKRITERIER

Akseptkriteriene må i størst mulig grad være de samme som 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.

10. NDT-METODEBESKRIVELSER

I tillegg til MT, PT og ET beskrevet under Del A , kapittel 4.5 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 Vedlegg 3.

Ved sluttkontroll og overtagelse av løpehjul i verksted, anbefales også radiografiprøving (RT) og/eller tradisjonell puls-ekko ultralydprøving (UT) som beskrevet i CCH70-3. Metodene vil gi gode deteksjonsmuligheter for innvendige feil. Da denne manualen har fokus på vedlikeholdsinspeksjon vil ikke UT og RT diskuteres inngående her.

11. KLASSIFISERING OG VURDERING AV INDIKASJONER

Klassifisering og karaktersetting 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] H. Brekke: Paper IAHR Singapore, 1988: *Operational Safety Reliability and Life Time of Hydraulic Machines*
- [2] CCH 70-3, 1996: *Specification for Inspection of Steel Castings for Hydraulic Machines*
- [3] EnFO, 1994. ISBN 82-436-0102-3: *Tilstandskontroll av vannkraftverk. HÅNDBOK - Turbiner*
- [4] SINTEF Energiforskning, Termisk energi og vannkraft, Teknisk rapport 1998: TR F4719, *Levetid og spenninger i helstøpte og helsveiste Peltonhjul*
- [5] Robit Teknisk rapport 1999: TR041990, *Teknisk bakgrunn for NDT Brukermanual*

VEDLEGG 1. MAGNETPULVERPRØVING MED BRUK AV KABELMAGNETISERING

Innhold

1.	Hensikt.....	23
2.	Referansedokumenter	23
3.	Personell	23
4.	Objekt	23
5.	Krav til overflate.....	23
6.	Utstyr	23
7.	Deteksjonsmedium.....	24
8.	Kontroll av utstyr og prosess	24
8.1	Periodisk kontroll.....	24
8.2	Visuell kontroll	24
8.3	Kontroll av UV-lampe.....	24
8.4	Funksjonstest.....	24
9.	Utførelse av prøving	24
9.1	Viklet kabel.....	24
9.2	Strukket kabel	25
10.	Bedømmelse av indikasjoner	25
11.	Akseptkriterier	25
12.	Avmagnetisering/etterrengjøring	26
13.	Rapportering	26

1. HENSIKT

Magnetpulverprøvingen skal utføres for å påvise sprekker og lineære materialfeil i ferromagnetiske materialer i Peltonskovler. Prosedyren gjelder for vekselstrøm (AC) og halvbølge likerettet strøm (HWDC).

2. REFERANSEDOKUMENTER

1. EN 1290 eller en tilsvarende internasjonalt anerkjent standard for prøving av støpte, smidde og maskinerte komponenter.
2. CCH 70 - 3.
3. Robit Teknisk rapport 1999: TR041990, Teknisk bakgrunn for NDT Brukermanual

3. PERSONELL

Personell som skal utføre magnetpulverprøving etter denne metode skal være sertifisert iht. EN 473/Nordtest nivå 2.

4. OBJEKT

Prøveprosedyren skal benyttes ved prøving av martensittiske og martensittisk-austenittiske (såkalt rustfrie) stål. Rent austenittiske eller ferrit-austenittiske (duplex) stål omfattes ikke.

5. KRAV TIL OVERFLATE

Overflater som skal kontrolleres skal være rene og fri for skitt, slagg, rust, sand og annet som kan virke forstyrrende på en tilfredsstillende prøving. Kontrastfarge kan benyttes dersom farget magnetpulver er foreskrevet. Sliping eller stålborsting av objektene er ikke tillatt.

6. UTSTYR

Til prøvingen skal følgende utstyr være tilgjengelig:

1. Strømforsyning som yter minst 2100 A toppverdi (peak), dvs. AC 1500 A rms eller HWDC 1050 A rms tilsvarende ca. 700 A middelvei. For store skovlørrelser kan et aggregat i denne størrelsesorden bli for lite. Generelt kan sies at strømforsyningen skal være sterk nok til å dekke krav spesifisert under kap. 9.
2. Strømledning/viklingskabel som tåler strømmen fra aggregatet. Tverrsnitt på 90 - 110 mm² er som regel tilstrekkelig. Lengden må sikre 3 vindinger rundt skovlen, som beskrevet i kap. 9, og en fornuftig og sikker plassering av aggregatet.
3. Magnetisk feltstyrke skal måles vha. feltstyrkemåler basert på Hall-effekt-prinsippet, område minst 0 - 5 kA/m.
4. Feltindikator av typen Castrol-Strips (bestem sølv/messing) skal benyttes for å bestemme feltretning, evt. grovindikere at feltstyrken er tilstrekkelig.
5. UV-lampe med intensitet på minst 1000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ i inspeksjonsområdet.
6. UV-lysmåler som minst dekker 0 - 5000 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$.
7. Lampe for hvitt (vanlig) lys som sikrer 1000 lux i inspeksjonsområdet.
8. Lysmåler for hvitt lys med god avlesning i området 0 - 10 000 lux for å kontrollere arbeidslyset ved farget metode.
9. Lysmåler for hvitt lys med god avlesning i området 0 - 100 lux for å kontrollere tilstrekkelig lite hvitt lys ved fluorescerende metode.

7. DETEKSJONSMEDIUM

Inspeksjonsmediet skal bestå av fint fordelte ferromagnetiske partikler i form av våtpulver på sprayboks eller selvblandet pulverløsning. Følgende pulver-, kontrast- og rensesvæsketyper kan benyttes:

1. Fluorescerende våtpulver av type Tiede 690.1, Bycotest 101 eller tilsvarende. Selvblandet pulverløsning skal tilfredsstille krav satt i standard ASME sec.V, art.25.
2. Farget (svart) våtpulver av type Tiede 690.2, Bycotest 103 eller tilsvarende. Selvblandet pulverløsning skal tilfredsstille krav satt i standard ASME sec.V, art.25.
3. Kontrastfarge av type Tiede 695.1, Bycotest 104A eller tilsvarende. Tyntflytende, hurtigtørkende maling kan også benyttes.
4. Rensvæske av type Tiede 695.5, Bycotest C10 eller tilsvarende.

8. KONTROLL AV UTSTYR OG PROSESS

8.1 Periodisk kontroll

Strømaggregater og måleutstyr for feltstyrke og lysforhold skal være underlagt et system for periodisk kontroll.

8.2 Visuell kontroll

Før magnetpulverkontrollen begynner skal det foretas en visuell kontroll av utstyret for å avdekke eventuelle skader på kabler, klemmer og måleinstrumenter.

8.3 Kontroll av UV-lampe

UV-lampen skal være i stand til å yte en intensitet på minst 1500 $\mu\text{W}/\text{cm}^2$ på overflaten av objektet når lampen holdes i den avstand (350-400 mm) som skal benyttes under prøvingen.

8.4 Funksjonstest

Magnetpulver og prøvemethode skal sjekkes med et referanseobjekt med kjent sprekkemønster. Til dette kan det for eksempel benyttes Castrol-strips.

9. UTFØRELSE AV PRØVING

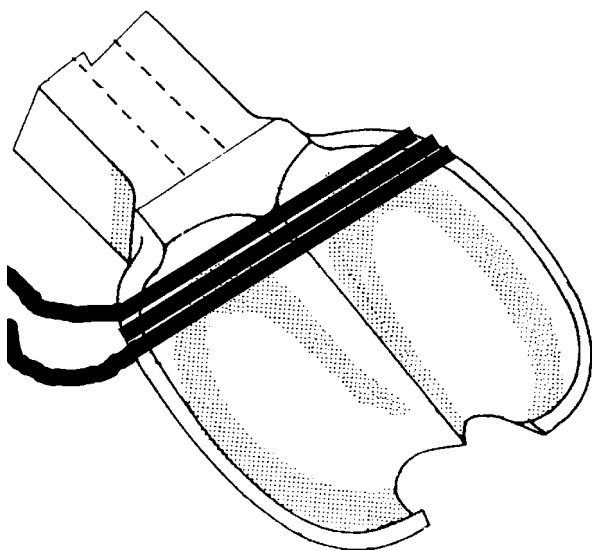
9.1 Viklet kabel

- Kabel vikles i 3 viklinger som legges tettest mulig inntil hverandre og objektet. Se fig.1 for illustrasjon. Søkeområde er fra senter av viklingene til 50 mm utenfor senter av ytterste vikling.
- Detekterbare feil vil ligge fra 0 til 45 grader på kabelretningen.
- For å sikre deteksjonsmulighet for alle sprekkorienteringer skal det vikles i to retninger normalt på hverandre. F.eks. kan hele skovlen avses med viklinger normalt på skovleggens retning (fig. 1) og deretter kan skovlen avses med viklinger tilnærmet parallelt med eggretningen (fig.2).
- Følgende skal tilfredsstilles:
 - Feltstyrken på tangentialfeltet skal overstige 4,0 kA/m (toppverdi)⁶ i hele området fra 0 - 50 mm fra senter av ytterste vikling eller

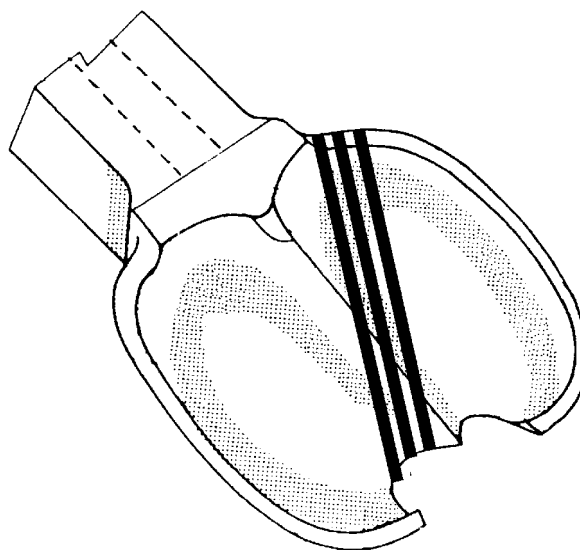
⁶ For AC vil rms-verdi være ca. 2,8 kA/m. For HWDC vil rms-verdi være ca. 2 kA/m og halvverdi ca. 1,3 kA/m.

Vedlegg 1. Magnetpulverprøving med bruk av kabelmagnetisering

- $I \times N$ (effektiv strømstyrke multiplisert med antall viklinger) skal overstige $11 \text{ kA/m} \times \text{diameter (toppverdi)}^7$ på spoleviklingen (tilsvarende $3,5 \text{ kA/m} \times \text{omkrets, ved toppverdi}^8$).
- For å sikre 100 % avsøk av inspeksjonsområdet skal det overlappes 10 % ved hver forflytning av viklingene.



Figur 1



Figur 2

9.2 Strukket kabel

- Kabelen strekkes rett. Påse god kontakt med objektets overflate. Unngå sløyfer på kabelen (langs hele kabelen) for å unngå tap av strømstyrke. Søkeområde er fra 0 - 50 mm fra senter av kabel.
- Detekterbare feil vil ligge fra 0 til 45 grader på kabelretningen. For å sikre deteksjonsmulighet for alle sprekkorienteringer skal kabelen legges i to retninger normalt på hverandre.
- Følgende skal tilfredsstilles:
 - $I = 30 \times d$. Dvs. strømstyrkens toppverdi skal minst være avstanden fra kabelsenter (i mm) multiplisert med 30. 50 mm bredde på inspeksjonsområdet krever altså 1500 A toppverdi⁹.
- For å sikre 100 % avsøk av inspeksjonsområdet skal det overlappes 10 % ved hver forflytning av kabelen.

10. BEDØMMELSE AV INDIKASJONER

Kriterier for bedømmelse av indikasjoner vil være som beskrevet i cch 70-3 (ref. 2).

11. AKSEPTKRITERIER

Akseptkriteriene vil være som gitt i "Teknisk bakgrunn", kap. 5 (ref. 3).

⁷ For AC vil rms-verdi være ca. 8 kA/m. For HWDC vil rms-verdi være ca. 5,5 kA/m og halvverdi ca. 3,5 kA/m.

⁸ For AC vil rms-verdi være ca. 2,5 kA/m. For HWDC vil rms-verdi være ca. 1,75 kA/m og halvverdi ca. 1,1 kA/m.

⁹ For AC vil rms-verdi være ca. 1000 A. For HWDC vil rms-verdi være 750 A og halvverdi ca. 500 A.

12. AVMAGNETISERING/ETTERRENGJØRING

Hvis avmagnetisering skal utføres, gjøres dette ved å spolemagnetisere med strømstyrke høyere enn styrken benyttet under ordinær magnetisering (evt. maksimal strømstyrke hvis ordinær styrke ikke kan overskrides), og deretter skru strømstyrken sakte til null. En rengjøring skal utføres som avslutning på kontrollen.

13. RAPPORTERING

- Nordtest-formular, Statkraft-formular eller tilsvarende.
- Indikasjoner skal merkes av på skisse som skal følge rapporten. Her skal angis posisjon, størrelse og feiltype.
- Det skal være mulig til enhver tid å identifisere prøverapport, komponent og prøveobjekt.

VEDLEGG 2. VIRVELSTRØMPRØVING MED BRUK AV IMPEDANSPLANINSTRUMENT

Innhold

1.	Hensikt.....	28
2.	Referansedokumenter	28
3.	Personell	28
4.	Objekt	28
5.	Krav til overflate.....	28
6.	Utstyr	28
6.1	Apparater.....	28
6.2	Prober	28
6.3	Referanseblokker	29
7.	Kontroll av utstyr og prosess	29
7.1	Periodisk kontroll.....	29
7.2	Visuell kontroll	29
7.3	Kontroll under prøving.....	29
8.	Utførelse av prøving	29
8.1	Tykkelsesmåling	29
8.1.1	Utstyr	29
8.1.2	Fremgangsmåte ved tykkelsesmåling	29
8.2	Feilsøking.....	30
8.2.1	Utstyr	30
8.2.2	Kalibrering.....	30
8.2.3	Fremgangsmåte ved feilsøking	30
8.3	Identifisering/verifisering av sveisereparerte områder.....	31
8.3.1	Generelt	31
8.3.2	Utstyr	31
8.3.3	Fremgangsmåte ved lokalisering av sveisereparerte områder	31
8.3.4	Fremgangsmåte ved verifikasjon av materialforandring pga. sveisereparasjoner	31
9.	Bedømmelse av indikasjoner ved feilsøking.....	31
9.1	Lokalisering, bestemmelse av feilens lengde, retning.....	31
9.2	Bestemmelse av feilens dybde	31
10.	Akseptkriterier	32
11.	Rapportering	32

1. HENSIKT

Virvelstrømprøvingen skal utføres for å

- Påvise sprekker og lineære materialfeil i ferromagnetiske materialer i Peltonløpehjul.
- Måle ikke-elektrisk-ledende belegg opp til og med 2,5 mm tykkelse.
- Identifisere og verifisere sveisereparerte områder som kan gi falske identifikasjoner ved annen inspeksjon og prøving.

2. REFERANSEDOKUMENTER

- Nordtest NT NDT 011 (1992) eller en tilsvarende internasjonalt anerkjent standard for prøving av støpte, smidde og maskinerte komponenter.
- CCH 70 - 3.
- Robit Teknisk rapport 1999: TR041990, Teknisk bakgrunn for NDT Brukermanual.

3. PERSONELL

Personell som skal utføre virvelstrømprøving etter denne metode skal være sertifisert iht. EN 473/Nordtest nivå 2.

4. OBJEKT

Prøveprosedyren skal benyttes ved prøving av martensittisk rustfritt støpestål.

5. KRAV TIL OVERFLATE

Overflaten skal være fri for skitt, fremmedlegemer eller annet som kan virke forstyrrende på en tilfredsstillende prøving.

6. UTSTYR

6.1 Apparater

Det skal benyttes impedansplaninstrument av type Hocking AV100SE, Hocking Phasec 2200, Hocking MiniPhasec eller tilsvarende. Apparatene må svare til følgende spesifikasjoner:

- Presentasjon i form av katodestrålerør eller LCD-skjerm.
- Frekvensområde som minst dekker fra 100 Hz - 5 MHz (anbefalt frekvens, se pkt. 6.2 Prober).
- Følsomhet (forsterkning) må kunne kalibreres i steg på 1 dB, fra 20 - 70 dB.
- Fasevinkelkontroll som gjør det mulig å rotere signalet 360° på skjermen.

6.2 Prober

- Ved inspeksjon av skovlenes flater, både kurvete og plane, skal sveiseprobe (probe med liten følsomhet for lift-off) benyttes. Proben skal kunne operere i frekvensområdet rundt 100 kHz, og være av typen Hocking HNDT 800P04 eller tilsvarende.
- Ved verifisering av sveisereparerte områder, for å avkrefte falske indikasjoner skal det benyttes en absoluttprobe for overflate. Proben skal kunne operere i frekvensområdet rundt 500 kHz.

Vedlegg 2. Virvelstrømprøving med bruk av impedansplaninstrument

- Ved tykkelsesmåling av overflatebelegg kan benyttes probe tilsvarende overflateproben nevnt ovenfor. Krav til proben er at den skal frembringe et lift-off-signal som slår ut over halve skjermen ved føring av probe fra materiale uten belegg til område med maksimum beleggtykkelse.

6.3 Referanseblokker

- Referanseblokkene som brukes skal gi samme signalrespons som prøveobjektet og ha en representativ overflate i forhold til prøveobjektet.
- Referanseblokkene skal være utstyrt med feil av samme type som det søkes etter.
- Dybden på sporene i referanse blokken bør være 0,2 mm, 0,5 mm, 1,0 mm. Bredden på sporene bør ikke være mer enn 0,2 mm.
- Til bruk på martensittisk rustfrie stål anbefales kalibreringsblokk av type Hocking HNDT 29A028 eller tilsvarende.
- Hvis referanseblokken ikke er utstyrt med ark av ikke-ledende belegg for kontroll av beleggtykkelser, kan plastremser av kjent tykkelse, f.eks. strimler av overheadtransparenter med tykkelse 0,1 mm, stiftes sammen slik at ulike beleggtykkelser kan simuleres.

7. KONTROLL AV UTSTYR OG PROSESS

7.1 Periodisk kontroll

Apparater og prober skal være underlagt et system for periodisk kontroll.

7.2 Visuell kontroll

Før virvelstrømprøvingen begynner skal det foretas en visuell kontroll av utstyret for å avdekke eventuelle skader på apparat, prober og kabler.

7.3 Kontroll under prøving

Kalibrering og innstilling som beskrevet i pkt. 8, skal utføres minimum hver time og etter hver gang utstyret har vært ute av drift eller frakoblet.

8. UTFØRELSE AV PRØVING

8.1 Tykkelsesmåling

8.1.1 Utstyr

- Apparat som spesifisert i pkt. 6.1.
- Overflateprobe som spesifisert i pkt. 6.2.
- Referanseblokk og ikke-ledende materiale som spesifisert i pkt. 6.3.

8.1.2 Fremgangsmåte ved tykkelsesmåling

- Velg passende frekvens (avmerket på probe, sannsynligvis rundt 500 kHz).

Vedlegg 2. Virvelstrømprøving med bruk av impedansplaninstrument

- Balanser proben i luft. Plasser proben på materialet og skru ned forsterkning til signalet er inne på skjermen.
- Plasser proben på utvalgte steder på prøveobjektet. Noter utslagene og posisjonene. Posisjonen med det minste utslaget vil være stedet med det tykkeste belegget.
- Plasser proben på referanseblokken og legg referansebelegg imellom til utslaget tilsvarer utslaget fra prøveobjektet med det tykkeste belegg. Noter tykkelse på belegg.

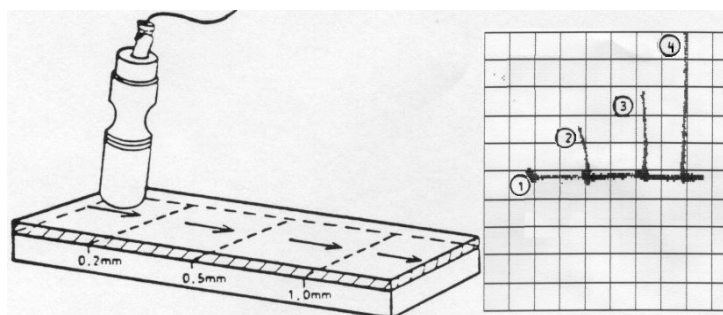
8.2 Feilsøking

8.2.1 Utstyr

- Apparat som spesifisert i pkt. 6.1.
- Sveiseprobe som spesifisert i pkt. 6.2.
- Referanseblokk og ikke-ledende materiale som spesifisert i pkt. 6.3.

8.2.2 Kalibrering

- Velg passende frekvens (avmerket på probe, sannsynligvis rundt 100 kHz).
- Plasser proben på kalibreringsblokken, vekk fra alle spor.
- Balanser signalet midt på skjermen.
- Før proben over sprekken med dybde 1,0 mm og juster fasen slik at utslaget slår rett opp (90°). Pass på å føre proben over sprekken med probens lange, flate side parallelt med sprekke retningen. Balanser proben på nytt.
- Før proben på nytt frem og tilbake over sprekken med dybde 1,0 mm og juster forsterkningen til utslaget når full skjermhøyde.
- Før proben over alle sprekken i kalibreringsblokken og noter størrelsen på utslagene. Skjermen vil se ut tilnærmet som på figur 1.



Figur 1. Utslag av forskjellige sprekkybder. Bildet er justert horisontalt mellom målingene.

1. Balansert på referanseblokk.
2. Utslag fra 0,2 mm dyp sprekke.
3. Utslag fra 0,5 mm dyp sprekke.
4. Utslag fra 1,0 mm dyp sprekke.

8.2.3 Fremgangsmåte ved feilsøking

- Proben skal føres slik at hele området som skal kontrolleres blir avsøkt 100 %.
- Proben skal føres både langs med, 90 grader på tvers av og 45 grader på tvers av kontrollområdet for å sikre deteksjon av sprekker i alle retninger.

Vedlegg 2. Virvelstrømprøving med bruk av impedansplaninstrument

- Dersom det er nødvendig å benytte et underlag, f.eks. plastfolie ved avsøkning pga. overflatebelegg, skal dette også benyttes ved kalibreringen av utstyret. Under inspeksjon skal det skal benyttes plastfolie tilsvarende det tykkeste belegget som ble målt ved tykkelsesmålingen.

8.3 Identifisering/verifisering av sveisereparerte områder.

8.3.1 Generelt

Sveisereparerte områder vil ha materialeegenskaper som kan gi signaler med sprekklignende karakteristikk. Her vil det imidlertid være snakk om et større område som vil være større enn en sprekks utstrekning. Ved mistanke om falske indikasjoner pga. sveisereparert område benyttes fremgangsmåten beskrevet nedenfor.

8.3.2 Utstyr

- Apparat som spesifisert i pkt. 6.1.
- Overflateprobe som spesifisert i pkt. 6.2.

8.3.3 Fremgangsmåte ved lokalisering av sveisereparerte områder

- Finn rett frekvens for proben (rundt 500 kHz).
- Balanser proben på et feilfritt område på prøveobjektet. Juster forsterkning og lift-off.
- Før proben inn på området som antas sveisereparert fra alle kanter for å lokalisere hele området. Følg signalet.
- Avmerk området der signalet avviker. Sammenlign med evt. tilgjengelig historikk for verifikasjon av at området er tidligere sveisereparert.
- Pga. at materialeegenskapene gir signaler som kan maskere indikasjoner fra sanne feil, kan området evt. kontrolleres med penetrantprøving.

8.3.4 Fremgangsmåte ved verifikasjon av materialforandring pga. sveisereparasjoner

- Balanser proben i luft. Finn rett følsomhet (juster forsterkning).
- Sett proben ned på feilfritt område. Noter retningen på utslaget.
- Sett proben ned på utvalgte steder innenfor området som antas sveisereparert. Noter retningene på utslagene. Ved tydelige avvik i utslagsretninger, er materialendringer verifisert.

9. BEDØMMELSE AV INDIKASJONER VED FEILSØKING

9.1 Lokalisering, bestemmelse av feilens lengde, retning

Feilens lengde måles fra det stedet hvor avvik starter. Dette avmerkes på prøveobjektet. Proben føres så i den retning hvor defekten påvises, til avviksignalet ikke lenger registreres, som også merkes på prøveobjektet.

9.2 Bestemmelse av feilens dybde

Feilens dybde finnes ved å interpolere mellom de kjente utslagsstørrelsene fra kalibreringen.

10. AKSEPTKRITERIER

Akseptkriteriene vil være som angitt i kap.2 i manualen.

11. RAPPORTERING

Generelt skal rapporteringen sikre full sporbarhet og repeterbarhet. Hvis ikke annet er avtalt bør rapporten minst inneholde:

- Prøveobjekt
 - Materiale (helst sertifikat)
 - Overflatebeskrivelse
 - Referanse til historikk
- Utstyr
 - Apparater
 - Prober
 - Referanseblokker
- Dokumentasjon
 - Prosedyrereferanse
 - Kode-/standardreferanse
 - Akseptkriterier
 - Tegningsreferanser
 - Objektidentifikasjon
 - Dato for inspeksjonen
- Rapportering av relevante indikasjoner
 - Apparatinnstillinger
 - Beskrivelse av signal i forhold til akseptkriterier
 - Lokalisering (skisser, foto e.l.)

VEDLEGG 3. ULTRALYDPRØVING MED BRUK AV KRYPBØLGETEKNIKK

Innhold

1.	Hensikt	34
2.	Referansedokumenter	34
3.	Personell	34
4.	Objekt	34
5.	Krav til overflate	34
6.	Utstyr	34
6.1	Apparat	34
6.2	Prober	34
6.3	Referanseblokker	34
7.	Kontroll av utstyr og prosess	35
7.1	Periodisk kontroll	35
7.2	Visuell kontroll	35
7.3	Kontroll under prøving	35
8.	Utførelse av prøving	35
8.1	Innstilling av avstandsskala	35
8.2	Innstilling av forsterkning	35
8.3	Avsøking	35
8.4	Alternativ avsøking	36
9.	Bedømmelse av indikasjoner ved feilsøking	36
9.1	Bestemmelse av feilens posisjon	36
9.2	Bestemmelse av feilens dybde	36
9.3	Bestemmelse av feilens størrelse	36
10.	Akseptkriterier	36
11.	Rapportering	36

1. HENSIKT

Ultralydprøvingen skal utføres for å

- Påvise sprekker og plane materialfeil beliggende i overflaten og ned til 5 mm under overflaten i Peltonløpehjul.
- Akseptkriteriene i kapittel 10 er basert på å kunne detektere plane feil vinkelrett på overflaten med en størrelse på 2x2 mm (beliggende inntil 5 mm under overflaten).

2. REFERANSEDOKUMENTER

- Handbook On the Ultrasonic Examination of Austenitic Welds. IIW 1986

3. PERSONELL

Personell som skal utføre ultralydprøving etter denne metode skal være sertifisert iht. EN 473/Nordtest nivå 2 sektor 7 (inklusive sveis). Det kreves, i tillegg, spesifikk opplæring innen bruken av trykkbølge-vinkellydhoder (deriblant krypbølgelydhode).

4. OBJEKT

Prøveprosedyren skal benyttes ved prøving av Peltonløpehjul i martensittisk rustfritt støpestål.

5. KRAV TIL OVERFLATE

Overflaten skal være fri for skitt, fremmedlegemer eller annet som kan virke forstyrrende på en tilfredsstillende prøving.

6. UTSTYR

6.1 Apparat

Det skal benyttes standard ultralydapparat for manuell prøving, type Krautkrämer USN 52 (eller USK 7), Panametric Epoch III eller tilsvarende.

6.2 Prober

Det skal benyttes probe av type:

- SM krypbølgelydhode (trykkbølgelydhode med stor lydinkel), 4 MHz, type RTD Creep.Wave TRCr2-Aust (2(6x13) krystaller) FS10/, eller tilsvarende krypbølgelydhode
- SM 70 graders trykkbølgelydhode type RTD TRL4 FS20, kan være et alternativt lydhode å benytte for feil som ligger minst 3-4 mm under overflaten.

6.3 Referanseblokker

- En trappeblokk skal være tilgjengelig for justering av avstandskala på ultralydapparatets skjerm. Fullt skjermbilde fra 0-10 mm og opp til 0-50 mm må kunne innstilles med trappeblokken.

Vedlegg 3. Ultralydprøving med bruk av krypbølgeteknikk

- En referanseblokk med sylinderboringer skal være tilgjengelig for kalibrering av forsterkning. Blokken skal inneholde minst 2 boringer med diameter Ø1mm, den ene i dybde 2 mm (ned til senter av hull) og den andre 4 mm under overflaten.

7. KONTROLL AV UTSTYR OG PROSESS

7.1 Periodisk kontroll

Apparat og prober skal være underlagt et system for periodisk kontroll.

7.2 Visuell kontroll

Før prøvingen begynner skal det foretas en visuell kontroll av utstyret for å avdekke eventuelle skader på apparat, prober og kabler.

7.3 Kontroll under prøving

Kalibrering og innstilling som beskrevet i pkt. 8, skal utføres minimum hver annen time og etter hver gang utstyret har vært ute av drift eller frakoblet.

8. UTFØRELSE AV PRØVING

8.1 Innstilling av avstandsskala

Ved hjelp av trappeblokk innstilles avstandsskala slik at mest mulig av skala utnyttes med det valgte lydhodet. Deretter avmerkes på skjerm der hvor ekko fra Ø1 mm hullene i dybde 2 mm og 4 mm kommer opp. Dette kan benyttes til å anslå dybde på funn.

8.2 Innstilling av forsterkning

Ekko fra Ø1 mm hull i dybde 2 mm setter til ca. 80% av full skjermhøyde. Noter denne referanse- forsterkning. Noter også ekkohøyde fra Ø1 mm hull i dybde 4 mm. Dersom ekko fra hullet i 4 mm dybde ikke avviker vesentlig fra ekkosignalet til hullet i 2 mm dybde, er det ment som en bekreftelse på at feil ned til 4-5 mm kan finnes.

Dersom et 70 graders lydhode benyttes, skal Ø1 mm boring i 4 mm dybde benyttes som referanse.

8.3 Avsøking

Rekkevidden til krypbølgelydhodet er typisk ikke mer enn 10 mm utenfor lydhodehuset. Det krever derfor detaljert avsøking i alle retninger (minst 0°, 30°, 60°, 90° i forhold til en plan feils flate) for å finne feil i vilkårlig retning.

8.4 Alternativ avsøking

Krypbølgebølghodet er mest følsomt for sprekker opp mot overflaten. For feil beliggende minst 3-4 mm under overflate, kan en alternativ avsøking gjøres med et 70 graders trykkløsbølgebølghode. Boringen beliggende på 4 mm dybde bør da benyttes som referansereflektor.

9. BEDØMMELSE AV INDIKASJONER VED FEILSØKING

9.1 Bestemmelse av feilens posisjon

Feilens posisjon skal anslås til å være under fronten til lydhodet og inntil ett par mm foran selve lydhodehuset.

9.2 Bestemmelse av feilens dybde

Feilens dybde kan grovt anslås ut fra beliggenheten til referansehullenes ekko på skjerm.

9.3 Bestemmelse av feilens størrelse

Feilens størrelse baserer seg på dB i forhold til referansen (som er Ø1 mm hull i 2 mm dybde).

10. AKSEPTKRITERIER

- Ekko fra feil som overstiger - 14 dB i forhold til referansen (Ø1 mm boring i 2 mm dybde), funnet med krypbølgebølghodet, aksepteres ikke.
- Ekko fra feil som overstiger - 14 dB i forhold til referansen (Ø1 mm boring i 4 mm dybde), funnet med 70-graders-lydhodet, aksepteres ikke.

11. RAPPORTERING

Generelt skal rapporteringen sikre full sporbarhet og repeterbarhet. Hvis ikke annet er avtalt bør rapporten minst inneholde:

- Prøveobjekt
 - Materiale (helst sertifikat)
 - Overflatebeskrivelse
 - Referanse til historikk
- Utstyr
 - Apparater
 - Prober
 - Referanseblokker
- Dokumentasjon
 - Prosedyrereferanse
 - Kode-/standardreferanse
 - Akseptkriterier
 - Tegningsreferanser
 - Objektidentifikasjon
 - Dato for inspeksjonen

Vedlegg 3. Ultralydprøving med bruk av krypbølgeteknikk

- Rapportering av relevante indikasjoner
 - Apparatinnstillinger
 - Beskrivelse av signal i forhold til akseptkriterier
 - Lokalisering (skisser, foto e.l.)