

Tilstandskontroll for utstyr i kraftverksvannveien

Forfatter: Ragnar Hartmann, Statkraft Engineering as

17.01.96

Dette manuskript er betalt av Energiforsynings Fellesorganisasjon (EnFO) og kan fritt benyttes ved alle EnFOs nåværende og fremtidige kurs. Bruk til andre formål, omarbeidelser eller viderebearbeiding, krever forfatters godkjenning. Statkraft Engineerings eventuelle bruk av manuskriptet skal ikke skje slik at dette kommer i konkurranse med EnFOs virksomhet. Privatpersoner har anledning til å ta enkeltkopier når formålet er egen opplæring. Ved kopiering ut over dette for andre enn EnFO, Statkraft Engineering eller forfatter, må tillatelse på forhånd være innhentet fra EnFO.

Innholdsfortegnelse.

	Side
1. Hensikt og målsetting for dokument.	1
2. Tilstandskontroll: Hensikt og elementer.	2
3. Tilstandskontroll (tilsyn) iht. NVEs krav.	4
4. Tilstandskontrollhåndbok.	8
5. Tilstandskontrollfrekvens.	11
6. Planlegging av inspeksjoner og prøver.	13
7. Risiko ifm. tilstandskontroll.	14
8. Spesielle kontrollmetoder.	17
9. Automatisert tilstandskontroll.	18

1. Hensikt og målsetting for dokument.

Manuskriptet er laget i tilknytning til et kurs om luker, ventiler, rør og varegrinder. Målsettingen er å gi innblikk i hvorfor tilstandskontroll utføres, bestemmelser vedr. kontroll av utstyr underlagt offentlig vassdragstilsyn, fastleggelse av inspeksjonsintervall, planlegging av tilstandskontroll og ulike tilstandskontrollmetoder. Det gis generell orientering om forhold som kan være av interesse når plan for tilstandskontroll skal utarbeides, og det vises til behandling av det aktuelle tema gitt i "Tilstandskontroll av vannkraftverk. Håndbok: Vannvei."

Målgruppe er personell ved vannverk og i kraftforsyning.

2. Tilstandskontroll: Hensikt og elementer.

Hovedmålet med tilstandskontroll er at den skal være et verktøy for å oppnå nødvendig sikkerhet, tilgjengelighet og god økonomi. Aktuelle delmål gjengis nedenfor. For størstedelen dreier aktivitetene seg om å kartlegge utstyrs, konstruksjoners og elementers tilstand, i mindre grad om å bestemme parametre for den aktuelle driftstilstand.

- Undersøkelse av aktuell funksjonsevne, ev. etterprøving av leverandørgaranti.
- Underlag for langsiktig vedlikeholds-/rehabiliteringsplan.
- Undersøkelse ved planlegging av konkret vedlikeholdstiltak, for å bestemme nødvendighet og omfang.
- Overvåkning av driftstilstand.
- Dokumentasjon av sikkerhet.
- Underlag for verdifastsettelse.
- Ledd i leverandørs produktutvikling, ev. salg av vedlikeholdstjenester.

Elementer som et større grundig tilstandskontrollarbeid vanligvis kan inndeles i, blir:

- Studie av dokumentasjon.
- Planlegging av tilstandskontrollen.
- Analyser og beregninger.
- Inspeksjon: Kartlegging av skade, ev. skadeutvikling. Målinger/registreringer.
- Funksjonsprøver.
- Analyse og tolkning av resultater.
- Vurdering av aktuelle tiltak.
- Tilstandsrapport med aktuelle anbefalinger.

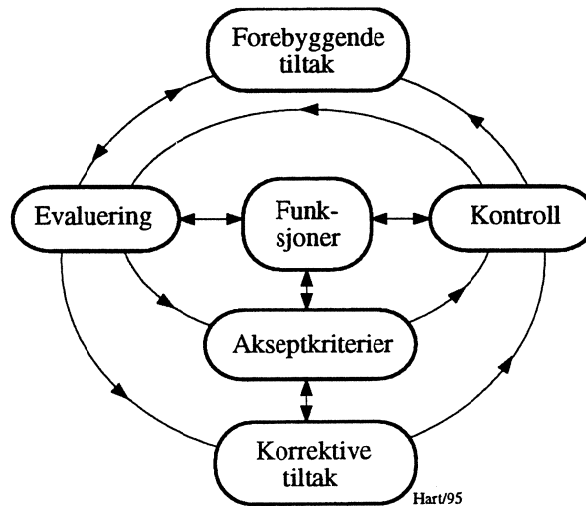
I noen tilfeller kan det bli spørsmål om å benytte mer eller mindre kontinuerlig loggende tilstandskontrollsystemer. Slike systemer er imidlertid mest vanlig for turbiner, mindre aktuelt for stenge-/tappeorganer og rør. I den grad de her kommer til anvendelse, dreier det seg fortrinnsvis om systemer for overvåkning av driftstilstand.

For mange vil det ved utarbeidelse av et opplegg for tilstandskontroll være aktuelt å basere systemet på en eller annen form for dokumentasjon. Her kan det vises til:

- Underlag for drift og vedlikehold fra leverandør.
- Forskrifter og retningslinjer fra NVEs Sikkerhetsavdeling.
- EnFO-håndbok: Tilstandskontroll av kraftverk.
- Litteratur og kurs.

Tradisjonell fremgangsmåte ved tilstandskontroll har vært å inspisere utstyr/konstruksjon og registrere alle avvik fra nytilstand. Mange utfører fortsatt tilstandskontroll iht. dette prinsippet.

Mer dynamisk blir systemet når tilstandskontroll koples mot objektets funksjoner. Avdekkes avvik, blir spørsmålet hvilken konsekvens dette har for funksjonene. Objektets funksjoner vil ved dette være bestemmende for fastleggelsen av kontroll, evalueringsmetodikk og akseptkriterier. Det kan også tenkes at resultater fra de tre elementene får betydning for objektfunksjonene slik at utvidelse eller begrensning her nødvendiggjøres. Hånd i hånd med dette vil det være aktuelt med vedlikehold, dels forebyggende dels korrektive tiltak. Et forsøk på å fremstille dette grafisk er vist i figur 2.1.



Figur 2.1: Funksjonsfokusert tilstandskontroll som ledd i kontinuerlig prosess.

Av funksjoner vil noen være åpenbare, mens andre blir mindre fremtredende. For en revisjonsluke er to åpenbare funksjoner at luken i stengt posisjon må tåle aktuelt vanntrykk og at den skal være tett. Som regel er det for revisjonsluker også melde- og vernefunksjoner, eksempelvis "stengt luke" og "hindre kjøring av luke i tak". Et system for "kategorisering" av ulike funksjoner refereres nedenfor

Hovedfunksjoner:	Funksjoner som medførte at objektet ble installert. (Luke avgrenser tømt vannvei.)
Tilleggsfunksjoner:	Funksjoner som er nødvendige for hovedfunksjon. (Luke kan manøveres til stengt posisjon.)
Informasjonsfunksjoner:	Funksjoner som omfatter tilstandsovervåking, alarm, etc. (Melding om at luke står i stengposisjon.)
Vernefunksjoner.	Funksjoner som hindrer eller begrenser skade. (Luke kan ikke kjøres i taublokk.)
Andre funksjoner.	Ulike funksjoner som ikke har betydning for hovedfunksjonene. (Luke skal sammen med øvrige konstruksjoner utgjøre en estetisk helhet, luke skal ved vedlikeholdsarbeid være fundament for arbeidsstillinger.)

3. Tilstandskontroll (tilsyn) iht. NVEs krav.

"Forskrifter for tilsyn med anlegg i vassdrag" (Tilsynsforskriften) definerer i § 1 "Omfang" de anlegg og konstruksjoner som denne omfatter. For maskinteknisk utstyr kan følgende refereres:

- Etablerte og nye frittliggende trykkrør med største diameter på mellom 0,4 m og 1,0 m og mulighet for statisk vanntrykk på minst 100 mVS.
- Etablerte og nye frittliggende trykkrør med største diameter på minst 1,0 m og mulighet for statisk vanntrykk på minst 40 mVS.
- Etablerte og nye frittliggende trykkrør som ikke dekkes av foran angitte punkter med største diameter minst 0,4 m, som har mulighet for statisk vanntrykk på minst 40 mVS og som på grunn av sin beliggenhet eller utførelse kan fremby fare for liv eller eiendom, eller medføre ulempe for offentlig eller allmenne interesser.
- Etablerte og nye stenge-/tappe-organer med lysåpningsareal på minst 1,0 m², og med mulighet for statisk vanntrykk på minst 4,0 mVS.
- Etablerte og nye stenge-/tappe-organer med lysåpningsareal på minst 0,2 m², og med mulighet for statisk vanntrykk på minst 100 mVS.

I tillegg gjelder Damforskriftene. Fra punkt 1.3 i disse forskrifter siteres:

- Forskriftene gjelder for dammer hvor vanntrykket, definert som høyden fra laveste punkt av damfundamentet ved oppstrøms side av tetningen til høyeste regulerte vannstand, er større enn 4 m, eller hvor oppdemmet vannvolum er over 0,5 mill. m³. De gjelder også for tilhørende konstruksjoner som flomløp, tappeanordninger, terrengsikringer m.v.

Med hjemmel i Tilsynsforskriften har NVE i retningslinjen "Tilsynsprogram for anlegg i vassdrag" fastsatt krav ifm. med den tilstandskontroll som skal utføres for konstruksjoner og utstyr underlagt "offentlig vassdragstilsyn".

I Damforskriftene er det dessuten bestemmelser om at anleggseieren skal ha systemer som sikrer pålitelig funksjon for konstruksjoner og utstyr over tid. I tillegg gir Damforskriftene NVE myndighet til å fastsette kompetansekrav for den som i det daglige har ansvaret for anleggsdelenes sikkerhet. Det kan derfor oppfattes slik at retningslinjen "Tilsynsprogram for anlegg i vassdrag" gjelder alle konstruksjoner og alt utstyr som omfattes av Tilsynsforskriften, og at den kan, dersom NVE ønsker det, også gjøres gjeldende utenfor nevnte forskrifts myndighetsområde så lenge Damforskriftene kommer til anvendelse.

Et spørsmål mange har stillt seg, er om stengeventiler foran turbiner omfattes av Tilsynsforskriften. Praksis har vært at disse defineres som del av turbinsystemet. Ettersom turbiner ikke omfattes av Tilsynsforskriften, faller følgelig også tilhørende ventiler utenom. På den annen side varierer konsesjonsvilkårene fra kraftverk til kraftverk. I enkelte tilfeller er således turbiner iht. nevnte vilkår likevel underlagt NVEs tilsyn. Det må dessuten påpekes at det ikke er grunn til at oppfølgingen av et turbinsystem skal være dårligere enn oppfølgingen av andre installasjoner i vannveien, snarere tvert om.

Hovedkonklusjonene i retningslinjen "Tilsynsprogram for anlegg i vassdrag" er at anleggseieren gjøres ansvarlig for eget utstyrs tilstand og skal som ledd i sitt internkontrollsystem ha et "tilsynsprogram" for styring av tilstandskontrollen (internkontroll). I anleggseierens organisasjon har øverste leder ansvaret for at tilsynsprogrammet blir utarbeidet, oppdatert og gjennomført. Dessuten skal det være utpekt en "vassdragsteknisk ansvarlig" (VTA) med faglig og operativt ansvar. Til alt involvert personell stilles det kompetansekrav som i en viss grad avhenger av vassdragsanleggets klassifisering (Retningslinje: "Klassifisering av vassdragsanlegg"). Kompetanseoversikten nedenfor er hentet fra prosjektrapport "Internkontroll av vassdragsanlegg" publisert av NVE i oktober 1993.

Klasse	Vassdragsteknisk ansvarlig (VTA)	Leder	Driftspersonell	Den som utfører hovedtilsyn.
1	Sivilingeniør med relevant utdanning. Minimum 3 års allsidig praksis.	Kjennskap til formelt ansvar, sikkerhetsfilosofi, beredskaps- og krisehåndtering.	Generell kunnskap om dammer og damtilsyn. Kunnskap om egne anlegg.	Utdanningse: - Sivilingeniør (ingeniør) med relevant fagkrets. - Spesialkompetanse innen fagområdet. Praksis: - Bred erfaring innen fagområdet.
2	Ingeniør med relevant utdanning. Minimum 3 års allsidig praksis.			
3	Ingeniør. Minimum 3 års allsidig praksis.			

Hart/95

Figur 3.1: Kompetansekrav fastlagt av NVE.

Om tilsynsprogrammet heter det at dette skal inneholde en god og fyldig dokumentasjon og samtidig være brukervennlig. Således er det hensiktsmessig at det henvises til en del av dokumentasjonen fremfor at denne innarbeides som del av tilsynsprogrammet. På den annen side sies det også at tilsynsprogrammet bør inneholde en fullstendig og ajourført oversikt over:

- Tillatelser, konsesjoner, reglementer og andre bestemmelser av betydning for tilsynet.
- All aktuell informasjon om anleggsdelene (eventuelt med henvisninger). Det bør foreligge oppdaterte oversiktstegninger (grunnriss, oppriss og typiske snitt) og beregninger.

- Henvisninger til aktuelle geologiske, geotekniske, hydrologiske og hydrauliske data.
- Tilsynsrapporter med tilgjengelig foto- og videodokumentasjon.
- Alle målesystemer for overvåkning av anleggenes sikkerhet og program for målinger med måleintervall og akseptgrenser.
- Spesielle problemer det er viktig å sikre kontinuerlig oppfølging av.
- Spesielle historiske data om eksempelvis deformasjoner og lekkasjer.

Ordlyden i retningslinjen avviker imidlertid noe fra de krav NVE i forannevnte prosjektrapport angir for hva tilsynsprogrammet hovedsakelig skal gjøre rede for. Dette er:

- Ansvars og kommandoforhold.
- Tilsynets omfang.
- Type og nivå av tilsyn.
- Tidsterminer for tidsbasert tilsyn og kriterier for tilstands og situasjonsbestemt tilsyn.
- Kompetanse.
- Rapporteringsrutiner.

For gjennomføringen av tilstandskontrollen angir retningslinjen ulike "nivå". Disse er: Driftstilsyn, periodisk tilsyn, hovedtilsyn, hovedtilsyn med revurdering og spesielt tilsyn. For de enkelte tilsyn har retningslinjen krav som angitt nedenfor. Det gjøres oppmerksom på at tilføyelser omsluttet av parentes er undertegnede kommentarer.

Driftstilsyn.

- Utførende: Kvalifisert driftspersonell med god oversikt over anleggene.
- Hyppighet: Kontinuerlig. (I praksis vil det her avhengig av stedlige forhold kunne bli intervall på 1 uke til noen måneder. Eksempelvis vil man neppe vinterstid gjøre driftstilsyn av luker ved bekkeinntak i høyfjellet.)
- Metode: Inspeksjon.
- Omfang: Tilstandskontroll av anlegget. (Dette må forstås som kontroll av at åpenbare skader ikke er påført de deler av konstruksjonen utstyret som er lett tilgjengelig, at eventuell strømtilførsel er i orden, at det ikke er lett avdekkbare forhold som gir problemer for aktuelle funksjoner og at lukehus, tunnelåpninger, etc. er forsvarlig sikret og avlåst.)
- Rapportering: Avvik rapporteres skriftlig til VTA.

Periodisk tilsyn.

- Utførende: Kvalifisert driftspersonell / VTA. Dette (personellet) vurderes mot anleggets kompleksitet, tilstand, alder, bruddkonsekvenser, etc.
- Hyppighet: Minimum to ganger pr. år, gjerne ved vekselvis høy og lav magasin vannstand. (Vurderingen er at det her primært tenkes på periodisk kontroll av dammer. For en rekke luker og ventiler, eksempelvis revisjonsluker som står tørroppstilt i lukehus, har det vært ansett tilstrekkelig med ett periodisk tilsyn i året. Det samme gjelder tverrslagsporter med ubetydelig vannlekkasje.)

- Metode:** Inspeksjon iht. fastlagt prosedyre.
- Omfang:** Inspeksjon av alle viktige anleggselementer, også fundament. Kontroll av instrumentering hvor fjernregistrerte data sammenlignes med manuelle registreringer. (Det er ikke vanlig at man kun pga. periodisk tilsyn tørrelegger/tømmer vannveier.)
- Rapportering:** Det skal lages skriftlig rapport med konklusjoner. Rapportene skal være tilgjengelige for NVE ved forespørsel.

Hovedtilsyn.

- Utførende:** VTA i samarbeid med en person med nødvendig teknisk kompetanse for sikkerhetsvurdering av den aktuelle anleggsdel, dvs. minst den kompetanse som kreves av VTA i den aktuelle klasse. VTA må dessuten vurdere om det er behov for ytterligere ekspertise. Alle som er involvert i tilsyn med anleggene bør være tilstede under tilsynet. NVE skal varsles når hovedtilsynet skal gjennomføres.
- Hyppighet:** Normalt hvert 3. - 6. år, avhengig av anleggets kompleksitet, tilstand, alder, bruddkonsekvenser, etc. Fortrinnsvis ved vekselvis høy og lav magasin vannstand. (Siste setning er relevant ifm. hovedtilsyn for dammer.)
- Metode:** Inngående inspeksjon og vurdering av anleggets sikkerhet og tilstand ift. gjeldende krav. (Slik dette av mange praktiseres, er gjeldende krav her ikke kravene stillt av NVE, men forenklete krav slik disse eksempelvis fremkommer i EnFOs tilstandskontrollhåndbok for kraftverks vannvei.)
- Omfang:** Gjennomgang av konklusjonene i tidligere tilsynsrapporter og vurdering av oppfølgingen av disse. Gjennomgang av tegningsmateriellet og kontroll av at dette er oppdatert. Inspeksjon av alle anleggselementer, også fundament. Det bør legges ekstra stor vekt på kontroll av komponenter som normalt ikke er tilgjengelig for inspeksjon. Nedtapping av magasin eller undervannsinspeksjon må vurderes. Vurdering / revurdering av rutiner for driftstilsyn og periodisk tilsyn. Gjennomgang av rutine for registrering av tilstandsdata. Vurdering / revurdering av instrumentering, måleprogram og måleresultater. Revurdere anleggenes funksjon og behovet for funksjonsbeskrivelse. Vurdering av forhold med tanke på unormale situasjoner ved anlegget. Beskrive anleggenes tilstand i rapport. Påpeke behov for utbedring og eventuelt nye vedlikeholdsplaner.
- Rapportering:** Det skal lages skriftlige, fyldestgjørende rapporter med konklusjoner, prioriteringer og terminer. Rapportene skal sendes NVE.

Revurdering.

- Utførende:** VTA med sakkyndig hjelp fra firma godkjent av NVE innenfor de aktuelle fagområder.
- Hyppighet:** VTA må fortløpende vurdere behovet for revurdering. Normalt vil hvert tredje hovedtilsyn inkludere revurdering.
- Metode:** I tillegg til det som skal gjennomføres i et ordinært hovedtilsyn, skal konstruksjonen (eller utstyret) undersøkes med tanke på alle forhold som angår sikkerheten for ulike funksjoner. Dette kan være: Konstruksjonens egnethet, utførelse og tilstand, hydrologi inkl. flommer, hydraulikk inkl. flomavledning, geoteknisk og statisk stabilitet, setninger, manøvreringssikkerhet, deformasjoner, laster, måleutrustning og sikkerhetsovervåkning osv. Vannsideinspeksjoner skal være dokumenterbare.
- Rapportering:** Det skal foreligge beregninger, sikkerhetsvurderinger, analyser, osv. som dokumenterer at anleggenes tilstand er akseptabel. Rapportene skal sendes NVE.

Spesielt tilsyn.

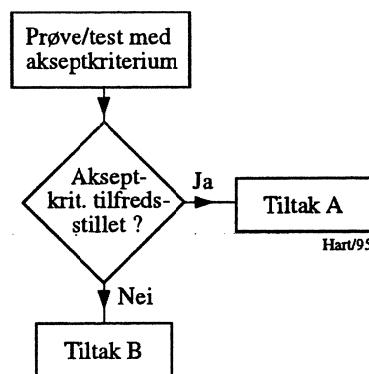
Ved ekstra store påkjenninger på anleggene, eksempelvis etter flom, storm, ras, osv., og i tilfeller der det etter annet tilsyn er oppdaget forhold som krever nærmere undersøkelse, skal anlegget inspiseres spesielt. Dette gjøres av VTA, eventuelt med ekstern hjelp.

Retningslinjen "Tilsynsprogram for anlegg i vassdrag" omfatter også eksempel på et rapporteringsskjema for periodisk tilsyn. Eksemplet er utarbeidet med tanke på tilsyn av dam og er mindre egnet som illustrasjon av hvordan dette kan gjøres for et tappe-/stengeorgan eller rør.

Forøvrig kan det også påpekes at NVE i forannevnte prosjektrapport angir: "Anleggene skal til enhver tid vurderes opp mot den sikkerhetsstandard som er gjeldende ut fra ny viten og endrede krav. Det er eiers ansvar å gjøre seg kjent med nye sikkerhetsprinsipper og ny viten innen fagfeltet, og vurdere anleggenes tilstand i forhold til dette. Ved ombygginger gjelder de samme krav til dokumentasjon som ved planlegging og nybygging.

4. Tilstandskontrollhåndbok.

Ifm. FoU-programmet "Effen" har EnFO i samarbeid med flere kraftselskaper og konsulentfirmaet Berdal Strømme utarbeidet en håndbok for tilstandsevaluering av utstyr i vannveien. Tittelen er: "Tilstandskontroll av kraftverk. Håndbok - Vannvei, kjølevannsanlegg, tømme- og lenseanlegg." Med denne boken har man for aktuell tilstandskontroll et tilsynelatende greit og enkelt verktøy. Om alle har forståelse for hvilke kvalifikasjoner som likevel kreves av den som gjennomfører kontroll, er et annet spørsmål. Nødvendigheten av kvalifikasjoner blir i det etterfølgende ett av de forhold som skal belyses.



Figur 4.1: Evalueringsselement i håndbok.

Prinsippet blir at ulike forhold som kan være relevante ifm. med et gitt utstyr, karakter-settes med skala 1 til 4. Karakter 1 tilsier at utstyret er tilnærmet godt som nytt. Karakter 4 betyr at utbedring må skje før utstyret igjen kan settes i drift. Ulike karakternøkler kom-

bineres med blokkskjemaer som angir anbefalte handlinger (tolkningskriterier). Blokk-skjemaene er bygget opp med evalueringselementer som vist i figur 4.1.

For nærmere illustrasjon av hvordan dette fungerer, kan man ta utgangspunkt i en tverrslagsport. Håndboken angir at det for slike konstruksjoner er aktuelt å karaktersette konstruksjonen ut fra visuell kontroll og om nødvendig også NDT-kontroll. Aktuelle karakternøkler blir som gitt i tabell, figur 4.2.

Karakter	Kriterier ved visuell kontroll	Kriterier ved NDT-kontroll
1	Lite eller ingen tegn til skader eller slitasje. Malte flater er fri for korrosjon.	Ingen eller ubetydelige indikasjoner.
2	Små skader. Noen tegn til slitasje. Malte flater har en tilstand bedre enn rustgrad Ri2 iht. ISO 4628/3.	Små riss og lineære indikasjoner, feil < 5 mm.
3	Mindre deformasjoner av portdeler. Løse bolter. Betydelig slitasje. Malte flater har tilstand lik eller verre enn rustgrad Ri3 iht. ISO 4628/3. Tegn til sprekker i sveiser.	Riss og lineære indikasjoner, feil > 5 mm.
4	Deformerte portdeler, manglende bolter. Sprekker i sveiser og plater.	

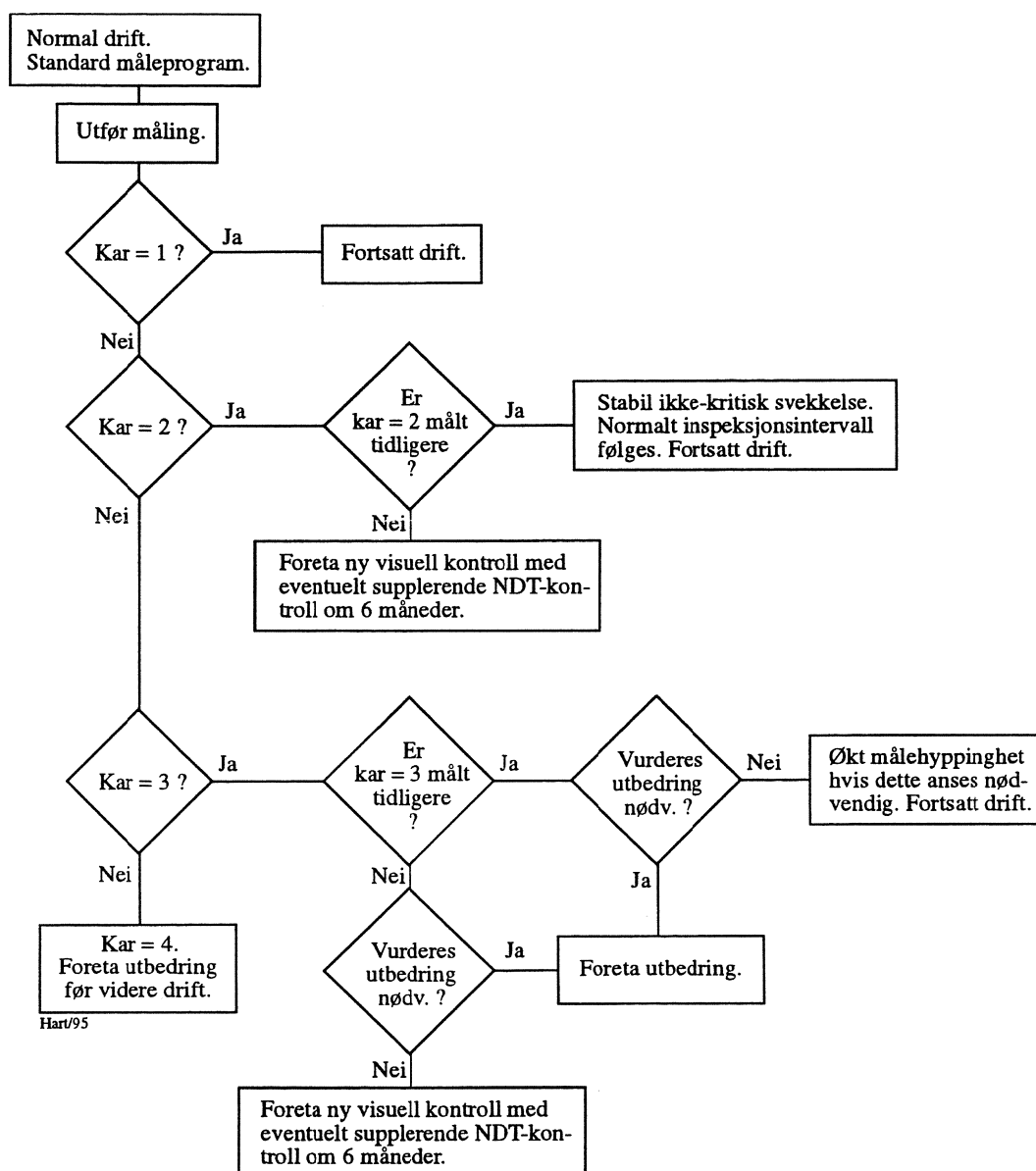
Hart/95

Figur 4.2: Karakternøkler for evaluering av tverrslagsport iht. håndbok.

Det aktuelle blokkdiagram for tolkning ved visuell kontroll fremgår av figur 4.3. Tilsvarende blokkdiagram for NDT-kontroll konkluderer med fortsatt drift for karakter 1 og 2. For NDT-karakter 3 blir konklusjonene tilsvarende som for karakter 3 ved visuell kontroll.

En viss varsomhet må imidlertid utvises ved bruken av tilstandskontrollhåndboken. En mindre deformasjon i skallet for en tverrslagsport av skalltype gir iht. karakternøkkel, figur 4.2, karakter 3. For den aktuelle skallkonstruksjonen som er knekkingsutsatt, kan imidlertid skaden være så alvorlig at den burde gitt karakter 4. Er tverrslagsporten derimot utført som bjelkekonstruksjon og det påvises at deformasjonen ikke er utløst av vannlast samtidig som skaden ikke får betydning for tetningen mellom portblad og karm, kan riktig karakter være 2.

Når det gjelder korrosjon, fokuserer håndboken på malingsskader, dvs. rustgrad. I noen tilfeller ser en imidlertid også at materiale i bærende deler er bortkorrodert. Virkningen av dette bør vurderes ved beregninger hvor en tar hensyn til det bortkorroderte materialet. Eventuell karakterfastsettelse kan eventuelt etter dette koples til beregningsresultatene.



Figur 4.3: Blokkdiagram for tolkning ifm. visuell kontroll av tverrslagsport.

Oppmerksomhet må videre henledes til anbefalingene i blokkdiagrammet, figur 4.3, om ny kontroll etter 6 måneder. Tverrslagsporter er vanligvis ikke utmattingspåkjennte konstruksjoner, og korrosjon i ferskvann utvikler seg ikke med en hastighet hvor forskjeller kan registreres etter nevnte tid. Skal det ha hensikt å foreta ny kontroll av tverrslagsport etter 6 måneder, bør man stå ovenfor en skademekanisme med rask skadeutvikling.

Konklusjonene fra gjennomgangen av håndboken med prosedyren for evaluering av tverrslagsport som eksempel, blir:

- Å beskrive alle aktuelle varianter ved tilstandskontroll av selv enkle konstruksjoner er særdeles omfattende. Skulle den aktuelle tilstandskontrollhåndboken vært komplett for de konstruksjoner den omfatter, ville den blitt uhåndterlig stor.

- Fordi håndboken ikke beskriver alle varianter ved tilstandskontroll av aktuelle konstruksjoner, må utførende kontrollør ha en kompetanse som gjør han istand til å detektere og vurdere de forhold boken ikke behandler.

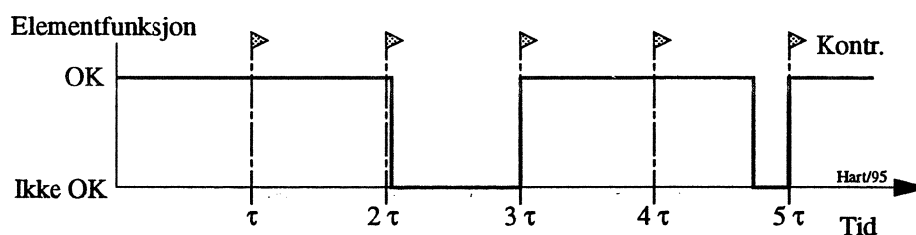
5. Tilstandskontrollfrekvens.

Ved mange kraftverk har man hatt rutiner som medfører årlig inspeksjon av turbiner, mens enkelte luker kanskje har stått ubesiktiget i flere 10-år. Parallelt med dette utføres det muligens prøve av rørbruddventils stengeutløsning med 14 dagers mellomrom.

En god regel er at hyppighet for tilstandskontroll gjøres avhengig av feilkonsekvens og muligheten for å detektere aktuell feil. Det blir derfor prinsippielt riktig med kontrollintervallforskjell som indikert foran, dog uten at man ved denne påstand forsvarer kontrollintervall på vesentlig mer enn 10 år.

Sjelden kan man imidlertid fastlegge kontrollintervall for større konstruksjoner i kraftverksvannveien ut fra feilhyppighet. Årsaken til dette er at plutselig opptredende feil som regel skjer tilfeldig med forholdsvis lange mellomrom (lav feilintensitet), og at skade som dannes over tid har lav utviklingshastighet. Forholdet er berørt i kapittel 4, men selvsagt er det også unntak. Eksempel på dette kan være ståtau for opptrekk av sugerørsluke i kraftverk med avløp mot sjøvann. I enkelte tilfeller blir her ståtauets levetid kun få år.

EnFOs håndbok for tilstandskontroll gir ingen konkrete anbefalinger vedr. inspeksjonsintervall. Det understrekes at avgjørelse må tas i hvert enkelt tilfelle etter inngående vurdering av alle relevante forhold. På den annen side fremgår det konkrete krav av NVE-retningslinjen: "Tilsynsprogram for anlegg i vassdrag". Disse refereres i kapittel 3.

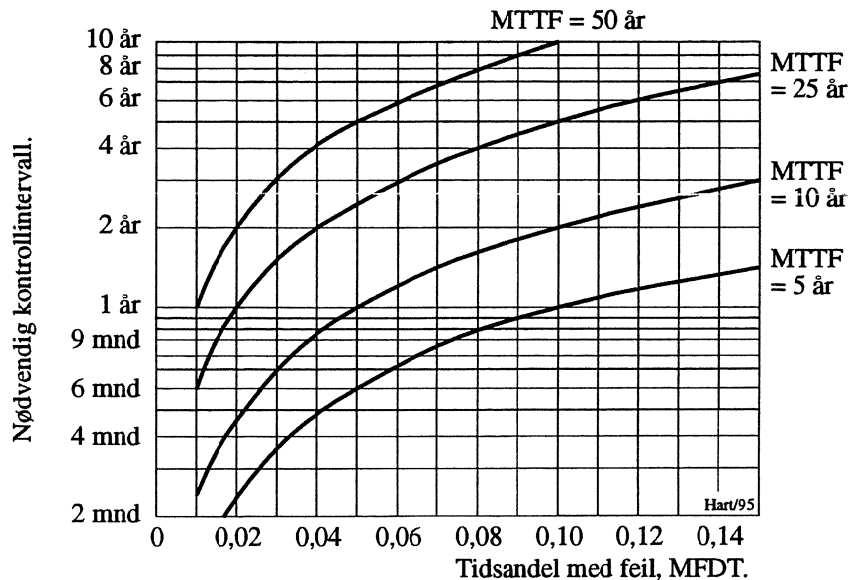


Figur 5.1: Funksjonssvikt og utbedring av element.

Noen feil gjelder funksjoner som til enhver tid bør være tilgjengelige, men som sjelden kommer til anvendelse. Enkelte vernefunksjoner er av denne kategori. Som eksempel kan en tenke på endebryteren som skal hindre at luke kjøres for høyt i øvre posisjon. Blir luken styrt manuelt, vil det kanskje være naturlig å stanse den før den aktiverer endebryteren. Har man da ingen kontrollrutiner for endebryteren, vil feil her ikke oppdages

før man ved lukemanøvrering er uoppmerksom og endebryterfunksjonen blir det eneste som kan forhindre skade/ulykke.

Forholdet kan belyses matematisk med teori hentet fra faget pålitelighetsteknikk. Tenker en seg at kontroll blir utført ved fast intervall τ og at inntruffet feil først oppdages og utbedres ved første etterfølgende kontroll, kan et scenario bli som antydnet i figur 5.1.



Figur 5.2: Kontrollintervall avhengig av MTTF og MFDT.

Når det så forutsettes at feilene er uavhengige av hverandre og har eksponensiell fordeling, dvs. at feilfrekvensen ikke endres over tid, kan gjennomsnittelige fraksjonell død-tid MFDT uttrykkes ved:

$$MFDT = \tau / (2 \cdot MTTF)$$

MFDT forstås som andelen av den tid da aktuell komponent ikke vil kunne fungere. MTTF er komponentens "midlere tid til feil", dvs. dens "levetid". Grafisk gjengis sammenhengen mellom størrelsene i figur 5.2.

Eksempel: Levetiden for en endebryter antas å være 10 år. Det aksepteres at bryteren er ute av drift i maksimalt 1% av tiden, hvilket betyr $MFDT = 0,01$. Tillatt største kontrollintervall τ blir:

$$\tau = 2 \cdot MFDT \cdot MTTF = 2 \cdot 0,01 \cdot 10 = 0,2 \text{ år} = 2 \text{ mnd } 12 \text{ dager}$$

Konklusjon: Det må kontrolleres minst 5 ganger pr. år.

6. Planlegging av inspeksjoner og prøver.

Større inspeksjoner bør alltid forhåndsplanlegges. Ved dette blir det riktig å ta utgangspunkt i at ethvert utstyr og enhver konstruksjon er unik. Erfaringer fra lignende enheter kan der-for ikke uten videre overføres. Har en ikke kunnskap om det som skal undersøkes, må en gjøre seg kjent ut fra foreliggende dokumentasjon. Stikkord for dette angis nedenfor. Som regel er det et større problem at slik dokumentasjon mangler, enn at den som skal sette seg inn i saken, ved gjennomgangen "drukner i papir".

- Tegninger og beregninger.
- Anbefalinger for drift og vedlikehold.
- Idriftsettelsesrapport.
- Tidligere rapporter fra inspeksjoner og prøver.
- Anskaffelsesdokumentasjon.
- Dokumentasjon fra utført vedlikehold/rehabilitering.

Har en fra tidligere ingen dokumentasjon av objektets funksjoner, bør en forsøke å utarbeide dette. Her kan funksjonslisten i avslutningen av kapittel 2 være til støtte. Det er ofte lett å gå i den fellen at hovedfunksjonene fokuseres slik at de øvrige glemmes.

Etter fastleggelsen av funksjoner bør man vurdere hvilke skader som kan tenkes å hindre eller vanskeliggjøre funksjonene. Er en fortrolig med feiltremetodikk, kan det være fordelaktig å benytte denne.

Neste skritt blir å finne ut hvordan man effektivt kan avdekke aktuelle feil og mangler. God regel er at enhver prøve eller registrering skal ha en hensikt. Likeledes bør en være klar over hvordan innsamlede data siden skal evalueres med tanke på understøttelsen av de konklusjoner som inspeksjonen/prøvene legger grunnlaget for.

Det kan likeledes være nyttig å utarbeide liste over alt utstyr og alle hjelpemidler som for gjennomføringen blir nødvendig. Stikkord for dette er:

- Måleinstrumenter og registreringsutstyr (m/ reservebatterier).
- Nødvendige tegningskopier og utarbeidede registreringsskjemaer.
- Fotografiapparat (m/ ekstra filmer og batteri).
- Egnet kommunikasjonsutstyr.
- Lyskilder (uavhengig hovedlys og reservelys).
- Nødvendig verktøy og hjelpemidler for adkomst (stige, båt, etc.).
- Personlig verneutstyr (hjelm, støvler, hansker, briller, relevant antrekk).
- Mat og varm drikke (avhengig av strabadser, temperatur og varighet).

Likeledes må man ved planleggingen ta hensyn til at produksjonsmessige ulemper som kraftverket har ved tilstandskontrollen, skal minimaliseres. Det bør også være en viss

beredskap med tanke på at uheldige forhold som avdekkes, kan nødvendiggjøre umiddelbart korrektivt tiltak. Uten slik beredskap kan driftsstansen bli mer langvarig enn nødvendig.

Siste fase av planleggingen medfører at planen gjennomgås for å avklare faremomenter som kan være forbundet med gjennomføringen. Forholdet er i herværende dokument berørt i neste kapittel. Finner man uakseptable forhold, må regelen bli å endre planen slik at faremomentene i nødvendig grad elimineres.

For kvalitetsgjennomgang av planen kan en sjekkliste bli nyttig. Et forslag til slik liste gjengis nedenfor:

- Er hensikten med tilstandskontrollen klarlagt (se kapittel 2) ?
- Vil undersøkelsen bli iht. hensikten ?
- Er utstyrets/konstruksjonens funksjoner klarlagt (se kapittel 2) ?
- Vil inspeksjon og prøver slik disse er planlagt avdekke evnen til å utføre de ulike funksjoner ?
- Er planen for inspeksjon og prøver tilpasset kraftverksdriften ?
- Er det beredskap for utførelse av eventuelle korrektive tiltak som kan tenkes nødvendig før kraftverket igjen kan starte sin produksjon ?
- Er det utarbeidet registreringsskjemaer ?
- Er det utarbeidet utstyrliste ?
- Er skjemaer og utstyrliste kontrollert mot aktivitetene som skal utføres ?
- Er det ifm. planen vurdert faremomenter ?
- Er det vurdert om påtenkte inspeksjonsdeltagere er fysisk istand til å gjennomføre inspeksjonen ?
- Er det ifm. ulykke eller uønsket hendelse mulig å tilkalle hjelp ?
- Er beredskapen ifm. ulykke eller uønsket hendelse tilfredsstillende ?
- Foreligger planen i dokumentert form ?
- Er planen kjent av alle inspeksjonsdeltagere ?

7. Risiko ifm. tilstandskontroll.

Tilstandskontroll som omfatter inspeksjon og prøver er en unormal driftssituasjon og vil som sådan kunne medføre økt risiko. Dette kan knyttes til:

- Forhold som kan medføre skade på utstyr.
- Forhold som kan medføre skade på omgivelser.
- Forhold som kan medføre produksjonstap.
- Forhold som kan medføre personskade eller død.

Er en klar over risikotypene, vil det også være enklere ved aktuelle inspeksjoner/prøver å prediktere ulike risiki. Det etterfølgende refererer derfor ingen komplett liste med faremomenter, men begrenses til eksempler. En selvfølge er det imidlertid at ulike risiki knyttet til tilstandskontroll/funksjonsprøver utredes når konstruksjoner revurderes ifm. hovedtilsyn.

Det er ikke vanlig å gjøre realistisk funksjonsprøve av nødstengeorganer med full vanngjennomstrømning fordi dette ofte gir mulighet for visse skader. Som regel begrenses aktuell test til nødstengeutløsning hvoretter lukkebevegelsen umiddelbart stoppes. Eventuelt kan fullført stengeprøve foretas i stillestående vann.

Dreier det seg om tunge selvlukkende luker med oljehydraulisk manøvreringssylinder, skal en også være klar over at stopp av stengebevegelse ved delåpning kan gi risiko for rørbrudd i oljesystemet hvis stopp skjer vha. magnetstyrt ventil med momentan sjalting. For visse utførelser medfører dette betydelige trykkstøt, noe som kan være særlig kritisk hvis systemet har rustfrie rør og rustfrie klemringkoplinger.

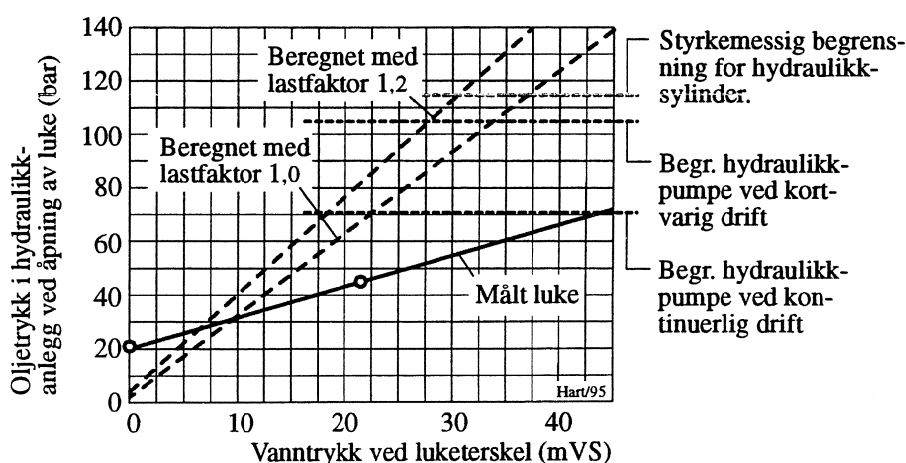
Skade på omgivelsene kan oppstå ved funksjonsprøve av tappeluke, særlig beredskapsluke fordi slike som regel har betydelig tappekapasitet. NVEs anbefalinger har ellers når det gjelder funksjonsprøve av beredskapsluker, ikke vært helt entydige. Hovedregelen er imidlertid at alle tappeorganer ved visse mellomrom skal funksjonstestes. Dette kan gjøres ved at tappeorganet manøvreres til liten åpning, at nødvendige observasjoner blir gjort i løpet av noen minutter og at tappeorganet deretter stenges.

Spørsmål som til tider blir reist, er om man etter åpning av en beredskapsluke vil ha sikkerhet for å få stengt den og om den etter dette ikke minst blir tett. Særlig kritisk kan forholdet bli hvis man oppstrøms mangler ekstra avstengingsmulighet slik at magasinet må tømmes for at skader skal kunne bli utbedret. I slike tilfeller har det forekommet at NVE har frafalt funksjonsprøvekravet.

Et råd kan også være at prøve om mulig utføres ved lav vannstand. Har man oljehydraulisk manøvreringssylinder, er det i utgangspunktet også større stempelareal for stenging enn det en har for åpning, med andre ord større stengekraft. På minussiden kommer imidlertid det at en opptreksstang pga. knekkproblematikk som regel ikke tåler så stor nedtrykkskraft som den kraft den kan utsettes for ved strekk. Det er dessuten slik at man tidligere ved dimensjonering av manøvreringsutstyret undervurderte glidefriksjonens utvikling over tid og at en rekke glideluker således er dimensjonert med friksjonskoeffisient 0,3-0,4 istedet for 0,6 slik dagens bestemmelser tilsier. I tillegg er det enkelte eldre hydraulikkpumper som ikke tåler kontinuerlig driftstrykk over 70 bar. Dette har medført at manøvreringssylinderne heller ikke ble dimensjonert for trykk vesentlig over dette. Som resultat fra virkelig prøve hvor en tappeluke ble manøvrert med redusert vanntrykk, kan det vises til figur 7.1. Her inngår også teoretisk beregnet åpnetrykk med lastfaktor

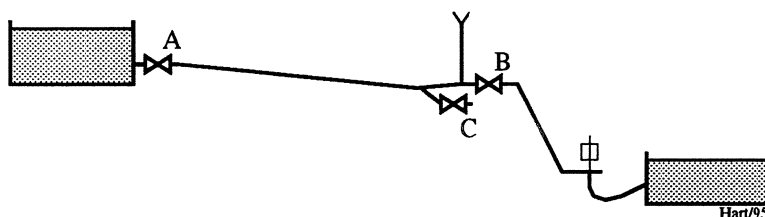
1,0 og 1,2. Fordi diagrammet gjelder opptrekk, er grense for knekking av opptrekkstang selvsagt ikke inntegnet.

At driftstans ved inspeksjon ønskes kortvarig, kan være problematisk. Skal flere aktiviteter skal skje samtidig, vil også dette kunne medføre økt fare. Det har eksempelvis forekommet at ovale mannlokk er mistet inn i skrårør hvor det oppholdt seg personell, fordi man for å spare tid valgte å sette på lokk etter hvert som inspeksjonspersonellet passerte de enkelte mannhull.



Figur 7.1: Resultater fra prøve ifm. hovedtilsyn med revurdering for tappeluke.

Inspeksjon av vannvei kan sammenlignes med arbeid i høyspenningsanlegg. Utsiktet fylling vil på mange måter kunne sammenlignes med utsiktet spenningsetting. Etablerte sikkerhetsrutiner som man har ved arbeid med elektriske systemer, bør således også kunne overføres til arbeid i vannsystem.



Figur 7.2: Systemskisse av kraftverk.

Tenker en seg et vannveisystem som vist i figur 7.2 med inntaksluke A, rørbruddsventil B og tverrslagsport C, kan det være aktuelt å inspisere A ved å gå inn i systemet fra C. Kanskje tenker en seg da at faremomentene knyttes til utsiktet åpning av A. Er det imidlertid betydelig lekkasje fra A eller fra fjellet, kan uønsket hendelse også bestå i at C stenger. Ettersom de fleste porter åpner innover mot vanntrykket og er hengslet, kan slik stenging skje ved påvirkning fra lekkasjevannet som strømmer ut av tverrslagsportens

åpning. Vesentlig i denne sammenheng blir derfor sikringen av portbladet i åpen posisjon.

Et annet risikomoment ved inspeksjon i vanntunneler er steinras. Størst rasmulighet har man ifm. trykkavlastningen av tunnelene ifm. tømning og like etter dette. Forholdet har sammenheng med fjellets poretrykk. Det beste er at tunneltrykket senkes så langsomt at poretrykket får anledning til å være i balanse med dette. Det har ellers vært uttalt fra fjellkyndig hold at det vesentligste av ras vil komme i løpet av de første 48 timer etter nedtapping.

Adkomst gjennom vanntunnel med renspylt såle og lekkasjevann kan være både anstrengende og risikofyllt. Under slike forhold er det lite som skal til for at en person snubler/sklir og påføres skade i fallet. Ikke alltid har det vært gjennomtenkt hva en skal gjøre dersom uhell av denne type skjer og den skadede ved egen hjelp ikke er i stand til å ta seg ut til dagen. Tilsvarende problemstillinger kan også oppstå hvis befaringsdeltager egentlig ikke har nødvendig fysisk kondisjon for gjennomføringen.

Spesiell oppmerksomhet bør vies luftinnsugninger. Her kan strømningshastigheten bli meget stor. Er det fare for at luftinnsugning inntreffer når man oppholder seg i nærneten av slik åpning, må stor varsomhet utvises.

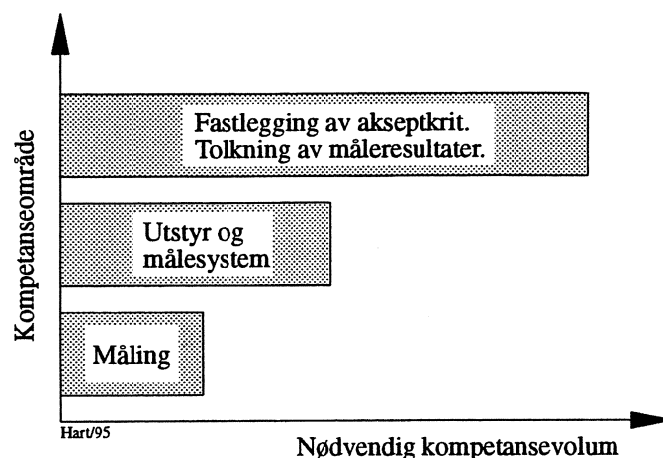
Benyttes det ved inspeksjon gamle ledere/stiger, bør man forsikre seg om at tilstanden for disse er god. Skepsis bør vises trestiger som fra "tidenes morgen" har stått hensatt i fuktige ventilkamre og tunneller. Likeledes kan dert være grunn til oppmerksomhet ifm. eldre fjellbolter som fester permanente leidersystemer.

8. Spesielle kontrollmetoder.

Av spesielle kontrollmetoder fremhever EnFOs tilstandskontrollhåndbok ulike ikke-destruktive materialprøvningsmetoder (NDT). De viktigste blir:

- Penetrantkontroll.
- Magnetpulverkontroll.
- Ultralydkontroll (inkl. tykkelsesmåling).

Virvelstrøm og radiografiske metoder er mindre aktuelt for tilstandskontroll av utstyr i vannveien. Det samme kan nok også sies om vibrasjonsmåling. Som regel vil de fleste inspeksjoner dessuten stort sett la seg gjennomføre uten bruk av måleinstrumenter som utnytter forannevnte teknologier. Et unntaket gjelder imidlertid ultralydbasert tykkelsesmåler som det ved korrosjonsangrep kan være svært praktisk å benytte.



Figur 8.1: Kompetanseområder og kompetansevolum.

Det bør også påpekes at moderne teknikk omtrent ikke setter grense for hva som kan måles/registreres. Som tidligere nevnte er det derfor viktig at man ved innføring av sofistikerte metoder er seg bevisst hvordan resultatene skal anvendes. Det understrekes at man i denne sammenheng må forholde seg til ulike kompetanseområder slik dette er søkt illustrert i figur 8.1. Vanskeligst blir som regel evalueringsdelen med fastlegging av akseptkriterier og tolkning av måleresultater hvis dette skal funksjonsrelateres, og en ikke vil nøye seg med kontroll mot forenklede akseptkriterier slik dette antydes i EnFOs håndbøker. Man kan eksempelvis ikke forutsette da at en leverandør av kontrollutstyr har kompetanse for å kunne gi teknisk velbegrunnede råd for akseptkriteriefastsettelsen.

9. Automatisert tilstandskontroll.

Sjelden er det aktuelt å utstyre stålkonstruksjonene i vannveien med avansert automatisk loggende tilstandskontrollutstyr. Som eksempler kan imidlertid nevnes/tenkes:

- For rør: Rørbruddsovervåking. Falltapsovervåking.
- For grinder: Falltapsovervåking.
- For luker/ventiler: Overvåking av tappekapasitet. Overvåking av differensialtrykk for filter i oljehydraulisk manøvreringsinnretning. Vibrasjonsovervåking for utmattingsutsatte tappeanlegg. Teller for automatisk etterhiving av lukesig.

For evaluering av måleresultatene blir problemstillingen ofte tilsvarende som påpekt for dette i kapittel 8.