

Hjelpeutstyr for kraftverksluker

Forfatter: Ragnar Hartmann, Statkraft Engineering as

20.09.96

Dette manuskript er betalt av Energiforsyningens 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. Manuskriptet tillates ikke benyttet som referanse i spørsmål gjeldende sikkerhet eller når resultatet kan medføre betydelig økonomisk konsekvens.

Innholdsfortegnelse.

	Side
1. Hensikt og målsetting.	1
2. Aktuelt hjelpeutstyr.	1
3. Mauring og maureutstyr.	2
4. Systemer for hindring av isdannelse.	5
5. Luftesystemer.	8

1. Hensikt og målsetting.

Manuskriptet er laget i tilknytning til et kurs om luker, ventiler, rør og varegrinder. Kursets målgruppe er personell ved vannverk og i kraftforsyning.

2. Aktuelt hjelpeutstyr.

Hjelpeutstyr for et lukeanlegg kan være av ulik type. Eksempler blir:

- Systemer for mauring.
- Oppvarmingssystemer for hindring av isdannelse.
- Andre oppvarmingsystemer.
- Luftesystemer.
- Lysanlegg.

- Sentralsmøreanlegg (forekommer sjelden ifm. luker).
- Måle- og reguleringsystemer.
- Adkomstsystemer (heisbare arbeidsplattformer, ledere, etc.).

I dette manuskriptet begrenses nærmere omtale til systemer for: Mauring, hindring av isdannelse og lufting.

3. Mauring og maureutstyr.

3.1. Betraktninger ifm. mauringen.

Mauring benyttes når en luke har uønsket vannlekkasje. Egnert mauremasse føres da frem til aktuelle lekkasjeåpninger. Dette kan skje ved jevn massetilførsel eller ved at mauremassen støtvis skyves inn i strømløpet der lekkasjen er.

Ved mauring av damluker med fritt vannspeil mot lukebladet er det tilstrekkelig å helle massen ned langs lukebladet. Står luken mot lukket vannvei, kan massetilførselen bli mer komplisert. I noen slike tilfeller har man gjort bruk av dykker. Denne må da utvise varsomhet så han ikke kommer for nær lekkasjeåpningene. Her er det fare for å bli suget fast.

Alternativt benyttes undervannsrobot. Det beste er likevel om en på forhånd har installert et permanent rørsystem for mauringen. Ettersom stømningshastigheten oppstrøms lekkasjestedet avtar sterkt med avstanden, må imidlertid forholdene ligge til rette slik at mauremassen "på egen hånd" kommer frem til lekkasjestedene. Dette behandles nærmere i det etterfølgende.

3.2. Mauremasse.

Ved valg av mauremasse er tre forhold viktige:

- Mauremassen skal kunne føres frem til lekkasjestedet.
- Enkeltdelene mauremassen består av skal ha størrelse og konsistens som gjør massen istand til å blokkere lekkasjen.
- Mauremassen skal verken skade maureutstyr, luke eller omgivelser.

Ideelt sett bør mauremassen ha densitet (egenvekt) som får den til å "sveve" i vannet. Dette øker sannsynligheten for at massen før eller senere føres til lekkasjestedet og tetter dette. Er imidlertid lekkasjen i bunnen av lukeløpet, kan det være akseptabelt at mauremassen tenderer til å synke. Omvendt bør massen ha en viss flyteevne hvis lekkasjen er ved lukens toppetning og massen pumpes direkte inn i lukeløpet.

Ulike typer organisk materiale er vanlige mauringematerialer. Flis, kutterspon, torv og oppkuttet bark blir kjente varianter. Felles for organiske maurematerialer er at de som "naturlige produkter" ikke alltid oppfattes som forurensning når mindre mengder ved lukeåpning spyles ut i nedstrøms vassdrag.

Ofte har organisk mauremateriale før det tas i bruk, lite vanninnhold. Da må det først gjennomtrekkes med vann før det får den synke-/stigehastighet som vellykket resultat avhenger av.

En annen type mauremateriale er knust koks. Mange mener dette er svært godt egnet for mauring. Dog bør man være varsom med bruk av koks hvis maureanlegget har ventiler med tetningsringer av mykt kunststoff. De relativt harde kokspartiklene vil her kunne påføre skade.

En tredje type mauremateriale er plast. Som eksempler på hva man har benyttet, nevnes strimlede plastsekker og oppkuttete skumgummimadrasser, det siste ved stor lekkasjeåpning. At plaststoffene er lite nedbrytbare når de senere ved åpning av luken spyles ut i nedstrøms vassdrag, må det tas hensyn til. Da bør en gjøre sitt beste for å samle materialet vha. garn, lense e.l. plassert på et sted nedstrøms tappeanlegget hvor vannets strømningshastighet er tilstrekkelig lav for dette.

Med porøse maurematerialer kan man i visse tilfeller ha mulighet til å påvirke materialets flyteegenskaper. Dette blir tilfelle hvis mauremassen skal pumpes inn i et strømløp hvor det er overtrykk. Tenker en seg at maurematerialets porer i utgangspunktet er luftfylt, vil disse fortsatt være dette hvis trykkøkningen skjer i luft. Omvendt vil det presses vann inn i porene om massen er dykket når trykket stiger.

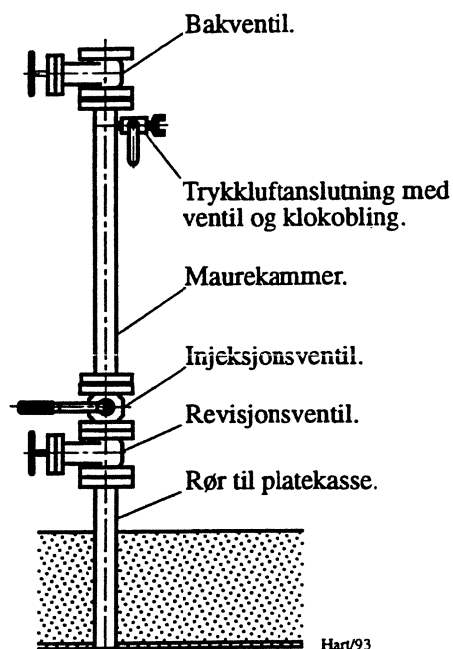
3.3. Utstyret.

Viktig for et permanent maureanlegg blir som tidligere nevnt at rørsystemet munner ut på et sted slik at mauremassen bringes frem til de aktuelle lekkasjer. I tillegg må rørsystemet ha diameter og rørføring som motvirker massens tendens til å pakke seg og tette røret. Aktuelle rørdiametre ligger eksempelvis i området $\varnothing 100$ - $\varnothing 150$ mm, dog forekommer det også mindre dimensjoner.

Innpumping av masse kan skje med trykkluft. En annen mulighet er bruk av betongpumpe e.l..

Problemet med trykkluftpumping blir at vanlig kompressortrykk begrenses til 7 - 8 bar. Dette vanskeliggjør mauring mot trykk over 50 - 60 mVS. Ved høyere trykk kan aktuell løsning da bli å benytte komprimert luft fra høytrykksflasker.

Et maureutstyr som er velegnet for lave mauretrykk fremgår av figur 3.1. Her skal mauremassen "skytes" inn i strømløpet og ved dette skape så sterke virvlinger at den fordeles i hele vannvolumet.



Figur 3.1: Eksempel på maurearrangement.

Prosessen inndeles i enkeltoperasjoner. Disse gjentas i sykluser som angitt nedenfor, inntil lekkasjen på tilfredsstillende måte opphører.

- Med åpen revisjonsventilen og stengt bakventil stenges maureventilen.
- Bakventilen åpnes (obs. sprut pga. innvendig overtrykk).
- Fuktig mauremasse fylles inn i maurekamret til anvist høyde over bunnen.
- Det helles inn vann i maurekamret slik at vann-nivået nærmer seg mauremassens overflate.
- Bakventilen stenges.
- Trykkluft fylles inn i maurekamret.
- Injeksjonsventilen åpnes raskt.
- Trykkluftinnfyllingen til maurekamret stenges.

Ideelt sett bør trykkluften som fylles inn i maurekamret, ekspandere til et volum slik at man er sikker på at hele maureladningen skyves inn i strømløpet. Har innfylt luftmengde volum V_1 ved trykk p_1 , 7 - 8 bar, samtidig som totalt indre volum av maurekammer, ventiler og nedenforliggende rør mot lukeløp er V_2 , blir maksimalt akseptabelt trykk p_2 i strømløpet: $p_2 < p_1 \cdot (V_1 / V_2)^{1,4}$.

4. Systemer for hindring av isdannelse.

4.1. Utstyrstyper og varmeeffekt.

Anvendte systemer er:

- Oppvarming av stålkonstruksjonen ved elektrisk strøm ledet gjennom stålet.
- Oppvarming av stålkonstruksjonen vha. elektriske varmekabler.
- Oppvarming av stålkonstruksjonen vha. et væskesirkulasjonssystem.
- Oppvarming ved at "varmt" bunnvann bringes opp til overflaten foran luken.

Når en stålkonstruksjon det står vann mot, skal varmes med tilført energi, har det vært vanlig å benytte varmeeffekt på ca. 200 W/m² for innstøpte deler og 400 W/m² for frittstående komponenter som lukeblad.

Skal forholdet vurderes teoretisk, bør aktuell varmeavgivelse fra konstruksjonsdelen bestemmes. Viktigst blir da varmetransporten fra stålflete til vann hvor varmeovergangstallet α og temperaturforskjellen mellom stålflete og vann er avgjørende størrelser. Minst verdi for α har man med stillestående vann i lukeløpet.

Fastleggelsen av α skjer vha. Nusselts tall: $Nu = \alpha \cdot d_h / \lambda$. For rørstrømning med Reynoldstall $> 10\,000$ og liten temperaturforskjell blir: $Nu = 0,024 \cdot Re^{0,8} \cdot Pr^{0,33}$. Her er: d_h - hydraulisk diameter, λ - vannets ledningsevne, Re - strømmingens Reynoldstall, Pr - vannets Prandltall. Tenker en seg platekledningen i et strømløp for damluke med $B \times H = 8 \times 4 \text{ m}^2$, kan varmeovergangstallet α ved gjennomstømning beregnes til nærmere: $\alpha = 3000 \text{ W/m}^2 \cdot ^\circ\text{C}$.

Mest utsatt for frysing er imidlertid luken når den står stengt. For dette tilfellet blir eksakt bestemmelsen av α mer komplisert. Som størrelsesorden kan man likevel si at α da får en verdi noe under 1500 W/m²·°C. Dette betyr at en tilført effekt på 200 - 400 W gir ståltemperatur rundt 0,1 - 0,2 °C over vanntemperaturen.

4.2. Strøm gjennom stålkonstruksjonen.

Dette var en av de tidligst anvendte oppvarmingssystemer og er benyttet for både lukeføringer og varegrinder.

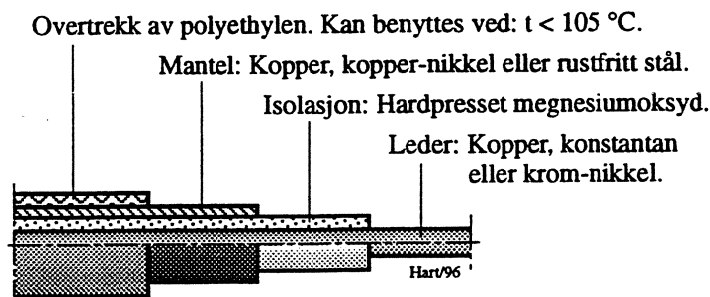
Elektrisk spenning som trengs for å sende nødvendig strøm gjennom konstruksjonen, er liten. Dog har metoden i noen tilfeller gitt økt korrosjon pga. de elektriske spenningsforskjellene som oppstår mellom deler av stålfatene.

Systemet blir i dag ikke benyttet for nye lukekonstruksjoner i Norge.

4.3. Varmekabler.

Varmekabler er dagens vanligste oppvarmingssystem for lukeblad og lukeføringer. Ved oppvarming av innstøpte flater er det vanlig at kablene legges på flatenes betongside i innstøpte rustfrie 4-kant-rør slik at kablene om nødvendig senere kan skiftes.

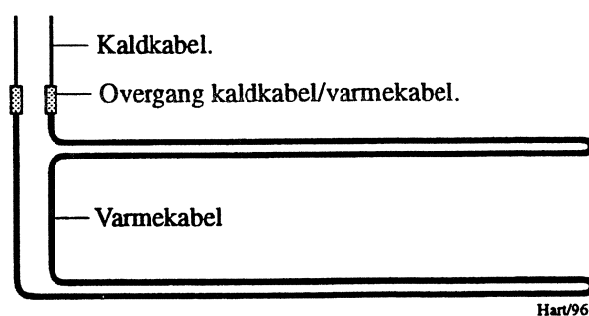
Ettersom varmekabelrørene er luftfylte, blir varmetransporten fra kabel til rørvegg problematisk. Det er derfor viktig at varmekablene tåler høy driftstemperatur selv om temperaturdifferensen mellom vann og stålkonstruksjonens overflate er beskjedent.



Figur 4.1: Oppbygging av varmekabel.

Fremste leverandør i Norge av denne type varmesystem er Sønnico som vanligvis benytter mineralisolerte kabler for formålet. Disse tåler betydelig temperatur. Snitt gjennom slik kabel, type Pyrotenax, fremgår av figur 4.1. Avhengig av mantelmaterialet blir maksimale kabeltemperaturer som angitt nedenfor. Endeavslutninger og andre skjøtestykker kan imidlertid ha lavere tillatt driftstemperatur.

Kopper-mantel:	200 °C.
Kopper-nikkel-mantel:	450 °C.
Krom-nikkel-mantel:	800 °C.



Figur 4.2: Eksempel på forming av varmekabel.

Kablene er robuste og kan bøyes som vist i figur 4.2. Dette blir nødvendig når kablene skal stikkes inn i de innstøpte rør. Rørene bør på sin side være rette, uten bend. Aktuell rørdimensjon er 50 x 25 x 1,5 mm.

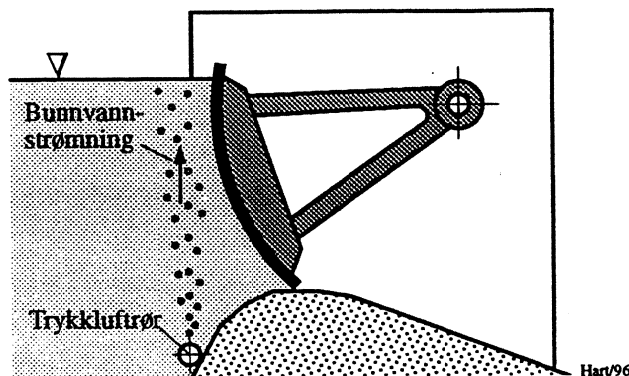
Driftserfaringene fra nevnte sytem har vært meget gode. Nyanskaffelsesprisen for det totale varmekabelsystem er imidlertid høy. For mindre luker kan denne utgjøre en betydelig andel av lukeanleggets totalpris.

4.4. Væskesirkulasjon.

Ved dette system legges det væskesirkulasjonsrør mot de flater som skal tilføres varme. Tilhørende aggregat bestående av varmekilde og sirkulasjonspumpe plasseres i lukehuset. Væsken som sirkulerer, kan være radiatorvæske. Systemet har liten anvendelse i Norge. Mer brukt er det i Sverige.

4.4. Bunnvann.

Bunnvannsirkulasjon er aktuell når man ønsker isfri vannoverflate foran et lukeanlegg. Oppstrømning av "varmt" bunnvann oppnås ved at det legges et rør tvers over lukeløpet langs bunnen av dette. I lengderetningen er røret forsynt med hull gjennom hvilke det fra et trykkluftanlegg kan slippe luft ut i vannet. Når luftboblene stiger opp mot vannoverflaten, trekker de samtidig med seg vann. Prinsippet tilsvare det man har i en mammutpumpe og fremgår av figur 4.3.



Figur 4.3: Sirkulasjon av bunnvann vha. trykkluft.

Arrangementet skaper en sirkulasjon som i mange tilfeller, selv ved lave vintertemperaturer, kan holde åpen råk foran et lukeanlegg. Vilåret er imidlertid tilstrekkelig tilgang på "varmt" bunnvann.

I motsatt tilfelle vil systemet kunne virke mot sin hensikt. Er det nærmere 0 °C der trykkluften slippes ut samtidig som den på forhånd har blitt avkjølt til samme lave temperatur, vil den ved ekspansjon mot omgivelsestrykk 1 bar avkjøles til under 0 °C. Dette stimulerer isdannelsen.

5. Luftesystemer.

5.1. Lufting av tappeluker.

Ved tapping skal tappeluker vanligvis tilføres luft nedstrøms lukebladet. Sammen med egnet hydraulisk utforming av strømløpet vil lufttilførselen redusere muligheten for kavitasjonserosjon og dempe skadelige trykkpulsasjoner.

For tappeluker med nedstrøms frispeiltunnel antyder Damforskriftene at det bør regnes midlere lufthastighet i tunneltverrsnittet over vannspeilet tilsvarende 60 % av vannhastigheten. Er det vannstandsprang i tunnelen, legges forholdene etter vannstandsspranget til grunn for luftmengdeberegningen. Regelen bør imidlertid brukes med fornuft. Er det god klaring til tunneltaket samtidig som avløpstunnelen er kort, oppstår det vanligvis oppe under taket en tilbakestrømning av luft som i betydelig grad reduserer den nødvendige tilførte luftmengde.

På den annen side er luftbehovet ikke kun bestemt av lufttransporten i tunnelen mellom vannspeil og tunneltak. Betydelige luftmengder blir som regel også trukket ned i vannmassene som bobler. Dessuten kan vannoverflaten være mer å sammenligne med et skumkav enn en definert grenseflate mellom luft og væske. For enkelte luker blir dette så fremtredende at avløpet karakteriseres som skummende. Dette betyr at hele tunneltverrsnittet fylles med vann og skum. I slike tilfeller settes luftbehovet β lik:

$$\beta = Q_{\text{luft}} / Q_{\text{vann}} = (A_{\text{tunnel}} / A_{\text{luke}}) - 1$$

Et mer detaljert grunnlag til bruk ved bestemmelse av tappelukers luftbehov blir ellers å finne i en NHL-rapport publiserte på 70-tallet. Enhver som ønsker å fordype seg i emnet "lufting av høytrykksluker" bør skaffe seg denne rapporten.

Luft tilført et tappeorgan kan imidlertid ha skadelig effekt hvis luften ikke får anledning til å unngå fra vannet. Dette blir i noen tilfeller realitet hvis nedstrøms tunnel er dykket slik at luften under trykk absorberes i vannet. Føres blandingen siden ut i åpent vassdrag, er vannet luftovermettet og giftig for fisk. Forholdet medfører at enkelte tappeluker må lages slik at de greier seg uten luft. Dette betyr at luken for det første må dykkes så meget at kavitasjon forhindres. Dernest må utformingen også gjøres slik at konstruksjonsdelene ikke utsettes for skadelige virvlinger. En tappeluken av nevnte type har Statkraft installert ved Hogga kraftverk.

Når det gjelder lufterør, blir det viktig at disse føres på slik måte at luftingen ikke gir opphav til fare. I lukehus skal det eksempelvis ikke skapes undertrykk som blokkerer adkomst eller rømningsvei. En god regel er det også at lufteåpninger hvor lufthastighetene kan bli store, ikke plasseres nær betjeningsutstyr. Avsluttes lukens lufterør utendørs, er vanlig krav med tanke på sikringen av anlegget at det her skal være 180° bend utstyrt med

rist. For lufteåpninger med flere m² tverrsnitt har man imidlertid ofte nøyd seg med en solid rist selv om luftesjakt bak risten fører direkte ned til angjeldende tappeluken.

Dimensjonerende lufthastighet i lufterør har tradisjonelt vært 50 - 80 m/s. Aksellerasjon til slik hastighet medfører temperatursenkning på 1,3 - 3,2 °C og trykkfall i området 15 - 37 mbar. Strømningstapet i lufterørene medfører imidlertid at trykket nedstrøms luken kan bli lavere enn dette. Undertrykk på - 2 mVS anses som grenseverdi. Ligger slutt-trykket i nevnte område, bør helst også luftutvidelsen tas med i beregningen når falltapet i lufterørene skal kontrolleres.

Vinterstid vil sirkulasjon av kald luft gjennom luftesystemet føre til at lekkasjevann fra fjellet i eksempelvis en lukesjakt fryser. I ugunstige tilfeller kan dette føre til at sjakten omdannes til en ismonolitt. For luker som står stengt, kan dette hindres med spjeld, presenninger, etc. I andre tilfeller må det installeres særskilte isolerte luftekanaler/rør forbi de utsatte områdene. Oppvarming er et annet og energikrevende alternativ.

5.2. Lufting av vannvei.

Ved inntaksluker, nødstengeluker, etc. som står montert mot lukket vannvei, må det med tanke på tømning være et system for luftetterfylling. Tilsvarende bør det være mulig å slippe luft ut av vannveien når denne skal fylles.

Vanligvis sikres nevnte funksjoner med sjakt eller lufterør plassert ved høybrekk. Synker tunnelen i nedstrøms retning fra luken, må luftesystemet finnes umiddelbart ved denne. At luken har pakkboks, virker kompliserende. Da utstyres luftesystemet med ventil for både inn- og utlufting. Som regel blir ventilens innluftingskapasitet langt større enn utluftingskapasiteten.

Mangler luftemulighetene, kan dette i ugunstige tilfeller få meget skadelige følger. Brytes eksempelvis nedstrøms vannstreng ved nødstenging med vanngjennomstrømning samtidig som det er mulig for vannstrengen å returnere, vil luken etter alt å dømme smadres ved det nye møtet med vannet. Blir det stående luftlomme i toppen av tunnelen når denne fylles samtidig som luften kan unnslippe opp lukesjakten når luken kjøres til full åpning, vil etter alt å dømme det som er av konstruksjoner i sjakt og lukehus bli ødelagt ved luftutblåsing. Dette har det dessverre vært alt for mange eksempler på.

Eventuell lufteventils innluftingskapasitet bestemmes ut fra slukevnen i nedstrøms vannsystem. Ved dimensjoneringen kan det tas hensyn til luftekspansjonen som følger av at trykket i vannveien synker. Oppstår det imidlertid undertrykk i vannveien, bør det kontrolleres at oppstrøms luke har blitt dimensjonert for dette.