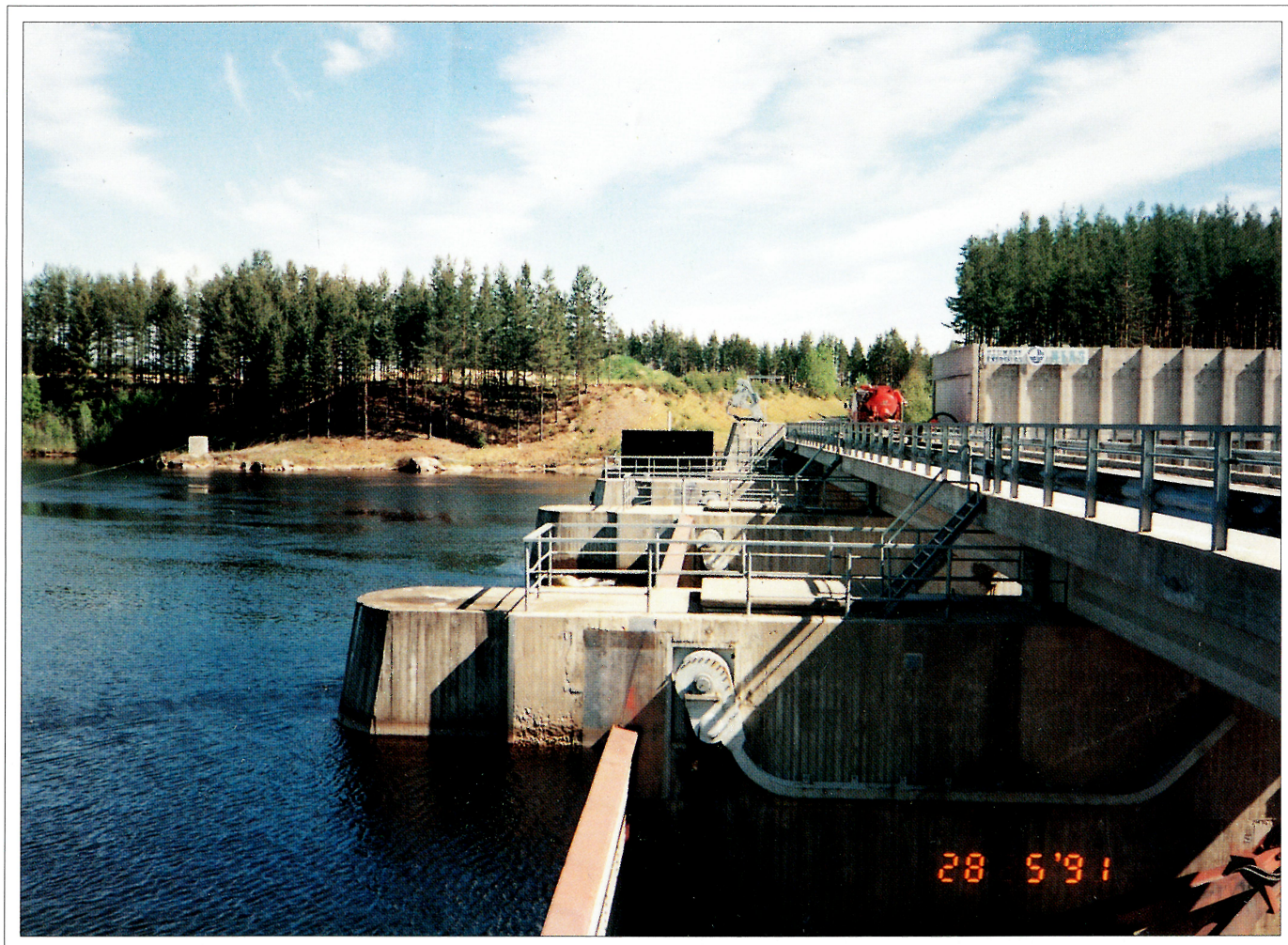


Prosjekt damsikkerhet

Mai 1992 **Rapport nr. 6** Del I



Nybro-Bjerck as

Funksjonssikkerhet ved flomluker

Prosjektansvarlige:

NVE Tilsyns- og beredskapsavdelingen (NVE-T)

Vassdragsregulantens Forening (VR)

FORORD

Moderne norsk dambygging startet omkring århundreskiftet, da vi tok til å utnytte våre vannkraftressurser. Innledningsvis dominerte mur- og betongdammene, men særlig etter 1950 kom de store fyllingsdammene inn i bildet for fullt. I hele det aktuelle tidsrommet har norsk damteknologi holdt et høyt nivå, og dammene har hevdet seg godt internasjonalt med hensyn til kvalitet og sikkerhet.

I den intense utbyggingsperioden vi har vært igjennom i de senere tiår, har begrepet damsikkerhet i sterk grad vært knyttet til planlegging og bygging, der beregningsmetoder, laster, materialegenskaper og utførelse har vært nøkkelbegreper. Men damsikkerhet avhenger også i sterk grad av hvordan vi overvåker, manøvrerer og tar vare på dammene, og hvor godt vi forstår og er forberedt på ulike hendelser og situasjoner som kan oppstå i driftsfasen. Det var særlig dette som var bakgrunnen for at NVE i 1987 tok initiativ til et samarbeidsprosjekt med VR og dameiere om damsikkerhet. Forprosjektet utga rapporten: "Risikoanalyse for dammer" i 1987, og selve hovedprosjektet startet med etablering av et styringsutvalg høsten 1988. Prosjektlederen tiltrådte i april 1989, og fra da av kom det praktiske arbeidet i gang. Prosjektet avsluttes i 1992.

Styringsutvalget består av:

- * Sjefingeniør Bjarne Nicolaisen, NVE (form.)
- * Sjefingeniør Jan Daleng, VR
- * Prof. Dagfinn K. Lysne, Institutt for vassbygging, NTH
- * Sjefingeniør Thorleif Hoff, Statkraft

Prosjektleder er sivilingeniør Svein Larsen.

Prosjektet har tatt utgangspunkt i dagens situasjon og har fått utredet ulike spørsmål som har betydning for damsikkerheten i driftsfasen, slik som aldring, flomavledning, overtopping, lekkasjer, funksjonssikkerhet av flomluker og beredskapsplanlegging. Dessuten behandles erfaringsinnsamling, dambruddstatistikk og risikovurderinger. Enkelte utredninger blir presentert i egne delrapporter som denne, men prosjektet avsluttes med sluttrapport som summerer opp resultatene av de utredninger prosjektet har utarbeidet.

Flomløp som ikke funksjonerer som forutsatt kan utløse dambrudd, og det er nødvendig å sikre at flomløp med manøvrerbare organ har en tilstrekkelig funksjonssikkerhet.

Som ledd i dette kan det utføres funksjonssikkerhetsanalyser hvor en klarlegger avledningskapasiteten ved ulik grad av lukemanøvreringsvikt.

Det klarlegges hvilke muligheter som finnes for eventuell manøvreringsvikt, og hvilke tiltak som kan iverksettes for å bedre funksjonssikkerhet.

Den delrapport som fremlegges her: "Funksjonssikkerhet ved flomluker" er utarbeidet av Berdal-Strømme a.s., og Nybro Bjerck a.s., og viser med eksempler hvordan slike vurderinger kan gjennomføres.

Av praktiske hensyn er rapporten delt i 2 deler.

Del 1 inneholder en generell vurdering og eksempelet "Braskereidfoss".

Del 2 inneholder eksemplene "Vinstern" og "Olstappen"

For å få eksempler med realistiske problemstillinger har en tatt utgangspunkt i eksisterende anlegg. Det må imidlertid tas et klart forbehold om at grunnlaget for analysene ikke i alle forhold samsvarer med virkeligheten, og at analysens resultater og konklusjoner dermed ikke direkte kan overføres til de benyttede eksempeleanlegg.

Eksemplene må ikke betraktes som mønster for andre analyser, men som en kilde hvor ideer til slike analyser kan hentes.

I hovedrapporten vil vi nærmere drøfte hensikt, innhold og omfang av slike funksjonssikkerhetsanalyser for flomluker.

Oslo, 20. mai 1992


Bjarne Nicolaisen


Jan Daleng


Svein Larsen

Forsidebilde viser dam Braskereidfoss

PROSJEKT DAMSIKKERHET

FUNKSJONSSIKKERHET VED FLOMLUKER

GENERELL VURDERING

Odd Martinsen
27. februar 1992

INNHOLDSFORTEGNELSE

1.	INNLEDNING	1
2.	LUKEUTSTYR	2
3.	FUNKSJONSSVIKT	3
4.	TEKNISK SVIKT	5
4.1	Luker	5
4.1.1	Segmentluker	5
4.1.2	Sektorluker	11
4.1.3	Klappeluker	16
4.1.4	Glideluker	19
4.1.5	Rulleluker	23
4.1.6	Gummiluker	24
4.2	Manøvreringsorgan, spill	25
4.2.1	Hydraulisk spill	25
4.2.2	Kjedespill	28
4.2.3	Wirespill (ståltauspill)	30
4.2.4	Skruespill	32
4.2.5	Tannstangspill	34
4.2.6	Reserve for spill	35
4.3	Styring	37
5.	MENNESKELIG SVIKT	40
5.1	Begrepet menneskelig svikt	40
5.2	Organisasjon	40
5.3	DOKUMENTASJON	41
5.4	Merking	42
5.5	Oppløring	43
5.6	Rutiner for inspeksjon og prøving av utstyret	44
5.7	Instruks for betjening av utstyr og varsling i unormale (kritiske) situasjoner	45
6.	GENERELL BESKRIVELSE AV PRINSIPPENE FOR FEILTRE-, HENDELSESTRE- OG PÅLITELIGHETSANALYSE.	47
6.1	Feiltreanalyse	47
6.2	Hendelsestreanalyse	50
6.3	Pålitelighetsanalyse	52

Nybro-Bjerck

1. INNLEDNING

Denne vurderingen omfatter flomluker som har sin primære oppgave i å avlede flomvannføringer på en slik måte at tappereglement overholdes og at vannet ikke forårsaker skade på omgivelsene. I forbindelse med kraftverksinntak vil flomlukene også måtte avlede den til enhver tid forekommende turbinvannføring ved utfall av kraftstasjonen.

Det er selvfølgelig helt avgjørende at lukeinstallasjonene funksjonerer som forutsatt i ekstreme vannføringssituasjoner, enten ved flom eller utilsiktet stopp i kraftstasjonen. Funksjonssvikt i en slik situasjon kan få alvorlige, for ikke å si katastrofale, følger.

På denne bakgrunn er lukeutstyr av forskjellig utførelse gjennomgått på generelt grunnlag for å finne frem til konstruksjonsdeler og forhold som erfaringsmessig er spesielt utsatt for feil. I tillegg til de rent tekniske installasjoner er det også pekt på forhold ved drift og betjening som er avgjørende for funksjonssikkerheten.

Vurderingen er begrenset til å omfatte eksisterende lukeanlegg som forutsettes å ha vært i drift så lenge at evt. feil og svakheter fra konstruksjons- og produksjonsfasen er utbedret.

For nye lukeinstallasjoner vil sikring av kvaliteten starte i prosjekteringsfasen og være en del av prosessen fram til luken er ferdig montert og prøvet.

Av hovedpunkter kan nevnes:

- Funksjonsbeskrivelse.
- Kvalitetssikring under prosjektering, konstruksjon, produksjon og montasje.
- Prøving og igangkjøring.

2. LUKEUTSTYR

Den mest alminnelige form for flomluker er overflateluker som er plassert i damkronen. Tappeluker som er plassert noe lavere i damkonstruksjonen evt. i omløp, kan også inngå i dammens flomavledningskapasitet.

Rene bunnluker, for å tømme dammen helt ned, inngår normalt ikke i flomavledningskapasiteten og er heller ikke behandlet nærmere her.

Faste overløp, nåledammer, nålestengsler og bjelkestengsler er heller ikke nærmere behandlet her.

De vanligste typer av flomluker er:

Overflateluker

Overløp: - Sektorluke]
 - Klappeluke] selvåpnende
 - Gummiluke]

Strømn.under: - Segmentluke]
 - Rulleluke] selvlukkende
 - Glideluke

Dykkede luker

Strømn.under: - Segmentluker]
 - Rulleluke] selvlukkende
 - Glideluke

I Norge finnes det også flomluker av type vasseluke og vaggluke. Antallet av disse typer er imidlertid så begrenset at de ikke hører med i en generell vurdering.

3. FUNKSJONSSVIKT

Funksjonssvikt kan deles inn i to kategorier:

Manglende manøvrerbarhet

- Blokkering (fremmedlegemer som is, tømmer, trær, stein, løsmasser)
- Forkiling (låsing) pga. skjevhet og deformasjoner, setninger
- Spillet virker ikke eller blir ikke benyttet pga.
 - * strømbrydd
 - * brydd i mekanisk/hydraulisk overføring fra spill til luke
 - * feil i styring
 - * manglende signal, varsling av operatør
 - * manglende adkomst for operatør
 - * ingen ansvarlig operatør tilgjengelig

Brydd

- Overbelastning
 - * ekstrem totallast (uforutsett)
 - * skjev lastfordeling (deformasjon) uforutsett
 - * feilmanøvrering v/manglende vern
- svekkelse av konstruksjonen

De bakenforliggende årsakene til funksjonssvikt kan igjen deles i kategoriene:

Teknisk svikt

Eksempelvis

- Manglende vedlikehold
- Strømbrydd

Menneskelig svikt

Eksempelvis

- Manglende organisasjon
- " dokumentasjon, merking av utstyr
- " opplæring/forståelse
- " instruksjer
- " rutiner

Av svikt på den tekniske siden er strømbrudd spesielt da det normalt ligger utenfor lukeoperatørens påvirkningsområde. Botemiddelet kan derfor være reserve strømtilførsel eller alternativ kraftkilde.

Forøvrig ligger muligheten til å unngå teknisk svikt i forebyggende vedlikehold, hvor komponenter utbedres eller skiftes ut etter hvert som det vises svakhetstegn. Vedlikeholdsarbeidet må således starte med en tilstandskontroll hvor eventuelle svakhetstegn påvises og omfang av utbedrings-/utskiftingsarbeider bestemmes.

Som støtte ved tilstandskontrollarbeidet er det i de følgende avsnitt fremhevet konstruksjonsdeler ved forskjellige luketyper som ut fra erfaring bør vies spesiell oppmerksomhet. Det er imidlertid viktig å være klar over at standardisering er lite utbredt på lukekonstruksjoner og at praktisk talt hver luke har sine særegenheter. Det er derfor ikke mulig å fange opp alle "svake" punkter i en slik generell oversikt og det må i tillegg benyttes innsikt, erfaring og sunn fornuft.

Menneskelig svikt unngås først og fremst ved å ha klare organisatoriske forhold som ivaretar de praktiske sider ved betjeningen som er nødvendig for sikker funksjon.

4. TEKNISK SVIKT **Beskrivelse, erfaringer**

4.1 Luker

4.1.1 Segmentluker

Generell beskrivelse

Segmentluken er en radialluke hvor åpne- og lukkebevegelse skjer ved å dreie hele konstruksjonen om lukens lager. Navnet fremkommer ved at selve lukekroppen i snitt minner om et sirkelsegment.

Åpning av luken skjer ved å heve konstruksjonen og vannet strømmer under luken. Kreftene fra vanntrykket overføres fra lukelegemet gjennom lukebena og lukelagrene til betongkonstruksjonen. Opptrekkskraften er relativt beskjeden pga. små friksjonskrefter.

Segmentluker kan benyttes både som overflateluke og som dykket luke med topptetning. Spesielt som overflateluke kan segmentluker utføres med stor bredde i forhold til høyden.

Som dykket luke har segmentluken normalt ett opptrekk på midten. De fleste segment-overflateluker har opptrekk på begge sider med kjede- eller wirespill. Spillene er synkronisert med mekanisk eller "elektrisk" aksel. I de senere år er det imidlertid blitt mer vanlig med opptrekk bare på en side og bruk av hydraulisk spill. Lukekonstruksjonen gjøres da torsjonsstiv.

Spesielle forhold og erfaringer

Lager

For segmentluker med topptetning kan lukelagrene være plassert i "taket" av vannveien. Kreftene overføres da i stor grad fra lagerbraketten og inn i betongen som trykk-krefter og med mindre moment-krefter avhengig av arrangement og lukestilling. Lagerbraketten har 2 ører hvor selve lageret i enden av lukearmen går mellom disse og med gjennomgående lagerbolt.

For overflateluker er lukelagrene fundamentert i pilarsiden. Lagertapp med fri ende overfører kreftene via en solid lagerkonsoll og fundamentbolter til betongen.

På luker levert før ca. 1970 er det brukt fettsmurte lager, på overflateluker gjerne med smørerør for innpressing av fett fra lukehus eller topp pilar.

Nyere luker er utstyrt med selvsmørende eller smøringsfrie lager.

Stikkord for kontroll:

- Lagerkonsollens innfesting i betongen. Sprekker/deformasjoner i betong og fundamentbolter.
- Lagertappens innfesting i lagerkonsollen. Sprekker/deformasjoner i sveis eller akseltapp.
- Smøresystemet må være intakt og brukes.
 - * Skade på smørerør/smørenipler
 - * Fett-tilførsel i lagerets trykksone
 - * At lagerforing ikke roterer
- Lager kan være ømfintlig for urenheter f.eks. blåsesand fra blåserensing.

Skjevtrekk / fastkiling

På luker med tosidig opptrekk er det forutsatt at begge spill skal trekke likt. Dette er i praksis ordnet med en mekanisk aksel mellom de to spillene eller med en elektrisk synkronisering av de to spilmotorene, såkalt elektrisk aksel. Feil på synkroniseringen vil gi skjevtrekk.

Fastfrysing på en side kan gi skjevtrekk og det samme kan skje dersom et fremmedlegeme skulle låse fast luken på en side.

Segmentlukene er normalt utstyrt med styreruller eller styresko oppe og nede på hver side som skal forhindre at luken kiler seg fast selv om det oppstår skjevhet. Dimensjon og stabilitet på rullene samt styrke på anleggsflate i føring setter imidlertid en grense for hvor stor skjevbelastning som tolereres før fastkiling inntreffer.

Stikkord for kontroll:

- Feil ved mekanisk eller elektrisk synkronisering.
- Manuelt brakt ut av stilling ved vedlikehold e.l.
- Mekanisk svikt i opptrekket.
- Is eller fremmedlegemer.
- Klaringer/deformasjoner i forbindelse med styreruller.
- Setninger i betongkonstruksjonen.

Feste for opptrekk

Segmentluker har i de fleste tilfeller feste for opptrekket på nedstrøms side (luftsiden), men noen overflateluker med kjede- eller wirespill har opptrekksfeste på oppstrøms side (vann-siden).

Med plassering på nedstrøms side er innfestingen normalt ikke mer utsatt på segmentluker enn på andre luker. Opptrekksøret

har vanligvis direkte forbindelse med den bærende konstruksjon bak frontplaten og tilgjengeligheten for inspeksjon og vedlikehold er normalt god. Direkte påvirkning av følgende faktorer kan imidlertid forårsake skade:

- Overbelastning pga. fastfrysing / fastkiling.
- Bakvann med slag fra tømmer, isflak e.l.

Innfesting av opptrekket på oppstrøms side er mer utsatt. Feste-ørene er vanligvis sveist fast nederst på frontplaten hvor de står under vann når luken er helt eller delvis lukket. Med plassering på vannsiden er ørene mer utsatt for korrosjon.

Tømmer, is o.l. som følger med vannstrømmen og som går under delvis åpen luke, kan utsette festeørene for kraftig mekanisk påkjenning. Dersom det også skulle være en svakhet ved sveisen, kan den mekaniske påkjenningen utløse brudd. Med festeørene normalt stående under vann er tilgjengeligheten for inspeksjon og vedlikehold generelt dårlig.

Tillegges spesiell oppmerksomhet:

- Kvalitet på sveis.
- Svekkelse av sveis pga. korrosjon.
- Deformasjon etter påvirkning av tømmer, isflak e.l.

Fastfrysing / påbygging av is.

Segment-flomluker som er forutsatt å skulle manøvreres vinterstid og som er nyere enn ca. 1965, er gjerne utstyrt med varme for å hindre fastfrysing. For de første lukene var prinsippet elektrisk motstands-oppvarming av føringer og evt. bunnstokk samt oppvarming innvendig i selve lukekroppen med elektriske ovner. Lukens bakplate ble da isolert.

Etter hvert ble elektrisk varmekabel benyttet både for oppvarming av føringer, bunnstokk og lukens frontplate.

Isolasjon er lagt direkte mot kablene. Fra bunnstokken oppvarmes gjerne en stripe på hver side av lukeløpet i nedstrøms retning slik at lekkasjevann hele tiden dreneres vekk.

Bobleanlegg eller vannsirkulasjonsanlegg er enkelte steder montert foran luker for å hindre at isen legger seg helt inn mot lukens frontplate og fryser fast. Kombinasjon av vannhastighet og temperert bunnvann hindrer isdannelse.

I lukket stilling vil følgende former for fastfrysing kunne skje:

- Uten varme eller bobleanlegg vil luken kunne fryse helt fast.
- Med bare bobleanlegg/vannsirkulasjon kan luken fortsatt fryse fast til føringene og lekkasje fra tetninger eller betong vil kunne fryse og bygge seg opp til isberg som hefter til luken.
- Med varme på luke og føringer kan lekkasje fra tetninger eller betong fryse nedstrøms for det oppvarmede området, f.eks. på pilarsidene. "Isberg" kan således bygge seg opp og hefte til luken eller komme i inngrep med utstikkende deler av lukekonstruksjonen slik at lukebevegelsen hindres selv om det ikke er direkte heft.

Luke i åpen eller delvis åpen stilling:

- Is kan bygge seg opp på pilarsidene like over vannstrømmen. Etter noen tid kan isoppbyggingen ha blitt så kraftig at lukene blir hengende på isen ved lukking eller hindret i videre åpning.

Da de normale spilltyper for segmentluker bare overfører strekk-krefter (åpnekraft) og ikke trykk-krefter, er det først

og fremst ved forsøk på å åpne en fastfrosset luke at skader oppstår.

For hydraulisk opptrekk vil sikkerhetsventilen i oljetrykksanlegget fungere som overlastsikring. På mekanisk spill er det imidlertid få installasjoner som har en pålitelig overlastsikring. Overbelastning kan da skje og følgende komponenter er spesielt utsatt for skade:

- * Opptreksøre på luke m/innfesting.
- * Lokale deler av luken som henger i isen.

Bærende konstruksjon, lukeblad og lukeben.

Segmentluker er gjerne bygget opp som en åpen bjelkekonstruksjon eller som en lukket "bokskonstruksjon".

På den åpne bjelkekonstruksjonen er praktisk talt alle flater synlige og evt. lokale skader vil lettere bli registrert i forbindelse med den normale drift av lukene.

Ved lukkede konstruksjoner må det foretas inspeksjon av de innvendige hulrom for å få oversikt. Fornyelse av korrosjonsbeskyttelsen vil normalt være den dominerende form for vedlikehold. Det er vesentlig at "lommer" i konstruksjonen er drenert slik at eventuelt regnvann, kondensvann eller bakvann ikke blir stående i konstruksjonen og skape et unødvendig korrosivt miljø eller frostsprengning.

Stikkord for kontroll:

- Nagleforbindelser/laskeforbindelser generelt.
- Forbindelse lukekropp - lukeben og lukeben - lager.
- Evt. lukkede hulprofiler (rør) hvor det ikke er adkomst innvendig, f.eks. frostsprengning.
- Flater som er tildekket, f.eks. av isolasjon.

4.1.2 Sektorluker

Generell beskrivelse

Sektorluke er en radial overflateluke hvor åpne- og lukkebevegelse skjer ved å dreie hele konstruksjonen om lukens lager. Et antall lager er plassert på linje på en lagerterskel i bakkant av lukegropen. Ved åpning senkes luken ned i lukegropen og vannet strømmer over luken. Luken har tett ryggplate. Luketyper er spesielt godt egnet for avledning av ting som flyter med vannstrømmen som f.eks. tømmer og is.

Sektorluker kan manøvreres ved å balansere vanntrykket over og under lukens ryggplate. Med denne form for manøvrering kan lukene gjøres svært brede og benevnes sektordam. Manøvrering med balansert vanntrykk ble levert i Norge frem til ca. 1960. De fleste sektorluker manøvreres imidlertid ved hjelp av et opptrekk på hver side av luken. På samme måte som for segmentluker, er det nødvendig med synkron drift av de to spillene.

Kjedespill og skruespill er de former for opptrekk som har vært mest benyttet for segmentluker. Skruespill gir stiv forbindelse til luken og større evne til å dempe evt. pulsasjoner som vannstrømmen måtte påføre lukekonstruksjonen.

Spesielle forhold og erfaringer.

Lager

Lagrene er montert på linje på en lagerterskel i bakkant av lukegropen. Et lager for hver sektorramme som utgjør den bærende del av konstruksjonen.

Luker som er levert før ca. 1970 har fettsmurte lager, mens luker som er levert senere har selvsørende eller smøringsfrie lager.

Med mange lager stående på linje (lukebredde fra 3 til 35 m) er luketypen ømfintlig for setninger i betongkonstruksjonen. Dersom lagrene kommer ut av stilling, vil det oppstå brytninger som kan medføre deformasjoner og brudd i bærende deler av konstruksjonen.

Stikkord for kontroll:

- Setninger/deformasjoner i betongkonstruksjonen.
- Deformasjoner i fundamentbolter/lagerkonsoll.
- Smøring.

Feste for opptrekk

Forbindelsen mellom spill og luke (kjede eller stang) er gjerne ført i en nisje i pilarsiden med deksel mot vannstrømmen. Nederst på lukens bærende konstruksjon (ytterste segmentrammer) er opptrekksbolten festet med fri ende som stikker inn i pilar-nisjen.

Stikkord for kontroll:

- Sprekker/deformasjon i opptrekksbolt.
- Sprekker/deformasjon ved boltens innfesting.

Skjevtrekk / fastkiling.

For sektorluker vil problemet stort sett være det samme som for segmentluker.

Fastfrysing / påbygging av is.

Det spesielle med sektorluker og is er først og fremst lukegropen. Evt. lekkasjer fra lukens tetninger eller fra betongen må hele tiden dreneres ut fra lukegropen. Dersom det blir kuldegrader i lukegropen, kan lekkasjevannet fryse og danne ismasser som hindrer åpning av luken.

Eldre luker har gjerne et plankedekke på ryggplaten som øker isolasjonsevnen og hindrer frost. Uten varmetilførsel vil imidlertid lukens frontplate kunne fryse fast i isdekket oppstrøms og i øverste del fryse fast til føringen. Bobleanlegg/vannsirkulasjonsanlegg vil kunne holde luken fri.

Nyere luker har isolasjon på undersiden av ryggplaten og varme på øvre del av fronplaten. Varmekabel for å sikre drenasjeveien i lukegropen vil være en fordel.

Normalt vil en sektorluke imidlertid ikke manøvreres i den kaldeste perioden av vinteren da det ikke er ønskelig å bryte opp isdekket. Det vil være andre luketyper i dammen som først tas i bruk, f.eks. ved utfall av aggregat i kraftstasjonen.

Stikkord for kontroll:

- Når luken er lukket for vinteren, kontrollere at luken er tett og evt. utbedre lekkasjer.
- Kontrollere at drenasjen fra lukegropen er åpen og fjerne evt. fremmedlegemer som kan komme til å blokkere utløpet.
- I kuldeperioder kontrollere at isoppbygging ikke skjer, evt. sette en varmekilde ned i lukegropen (vifteovn e.l.).

Fremmedlegemer i lukegrop.

Sektorluker tetter mot lukegropen bare i helt lukket stilling. Når luken åpnes, går bunntetningen fra og det dannes en spalt på ca. 20 -30 mm mellom lukens frontplate og bunnstokk. Mellom lukens ryggplate og pilarsidene er det også en spalt på ca. 20 - 30 mm.

Med såvidt trange spalter er det begrenset hvor store fremmedlegemer som kan komme ned i lukegropen. Sand og slam som føres med vannet vil imidlertid ha tendens til å avleire seg i lukegropen og over tid kan det bli så store mengder at lukebevegelsen hindres.

- Sand og slam må fjernes før lukebevegelse hindres eller drenasje tilstoppes.

Bærende konstruksjon/vibrasjoner.

Nyere sektorluker er utformet med en avrundet krone som gir separasjonsfri strømming over luketoppen, også i mellomstillinger.

Eldre luker er slik utformet at de danner en nokså skarpkantet overløpsterskel. I mellomstillinger vil dette medføre separasjon og trykkpulsasjoner under strålen.

Trykkpulsasjoner påvirker lukens ryggplate og det kan oppstå vibrasjoner i lukekonstruksjonen som over tid resulterer i skade. Med årsak i vibrasjoner har det forekommet fullstendig sammenbrudd av sektorluker.

Det innvendige fagverket i luken mellom sektorrammene kan være nokså spinkelt så stavene bør inspiseres.

Stikkord for kontroll:

- Kontrollere om luken pulserer/vibrerer under drift og evt. søke faglig bistand.
- Kontrollere konstruksjonen for skader som sprekker, deformasjoner, brudd i nagleforbindelser. Spesielt forbindelse mellom ryggplate og bærende konstruksjon samt de deler som overfører kreftene til opptrekket.
- Deformasjon i segmentrammen og mellomliggende fagverk.
- Korrosjon på bærende konstruksjoner.

4.1.3 Klappeluker

Generell beskrivelse.

Klappeluken er en overflateluken i prinsippet bestående av et lukeblad som er "hengslet" til bunnstokken og som legges ned for åpning og svinges opp for lukking.

Lukebladet er som regel forsterket med en kraftig "buk" som gjør lukekroppen torsjonsstiv og som tillater opptrekket plassert på den ene siden av luken. Det finnes også eksempler på utførelse hvor hydraulisk sylinder er plassert under luken på midten av lukeløpet.

Nedstrøms luketerskelen er det en grop eller et sprang i bunnen av lukeløpet som luken går ned i ved åpning.

Hydraulisk opptrekk er dominerende for klappeluker og i lukket stilling "henger" luken på oljetrykket i sylindren. Ved å drenere oljetrykket vil luken da åpne kun ved egen tyngde og vanntrykket (selvåpnende).

I tillegg til ren flomavledning brukes klappeluker som tømmerluker og for avledning av øvrige flytende gjenstander. For å gjøre klappeluken spesielt egnet for tømmerfløting kan den påmonteres tømmerrist nedstrøms. Risten er i oppstrøms ende hengslet til lukens overløpsende og beveger seg på hjul mot bunnen av lukeløpet nedstrøms. Tømmerrist betinger øket spillkapasitet.

Gjennom kanaler i pilarene tilføres luft på undersiden av vannstrømmen for trykkutjevning.

Med hydraulisk sylinder for opptrekk vil klappeluker, via hydraulikksystemets sikkerhetsventil gi etter og unngå overbelastning fra ekstreme belastningstilfeller som istrykk.

Spesielle forhold og erfaringer

Lager

Klappelukens lager er montert på linje med luketerskelen, ett lager for hver skottplate i lukekonstruksjonen. På grunn av ulik belastning vil lagrene nærmest opptrekket gjerne ha kraftigere dimensjon enn de øvrige lagrene.

Dersom luken åpnes med is eller andre former for fremmedlegemer liggende under luken nær lagrene, vil lagrene kunne få betydelige tilleggskrefter fra "nøtteknekker"-effekten.

Forøvrig er forholdene sammenlignbare for sektor- og klappelukelager hvor begge luketyper er ømfintlige for setninger i betongfundamentene. Se avsnittet om sektorluker, lager.

Erosjon av betongen omkring lagrene har forekommet hvis strømmingen i tetningsspalten er stor.

Feste for opptrekk.

Da klappelukene ofte har vært planlagt med tømmerlukefunksjon, har det vært et sentralt punkt å skjerme opptrekket for tømmer og andre ting som følger vannstrømmen. Dette har resultert i et mangfold av utførelser, fra sylindere plassert under luken, sylindere bak avtrapping i pilarsiden, sylindere i åpen eller tildekket nisje til torsjonssaksel og sylindere plassert helt inne i pilaren.

Felles for alle utførelsene er at det overføres store krefter og at aksler, bolter og deres innfesting i lukekonstruksjonen er viktige punkter som må kontrolleres jevnlig.

Fastkiling av fremmedlegemer.

Det mest pålitelige tetningssystemet for klappeluker har vist seg å være med pakningene montert bak sprang i pilarsidene hvor luken går til anslag mot pakningene i lukket stilling.

Når luken begynner å åpne, vil luken umiddelbart gå fra pakningene og det oppstår en vannstrøm på sidene av luken og etter hvert også i bunnen. Kvist, bordbiter og ting som flyter i vannet, vil trekkes med vannstrømmen mot disse spaltene. Dersom luken åpnes mye, vil disse tingene spyles vekk og neppe være noe problem. Hvis derimot luken åpnes bare litt før den lukkes igjen, kan fremmedlegemer lett komme i mellom tetningsflate og pakning og forårsake lekkasje eller også deformasjon.

Skjermer, festet til luken, som dekker sidespalten inntil vannstrømmen begynner å gå over luken samt hengslet klaff som dekker bunnspalten, er praktiske løsninger som har vist seg effektive.

Fastfrysing.

Dersom klappeluker skal manøvreres vinterstid, må det i tillegg til varme på føringer og bunnstokk være varme på pilarkledning i sveipeområdet for luken samt i bunnen av lukeløpet under luken.

Forøvrig er problemet med fastfrysing og påbygging av is i prinsipp det samme som for segment- og sektorluker.

4.1.4 Glideluker

Generell beskrivelse

Glideluker består av et lukeblad som styres ved anlegg i profilerte føringer. Luketypen kan utføres som overflateluke uten topptetning eller som dykket luke med topptetning.

Den enkleste utførelse av lukeblad er en plan stålplate, mens større luker er utført i sveiset eller klinket bjelkekonstruksjon. Ved stor lukebredde er også skallkonstruksjon benyttet.

Lukebladet på nyere luker har glidelister av metall eller et annet glidemateriale som anlegg mot rustfri flate i føringen. Disse lukene har gummiprofiler for tetning. Eldre luker har i tillegg til metallister på lukebladet også metallister i føringene som kombinert glide- og tetningsflater (metallisk tetning).

De eldste lukene har føringer klinket sammen av profiler i vanlig stål. Senere ble sveising anvendt, fortsatt med profiler av vanlig stål, men med strips av rustfritt stål påsveist som anlegg for glidelister og pakninger. I dag lages hele føringsprofilet normalt av rustfritt stål.

Foruten å være styring for lukebladet skal føringen overføre kreftene fra luken inn i betongen på en forsvarlig måte samt ivareta tetningen mellom stål og betong.

Glideluker kan ha tetningen plassert på nedstrøms side av lukebladet. Opptrekket går da på vannsiden, evt. med opptrekkstang og støttelager opp til lukespillet. Dersom lukespillet plasseres lavere enn overvannsnivå, må opptrekket imidlertid utstyres med en pakkboksgjennomføring.

Med oppstrøms tetning føres opptrekket opp på lukens luftside.

Glidetriksjonen mellom luke og føring gir relativt store manøvreringskrefter. Med ensidig vanntrykk er lukens vekt alene ikke tilstrekkelig for å lukke luken.

Bærende konstruksjon

Glideluke er generelt en robust luketype hvor utførelsen med massiv plate er den mest robuste. Nedbøying vil normalt være dimensjonerende og bøyepeningene blir da små. Med plane flater på alle kanter er denne utførelsen også lite utsatt for påvirkninger fra vannstrøm og ting som kommer med vannstrømmen. Korrosjonen har ingen spesielle steder å angripe.

I bjelkekonstruksjoner er stålet mer utnyttet og marginen noe mindre. Med god tilgang på luft og fuktighet kan korrosjonsprosessen på utsatte steder gå fort.

Fremmedlegemer som planker, stokker, stein o.l. kan komme i beknip, f.eks. mellom bjelker og toppstokk, når luken åpnes. Deformasjoner og svekkelse av lukebladet kan bli resultatet.

Med uheldig hydraulisk utforming kan vibrasjoner og tæringer oppstå som over tid kan forårsake brudd.

Stikkord for kontroll:

- Deformasjoner
- Tæringer, sprekke dannelse
- Svekkelse pga. korrosjon

Opptrekkstang/støttelager.

Av glidelukens manøvreringskrefter er friksjonskreftene de dominerende, mens vektkomponenten er mer beskjedne. Nedtrykkskraften er derfor i samme størrelsesorden som opptrekkskraften.

Med stor nedtrykkskraft må stangen dimensjoneres mot knekking og for å oppnå knekksikkerhet er opptrekkstenger ofte utstyrt med ett eller flere støttelager, avhengig av lengden.

Opptrekkstenger står i et miljø hvor de er meget utsatt for korrosjon. God tilgang både på luft og fuktighet, som f.eks. i plaskesonen, gir førsteklases grobunn for rusten og høy korrosjonshastighet. Det finnes mange eksempler på opptrekkstenger som er rustet helt av.

Korrosjon kan også medføre at støttelager låses fast til opptrekkstangen og således rives løs fra fundamentet når luken manøvreres. I neste omgang havarerer opptrekkstangen pga. utknekking.

Stikkord for kontroll:

- Korrosjon
- Klaringer og deformasjoner i forbindelse med støttelager.

Fastfrysing

For fastfrysing gjelder generelt samme forhold som for segmentluker.

Forkiling

Med bjelkekonstruksjon og spesielt med nedstrøms tetning kan stokker, planker, stein o.l. huke tak i bjelkene i lukebladet og trekkes med til anslag mot toppstokken når luken åpnes. Deformasjon av lukens bærende elementer kan bli resultatet og betydelig svekkelse av luken.

Stikkord for kontroll:

- Fremmedlegemer som f.eks. flyter i lukens bakvann og som stanger mot luken, fjernes før luken åpnes.
- Deformasjoner i lukens bærebjelker.

4.1.5 Rulleluker

Generell beskrivelse.

Rulleluker er planluker som styres i føringer på samme måte som glideluker. Til forskjell fra glideluker har rulleluker imidlertid ruller eller hjul i stedet for glidelister. Rullelukene får på denne måten mindre manøvreringskrefter og kan utføres slik at de lukker ved ensidig vanntrykk av egen tyngde.

Rulleluker kan brukes både som overflateluke og som dykket luke med topptetning.

Konstruksjonsmessig er rullene (hjulene) og deres opplagring det spesielle ved luketypen. Hjulenes lager eller selve hjulene må utformes på en slik måte at de kompensere for den vinkelendring nedbøyningen av lukebladet medfører.

Generelt betraktes rulleluker som mindre egnet for tapping. Lavere friksjonskrefter gir også mindre stabilitet, slik at luken lettere påvirkes av pulsasjoner fra vannstrømmen. Vibrasjoner kan medføre havari på ruller og lager.

Rulleluker er lite bruk som tappe- eller flomavledningsluker i Norge.

Bortsett fra det spesielle ved rullene, kan erfaringene med rulleluker stort sett sammenlignes med erfaringene fra tilsvarende glideluker.

4.1.6 Gummiluker

Generell beskrivelse.

Gummiluker er bygget opp av armert gummiduk som er formet til en "pølse" som strekker seg over hele bredden på lukeløpet. Luken er forankret i betongkonstruksjonen i sider og bunn av lukeløpet. Ved å sette trykk på innvendig i luken eser "pølsen" opp og sperrer for vanntrykket, mens luken gradvis faller sammen ved å redusere det innvendige trykket til duken ligger flatt langs bunnen. Vannet strømmer da over luken.

Gummiluker er overflateluker som kan være økonomisk fordelaktige ved store lukebredder. Ved små lukebredder og/eller lukehøyde over ca. 5 m er gummiluker ikke aktuelle.

Det er delte meninger om hvor godt gummiluker egner seg for regulering i mellomstillinger. Lukene har tendens til å få en V-formet innknekking på midten etter hvert som trykket evakueres. I hvilken grad dette er skadelig for gummiduken og påvirker levetiden, er noe usikkert.

En gummiluke åpner når det innvendige trykket evakueres, uten behov for strøm eller annen energitilførsel. Dette er positivt for sikker flomavledning.

Som avstengningsorgan for større magasiner, vil imidlertid utilsiktet åpning, f.eks. som følge av punktering, kunne medføre store økonomiske tap.

Gummiluker ser ut til å være best egnet ved store lukebredder hvor kravet til sikker åpnefunksjon er stor og hvor konsekvensen ved utilsiktet åpning er små.

Det er installert 2 gummiluker i Norge (1989) og driftserfaringen er foreløpig begrenset.

4.2 Manøvreringsorgan, spill

4.2.1 Hydraulisk spill

Generell beskrivelse

Hydrauliske spill har etter hvert fått større og større anvendelse og benyttes idag for de fleste luketyper.

Spillene utmerker seg med fleksibilitet når det gjelder oppstilling og arrangement og ved å være velegnet for nød-lukking og fjernstyring. En innvending mot hydrauliske spill har vært sig pga. oljelekkasje over sleider og ventilen, men her har det etter hvert kommet forbedringer.

Hovedkomponentene i et hydraulisk spill er:

- Oljetrykksanlegg med oljetank, pumper, armatur og rørforbindelse til kraftsylinder. Evt. også med akkumulator for å unngå sig.
- Kraftsylinder.

Hydrauliske spill kan enten utføres enkeltvirkende eller dobbeltvirkende.

Oljetrykksanlegg

Hydraulikkaggregatet er gjerne bygget som en enhet med alle komponenter som pumper, ventiler, filter osv. plassert på oljetanken. Skap med elektriske komponenter og betjeningsknapper er også gjerne plassert på oljetanken slik at aggregatet leveres komplett, internt koblet og prøvet.

Hydraulikkaggregatet bør fortrinnsvis stå i et tørt og oppvarmet rom. Det vil øke funksjonssikkerheten og levetiden

på de enkelte komponenter, spesielt komponenter med elektriske tilkoblinger som f.eks. styreventiler, trykkbrytere m.m. Et minimumskrav er at elektriske skap, mekaniske endebrytere o.l. har innebygget varmeelement.

Det må kun anvendes olje av type og kvalitet som er anbefalt av aggregatprodusenten.

Aggregatet kan ved sin plassering ofte være utsatt når det gjelder å få urenheter inn i oljen. Støv og skitt kan komme opp i oljen og ikke minst fuktighet/vann. Slipende partikler vil øke slitasjen generelt, mens vann vil samle seg på lav-punkter i systemet og kan over tid forårsake betydelige korrosjonstæringer. Rutinemessig filtrering og "tørking" av oljen er således en viktig del av vedlikeholdet. Ved spesiell mistanke om vann i oljen må alle lav-punkter tømmes.

Rørforbindelse mellom aggregat og kraftsyylinder ble tidligere utført i vanlig stål, mens rustfritt stål er blitt dominerende i de senere år. Flenser kan benyttes for sammenkobling, men det er mest benyttet på større rørdimensjoner. For normale dimensjoner er klemring-/snittring-koblinger det vanlige. Disse koblingene er arbeidsbesparende å bruke, men de er også ømfintlige for unøyaktigheter ved montasjen. Feste i rørenden kan glippe og koblingen åpne seg.

Ved behov for fleksibel forbindelse, f.eks. ved tilkobling til kraft-sylinder med pendellagring, kan det benyttes leddet kobling, men det mest vanlige er hydraulikkslange av armert gummi. Gummi eldes relativt raskt, spesielt under påvirkning av sollys. Sprekker i overflaten er tydelige tegn. Vann kan trekke inn gjennom sprekke i det ytre gummilaget og forårsake korrosjon på stålarmeringen. Hydraulikkslanger bør derfor fornyes rutinemessig.

Stikkord for kontroll:

- Oljenivå, oljefilter, oljetilstand (filtrering, tørking).
- Oljelekkasjer armatur/rørkoblinger.
- Hydraulikkslanger, tilstand.
- Miljø rundt aggregatet.
- Manometeravlesning i forskjellige driftsituasjoner, se om alt er normalt.
- Sikkerhetsventil, evt. trykkbrytere for endestopp.
- Endebrytere
- Startteller

Kraftsyylinder

Avhengig av luketype og arrangement kan kraftsyylinderen monteres fast eller med lagring for pendelbevegelse.

Selve sylinderen utføres i stål, innvendig honet. Stempelstangen er også vanligvis utført i vanlig stål og med hårdfor-krommet overflate. I det senere er det imidlertid blitt mer vanlig å utføre stempelstangen i rustfritt stål, spesielt i de tilfellene hvor stempelstangen i normalstilling er trukket ut av sylinderen.

Med vanlig stål i stangen kan underrusting, f.eks. i forbindelse med skader, sprengte krombelegget og ødelegge tetninger i stempelstang-gjennomføringen.

Når stempelstangen er trukket ut av sylinderen i normal posisjon, bør også returolje fra undersiden av stempelet gå til oversiden av stempelet slik at også toppen av sylinderen alltid er oljefyllt og sikret mot korrosjon.

Stikkord for kontroll:

- Skader på stempelstang/krombelegg.
- Oljelekkasje.
- Fundament og innfesting.

4.2.2 Kjedespill

Kjedespill har i hovedsak vært benyttet for sektorluker og segmentluker og spilltypen er enkeltvirkende.

Maskineriet består av tannhjulsutvekslinger mellom motor og drivaksel for kjedehjul. Kjedehjulet har tanninngrep mellom boltene i kjedet som er festet til luken. Den ubelastede enden av kjedet lagres i en kasse eller føring.

Hvor 2 spill virker sammen for manøvrering av en luke, må spillene synkroniseres, enten ved hjelp av mekanisk aksel mellom spillene eller ved hjelp av "elektrisk" aksel.

Tannhjulsoversetningenes utførelse kan variere fra de helt åpne som er ganske plasskrevende, via snekkeveksler og tannhjulsveksler i kasse til den mest kompakte utførelse som er planetgear.

De åpne oversetningene er oversiktlige og greie å føre tilsyn med, mens de lukkede oversetningene må vurderes gjennom lyd, vibrasjon, temperatur og oljens tilstand.

Kjedespill er ikke nødvendigvis selvsperrende og de er som regel utstyrt med brems.

Kjedespill kan lett overbelastes dersom luken f.eks. er frosset fast og spillet ikke er utstyrt med overlast-sikring. Sikring kan være elektrisk eller kan f.eks. bestå av et deformasjons-element med bryter i forbindelse med spillfundamentet. Spillaksler, utkraget spillramme og kjede vil normalt være mest utsatt ved overbelastning.

Kjedespill kan være arrangert slik at lager for kjedehjulsaksel sitter på utsiden av lukehuset. Slike lager vil være spesielt utsatt for slipende urenheter som f.eks. blåsesand i forbind-

else med blåserensing og maling. Lager må under slike arbeider dekkes til.

Kjedene er vanligvis av GALL-type bygget opp med gjennomgående bolter og flere lenkeplater utenfor hverandre på hver side av kjedet. Lenkeplatene låses til boltene eksempelvis ved klinking av bolteendene, skive og låsesplint eller låseskive (segerring)

Kjedene krever jevnlig rengjøring og smøring. De blir ellers stive i lenkeleddene og fungerer ikke som de skal. Det merkes først på føringen av den ubelastede kjedeenden.

Årlig høytrykksspyling, tørking og behandling med en penetrerende oljetype er nødvendig for å bevare kjedet. Videre kan det være nødvendig med demontering og behandling med noen års mellomrom for å få dekket hele kjedets lengde.

Ved slitasje og overbelastning vil kjedet kunne strekke seg slik at avstanden mellom lenkeboltene blir større enn forutsatt. Øket boltedeling vil bevirke at kjedet "klatrer" på kjedehjulet.

Stikkord for kontroll:

- Deformasjoner eller andre skader på tannhjul, aksler, lager.
- Deformasjoner ved kileforbindelser, styrepinner eller låsebrikker.
- Avlese amperemeter for å se om belastningen er normal.
- Smøre, sjekke oljenivå og -kvalitet.
- Registrere lyd, vibrasjon, temperatur.
- Skader på kjede i form av deformasjon/sprekkdannelse, korrosjon/ stivhet, brudd på låsing av lenkeplater.

4.2.3 Wirespill (ståltauspill)

Wirespill arbeider etter samme prinsipp som kjedespill, men benytter wire (ståltau) for å overføre kraft og bevegelse mellom maskineri og luke.

Spillmaskineriet er stort sett det samme som for kjedespill, men i stedet for kjedehjul har wirespill tautrommel for oppvikling av ståltauet.

For damluker, som er det aktuelle her, har tromlene gjerne riller for spoling av ståltauet, trommelbredden er tilstrekkelig for å spole hele taulengden i ett lag. Tromlene er i støpt eller sveist utførelse og har feste for tauet på den ene siden. Taufeste kan være med kilelås eller klemlås med skruer. Den sistnevnte er mest vanlig.

Når ståltauet monteres nytt i taulåsen, vil det over noe tid ha tendens til å sette seg og forspenningen i taulåsen reduseres. Det er derfor viktig at taulåser etterstrammes en tid etter at tauet er montert og at strammingen sjekkes rutinemessig senere. Flomluker har falt ned fordi taulåsen har sviktet med dambrudd som følge.

Når luken står i nedre posisjon, skal det være min. 3 turn med ståltau igjen på tromlen slik at mesteparten av taustrekket avlastes før taulåsen.

De ståltau som benyttes for lukeopptrekk, er vanligvis galvanisert. Ved kjøp av nytt tau skal man også påse at tauet leveres med innvendig impregnering fra produsent. Jevnlig rengjøring og ettersmøring er imidlertid like viktig for ståltau som for kjeder.

Wirespill av varierende utførelse har sin største anvendelse når det gjelder revisjonsluker, ofte med store heisehøyder. Det ligger imidlertid utenfor denne vurdering.

Stikkord for kontroll:

- Slitasje, sprekker, skade på trommel.
- Endefeste for ståltau, tiltrekking.
- Skade på trommelens innfesting/lagring.
- Skade på ståltau, korrosjon, knekk på tau, brudd på enkelt-tråder.

4.2.4 Skruespill

Skruespillet er bygget opp slik at en bronsemutter dreies ved hjelp av en snekke- eller tannhjulsoversetning, eller en kombinasjon av begge. Når bronsemutteren dreies, heves eller senkes gjengespindelen (skruen) avhengig av dreieretningen. Gjengespindelen holdes igjen mot torsjon v.h.a. en geideføring.

Eldre spill og små spill av nyere dato er ofte manuelle. Større spill har gjerne elektrisk motor, men bensinmotor forekommer også.

Skruespill har sjelden påbygget brems eller noen form for sperring da de aller fleste skruespill er utført selvsperrende. Med gjengestigning mindre enn 3 - 4 grader oppnås selvsperring, men samtidig en virkningsgrad lavere enn 50%.

For skruespill gjelder det samme som for tannstangspill, luken må ikke kjøres mot bunnstilling med full spillkraft, da vil det oppstå skader.

Siste del av bevegelsen mot bunnstilling bør sveives manuelt. Dersom luken butt mot et fremmedlegeme i mellomstilling, vil samme problem oppstå.

Sikring mot overlast kan skje ved å montere en friksjonskobling mellom motor og spill eller ved å montere inn et deformasjons-element med bryter, f.eks. på spillfundamentet. Sikkerhetsutstyr av denne type krever igjen tilsyn for at det til enhver tid skal fungere som forutsatt.

Stikkord for kontroll:

- Deformasjoner, skader på gjengespindel.
- Rengjøre og smøre. Gjengespindel, tannhjulsoversetninger, lager. Oljenivå på snekke-/tannhjulskasser.
- Avlese amperemeter i forskjellige belastningssituasjoner for å se at spillet går normalt.
- Oppretting av gjengespindel og geideføring slik at det ikke er unødvendige sidekrefter i systemet.

4.2.5 Tannstangspill

Tannstangspill har vært mye benyttet for eldre luker. Etter ca. 1940 har andre spilltyper i stadig større grad blitt foretrukket.

Tannstengene kan utføres knekksikre og dobbeltvirkende. Den mest vanlige utførelsen av tannstenger er 2 kanalprofiler montert sammen med "tenner" av rundstål mellom kanalene. Drivhjulets tenner går i inngrep med tannstangboltene og beveger tannstangen opp eller ned. Støtteruller holder tannstangen i inngrep med drivhjulet.

Maskineriet består gjerne av flere tannhjulsforlag og ved manuell drift er det sperrehjul ved første drivaksel da maskineriet ikke er selvsperrende.

Ved motordrift må det også være brems som trer i funksjon når motoren stanser (fjærbelastet/eletromagnetisk).

Ved motordrift vil luke eller opptrekk kunne overbelastes og deformeres dersom luken kjøres mot endestilling med full spillkraft. Siste del av bevegelsen, mot lukking, bør derfor foretas med håndkraft.

4.2.6 Reserve for spill

For flomluker kan det oppstå situasjoner der svikt i manøvreringen vil skape krise. I slike tilfeller kan det være avgjørende å ha en reservemulighet for manøvrering.

Nødstrømsaggregat

Svikt i strømtilførselen er situasjon som godt kan inntreffe i f.eks. høststorm med store nedbørsmengder. Nødstrømsaggregat, fast installert eller transportabelt, kan da redde situasjonen.

En tilsvarende reserve for et hydraulisk spill vil være å installere en ekstra hydraulisk drevet oljepumpe. Ved svikt i strømtilførselen kan f.eks. hydraulikkaggregatet på en landbrukstraktor drive reservepumpen.

Mobilkran

Dersom adkomst ligger til rette for mobilkran og manøvreringskreftene er innenfor kapasitetsområdet, kan mobilkran være en god reserve. Festepunkt på luken må forberedes på en slik måte at det er tilgjengelig i alle situasjoner. Det bør også være en overenskomst med eier av passende mobilkran.

Reserve spill

I enkelte tilfeller vil eget manøvreringssystem som virker helt uavhengig av det ordinære spillet, være det beste.

Som eksempel på slikt utstyr for en segmentluke med ensidig hydraulisk opptrekk kan nevnes:

- Separat lite hydraulikkaggregat drevet med bensinmotor eller håndpumpe.

- Hydraulisk sylinder med kort slaglengde festet på pilartoppen.
- Kjetting festet til luke, ført over brekkskive (kabelarhjul) på pilartoppen bort til sylinderens stempelstang.

Med takskifte på kjettingen kan luken heves og senkes over hele manøvreringsområdet.

4.3 Styring

Generelt.

Med styring menes her en elektrisk/elektronisk hjelpefunksjon som starter og stopper lukens manøvreringsspill. Styringen vil i praksis ende opp i de 3 bryterfunksjonene åpne - stopp - lukke.

Betingelsen for at en luke skal kunne styres er at luken kan beveges (åpnes/lukkes) ved hjelp av en motor, ved hjelp av egen tyngde og/eller ved hjelp av vanntrykket.

I sin enkleste form foretas betjeningen manuelt med brytere i styreskap plassert i lukehuset. (Manuell, lokal styring)

I neste trinn foretas betjeningen fortsatt manuelt, men betjeningsstedet er trukket vekk fra luken, f.eks. en drifts-sentral. (Manuell, fjernstyring)

Ved manuell betjening må opplysninger som har betydning for lukestillingen hele tiden komme frem til den person som foretar betjeningen. Det er opplysninger som overvannsnivå, tilsig, evt. antall aggregater i drift osv., samt angivelse av lukens åpningsgrad. Opplysningene vurderes og gir grunnlag for når og til hvilken stilling luken(e) manøvreres.

Spesielt i forbindelse med kraftverk er det blitt vanlig at damluker styres automatisk.

Det er i første rekke overvannsnivå som legges til grunn for styringen. Signal for nivåmåler går til elektronikkenhet i styresystemet. Elektronikken regner om overvannsnivået til ønsket lukestilling og ved evt. avvik sender nytt betjenings-signal til lukespillet.

Ved luker hvor vannet ved utilsiktet stor åpning/lukking medfører fare, bør holdekobling ikke benyttes ved fjernmanøvrering. Maksimal lukebevegelse pr. manøvreringssignal anslagsvis 10 - 15% av total lukebevegelse.

Evt. aggregater i kraftstasjon og evt. flere damluker kan legges inn på det samme styringssystemet.

I tillegg til at styreenheten må funksjonere tilfredsstillende rent teknisk må den også forhåndsprogrammeres på en fornuftig måte. Dette er en individuell sak for hvert anlegg og krever at den som foretar programmeringen har innsikt og mottar riktige underlagsdata om luke og anlegg forøvrig. Dersom underlagsdata er unøyaktige vil det også innvirke på nøyaktigheten av det ferdige systemet.

At overføringen av signal fra et sted til et annet foregår pålitelig og uten forstyrrelser er helt avgjørende for at fjernstyring og automatisk styring skal fungere.

Over kortere avstander, innen ett og samme anlegg, brukes kabel. Det er viktig at kabelen ikke ødelegges selv om andre deler av anlegget skades, f.eks. brann i kraftstasjonen.

Over lengere avstander benyttes gjerne televerkets linjer. Radioforbindelse kan benyttes, men anses å være mindre pålitelig.

Hovedpunkter å være oppmerksom på:

Manuell styring, lokal

- Styreskap med betjeningsbrytere/-knapper.
- Stillingsviser for luke.
- Nivåmåler/målestav for overvannsnivå.
- Evt. andre data som har betydning for lukestillingen.
- Sikker adkomst til betjeningsstedet i alle situasjoner.

- Alarmsignal for tilkalling av betjening på tider hvor anlegget er ubetjent.

Manuell fjernstyring

- Styreskap med kontaktorer, reléer osv. ved lukespill. Betjeningsbrytere/knapper på sted for fjernbetjening.
- Stillingsviser for luke m/signalgiver. Viserinstrument på sted for fjernbetjening.
- Nivåmåler for overvannsnivå m/signalgiver. Viserinstrument på sted for fjernbetjening.
- Signalgiver og viserinstrument for evt. andre data som har betydning for lukestilling.
- Alarm for unormalt/kritisk overvannsnivå.
- Signaloverføring med pålitelighet.
- I tillegg vil det være mulighet for lokal betjening med velgerbryter lokal/fjern.

Automatisk styring

- Ved automatisk styring vil systemet vanligvis bygges opp på samme måte og med de samme hovedkomponenter som for manuell fjernstyring.
- I tillegg kommer den elektroniske styreenhet. Denne må i utgangspunktet dekke de aktuelle funksjoner og programmeres ut fra forholdene på det enkelte anlegg.

Underlagsdata må være nøyaktige.

5. MENNESKELIG SVIKT

5.1 Begrepet menneskelig svikt

Menneskelig svikt er i denne sammenheng knyttet direkte til betjening av luken. Når lukeutstyret funksjonsmessig og teknisk er i orden, men luken likevel manøvreres/ikke manøvreres på en slik måte at luken ikke ivaretar sin funksjon, da må feilen tilskrives menneskelig svikt.

Ved å legge forholdene for driftspersonalet til rette kan faren for feilmanøvrering reduseres. Det gjelder eksempelvis gjennomarbeidet organisasjonsplan, hvor hver person får seg tildelt oppgaver og ansvar. Teknisk underlag og opplæring slik at den enkelte får forståelse for det utstyr som skal betjenes, samt instruksjoner og rutiner for å gjøre riktig ting til riktig tid.

5.2 Organisasjon

For sikkerheten er det avgjørende at det til enhver tid er klart og entydig hvilke personer som har ansvar for å utføre hvilke funksjoner. Organisasjonsplan og plan for vaktordning vil bidra til denne informasjon.

Av organisasjonsplanen skal fremgå hvem som har det operative ansvar for driften av lukene. Det er så opp til denne personen å sørge for at organisasjonen i sin helhet fungerer og ivaretar de drifts- og sikkerhetsmessige forutsetninger som fremgår av regler og forskrifter. Organisasjonsplanen skal videre fortelle de øvrige medlemmer hvor i systemet de har sin plass.

Betjeningen må organiseres i en vaktordning slik at det alltid er en person som har ansvar for betjeningsovervåking av lukene. Hvordan vakttjenesten skal legges opp, vil avhenge av om det

f.eks. er lokal- eller fjernbetjening av lukene, om det er fjernavlesing av overvannsnivå osv.

Med fjernbetjening fra driftssentral kan det under normale forhold være tilstrekkelig med tilsyn og vedlikehold innenfor normal arbeidstid og utkallelse bare når det oppstår spesielle situasjoner. Med lokal betjening vil det være behov for hyppigere besøk på anlegget og kanskje kontinuerlig overvåking i perioder med store variasjoner i vannføringen.

Vakt-ordningen må også omfatte personell på ingeniørnivå som kan kontaktes for råd og veiledning i unormale situasjoner og evt. møte frem dersom det er nødvendig.

I perioder med flom, isgang eller tilsvarende fare for komplikasjoner, vil det være naturlig å forsterke vaktholdet.

5.3 DOKUMENTASJON

I dokumentasjonen skal bl.a. inngå:

Funksjonsbeskrivelse.

*Tegninger, beregninger, systemskjema, el.skjema
(virkemåte).*

Betjeningsinstruks.

Vedlikeholdsinstruks.

Utstyrets oppbygging og virkemåte, hvordan utstyret betjenes og vedlikeholdes skal fremgå av den tekniske dokumentasjonen.

Tegninger som viser konstruksjonenes oppbygging og virkemåte.

Arrangementstegninger som viser helheten og hvordan de forskjellige deler av konstruksjonene virker sammen, overføring av krefter til betongkonstruksjoner osv.

Delarrangement- og detaljtegninger som viser tetninger, lagringer, styringer, innfestninger osv.

Systemtegninger for hydrauliske anlegg hvor oppbygging og virkemåte fremgår.

Elektriske skjema-tegninger hvor virkemåte og koblingspunkter fremgår.

Reservedelslister med oversikt over hva en selv har på lager. Korrespondanse, prøverapporter, tidligere registreringer.

Det vesentlige av dokumentasjonen skal være tilgjengelig både lokalt og ved driftsentral.

Betjeningsinstruks og vesentlig informasjon som hydraulikk-skjema, elektrisk skjema osv. bør være oppslått på veggen på betjeningsstedet.

5.4 Merking

Alle betjenings- og vedlikeholdspunkter samt hovedkomponenter på spill, hydraulikkanlegg osv. skal merkes fysisk med samme kode (navn, numerisk eller alfabetisk kode) som er benyttet på tegninger og i skjema samt i betjenings- og vedlikeholdsinstruks.

Merkingen skal være tydelig, av robust utførelse og festet på en slik måte at den ikke faller av.

5.5 Opplæring

Før personer gis betjeningsansvar må de gis en systematisk opplæring i betjening, ettersyn og vedlikehold av det luke-utstyr som skal betjenes.

- Opplæringen må gi en grunnleggende forståelse for hvilken funksjon den aktuelle luken skal fylle, både under normale forhold og under de mest ekstreme forhold som kan oppstå.
- Feilsøking med påvisning av feil og evt. utbedring av disse i den grad det dreier seg om enklere feil.
- Reservemulighet, ved teknisk svikt i ulike situasjoner hvor feilen er av mer alvorlig karakter som ikke lar seg utbedre umiddelbart, må gjennomgås.
- Betjening i henhold til instruks.
- Vedlikehold i henhold til instruks.
- Gjennomføring av øvelser hvor kritiske situasjoner simuleres, vil styrke personellens evne til å foreta riktige disposisjoner i pressede situasjoner.
- Funksjonsprøver og ettersyn av utstyret, som f.eks.
 - * åpning og lukking som normalt
 - * registrering av u-lyd eller vibrasjon
 - * kontroll av oljenivå, lekkasjer, smøring
 - * prøving av signalgiver, signaloverføring

5.6 Rutiner for inspeksjon og prøving av utstyret

Gjennom rutinemessig tilsyn med lukeutstyret kan feil påvises og utbedres på et tidlige stadium, før feilene utvikler seg til alvorlige driftsforstyrrelser eller funksjonssvikt. Som den ene ytterlighet vil dette være de enkleste rutiner, som f.eks. at driftspersonalet sjekker oljenivå på hydraulikkanlegget hver gang de er innom lukehuset eller at de ser etter lekkasje hver gang de går over dammen. Som den annen ytterlighet, vil det være omfattende inspeksjon og funksjonsprøving som krever forberedelse og som utføres av faglig ekspertise på området. Den siste med intervall avhengig av tilstand og bruddkonsekvenser. Denne form for tilsyn vil være nedfelt i Vassdragstilsynets nye "Retningslinjer for stenge-/tappeorganer og rør i vassdragsanlegg".

Hovedtilsyn utføres av faglig ekspertise innen gjeldende fagfelt, f.eks. maskinteknisk rådgivende ingeniørfirma med særlig erfaring på området.

Prøveprogram skal utarbeides og rapport sendes Vassdrags-tilsynet.

Intervall mellom hovedtilsyn kan variere fra 1 til 18 år avhengig av bruddkonsekvens og tilstand.

Periodisk tilsyn utføres av eget personell med kompetanse på ingeniørnivå innen gjeldende fagfelt.

Inspeksjonsprogram utarbeides med rapportering til selskapets operativt ansvarlige.

Periodisk tilsyn utføres 1 - 2 ganger pr. år og legges fortrinnsvis til vår og/eller høst, gjerne umiddelbart etter flommen, slik at evt. uregelmessigheter kan utbedres før neste flomperiode.

Driftstilsyn utføres av driftspersonell i forbindelse med vanlig drift.

Hensikten er at det blir en innarbeidet rutine hos alt driftspersonale å bevisst registrere eventuelle avvik fra det normale, f.eks. oljenivå, oljelekkasje, lekkasje på luke osv.

Avvik fra det normale rapporteres til selskapets operativt ansvarlige.

Spesielt tilsyn utføres etter store belastninger som f.eks. flom utover det normale.

5.7 Instruks for betjening av utstyr og varsling i unormale (kritiske) situasjoner

Man kan tenke seg en situasjon der en luke skal åpnes for å kompensere for økende vannføring. Luken lar seg imidlertid ikke åpne på vanlig måte.

Dette er en situasjon som stiller store krav til operatøren som må tenke riktig og handle riktig under ett press som stadig blir sterkere.

Sannsynligheten for at de riktige tingene blir gjort på en effektiv måte vil være betydelig større dersom denne situasjonen er vurdert på forhånd og det er satt opp en instruks for hvordan operatøren/ vakten skal forholde seg. I tillegg bør det gjennomføres øvelser hvor kritiske situasjoner simuleres. Instruksen kan på denne måten innarbeides og være kjent når den kritiske situasjonen melder seg.

Mulige alternativ kan eksempelvis være:

- åpne en annen luke
- kjøre mere vann gjennom kraftstasjonen
- starte nødstrømsaggregat
- tilkoble reserve opptrekk
- tilkalle hjelp for manuell heving av luken
- tilkalle mobilkran for heving av luken

Der hvor det er flere forskjellige flomluker på samme anlegg må hver luke vurderes for seg og nødprosedyre/instruks utarbeides for de aktuelle situasjoner som kan oppstå.

Et system for varsling må alltid være forbedret slik at den som har vakt kan tilkalle forsterkninger om det skulle være nødvendig.

6. GENERELL BESKRIVELSE AV PRINSIPPENE FOR FEILTRE-, HENDELSESTRE- OG PÅLITELIGHETSANALYSE.

6.1 Feiltreanalyse

Et feiltre er logisk diagram som illustrerer sammenhengen mellom en uønsket hendelse i et teknisk system og årsaken til denne hendelsen. Årsakene kan være miljøfaktorer, menneskelige feil, normale hendelser (hendelser som man forventer skal inntreffe i løpet av systemets levetid) og rene komponentfeil.

Et feiltre består av symboler som viser tilstandene til komponentene (inngangshendelsene) i systemet og sammenhengen mellom disse inngangshendelsene og systemets tilstand. De grafiske symbolene som viser sammenhengene kalles logiske porter. Utgangen av en gitt logisk port er bestemt av portens inngangstilstander. En oversikt over de mest benyttede feiltresymboler er vist på figur 6.1.

Når man skal konstruere et feiltre, starter man alltid med å spesifisere en uønsket hendelse i systemet. Denne hendelsen kalles topphendelsen. Detter må man tenke ut hvilke feil (hendelser) som kan være direkte årsak til denne topphendelsen. Disse hendelsene knytter man sammen med topphendelsen via en logisk port. Man arbeider seg så suksessivt nedover til det man kaller inngangshendelsen på komponent- eller detaljnivå. Analysen gjennomføres altså ved å spørre "Hva er årsakene?" Utviklingen av årsakskjedene stanser når man har nådd det ønskede detaljeringsnivå.

En av fordelene ved å bruke feiltreanalyse er at den som foretar analysen blir tvunget til å forstå systemet til bunns. Mange svakheter kan derfor bli korrigert allerede mens treet blir konstruert.

Et eksempel på et feiltre er vist i figur 6.2.

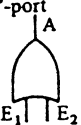
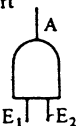
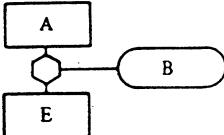

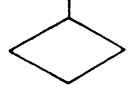
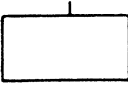


	BETEGNELSE OG SYMBOL	BETYDNING
LOGISKE KOPLINGER	"ELLER"-port 	Utgangshendelsen A inntreffer hvis minst én av inngangshendelsene E_i inntreffer. Antall inngangshendelser er vilkårlig.
	"OG"-port 	Utgangshendelsen A inntreffer bare hvis samtlige av inngangshendelsene E_i inntreffer. Antall inngangshendelser er vilkårlig.
	"BETINGELSES"-port 	Utgangshendelsen A inntreffer dersom inngangshendelsen E inntreffer og betingelsen B er til stede.
INNGANGSHENDELSER (TILSTANDER)	"NORMAL"-inngang 	Symbol for komponent i primær feiltilstand, oppstått under normal drift.
	"SEKUNDÆR"-inngang 	Symbol for sekundær feiltilstand oppstått p.g.a. ekstreme miljøbetingelser, mangelfullt vedlikehold o.l. Årsakene til hendelsen (tilstanden) er ikke undersøkt nærmere.
TILSTANDSBESKRIVELSE	"KOMMENTAR"-rektangel 	Hendelser (tilstander) beskrives verbalt i rektanglet. Kommentarrektangler plasseres vanligvis over alle logiske porter og inngangshendelser.
OVERFØRINGSYMBOLER	"OVERFØRING"-inn  "OVERFØRING"-ut 	Overføringssymboler for videre utvikling av en årsakskjede. Brukes når samme gren inngår flere steder i feiltreet, og når feiltreet må tegnes over flere sider.

Fig.6.1 Feiltresymboler

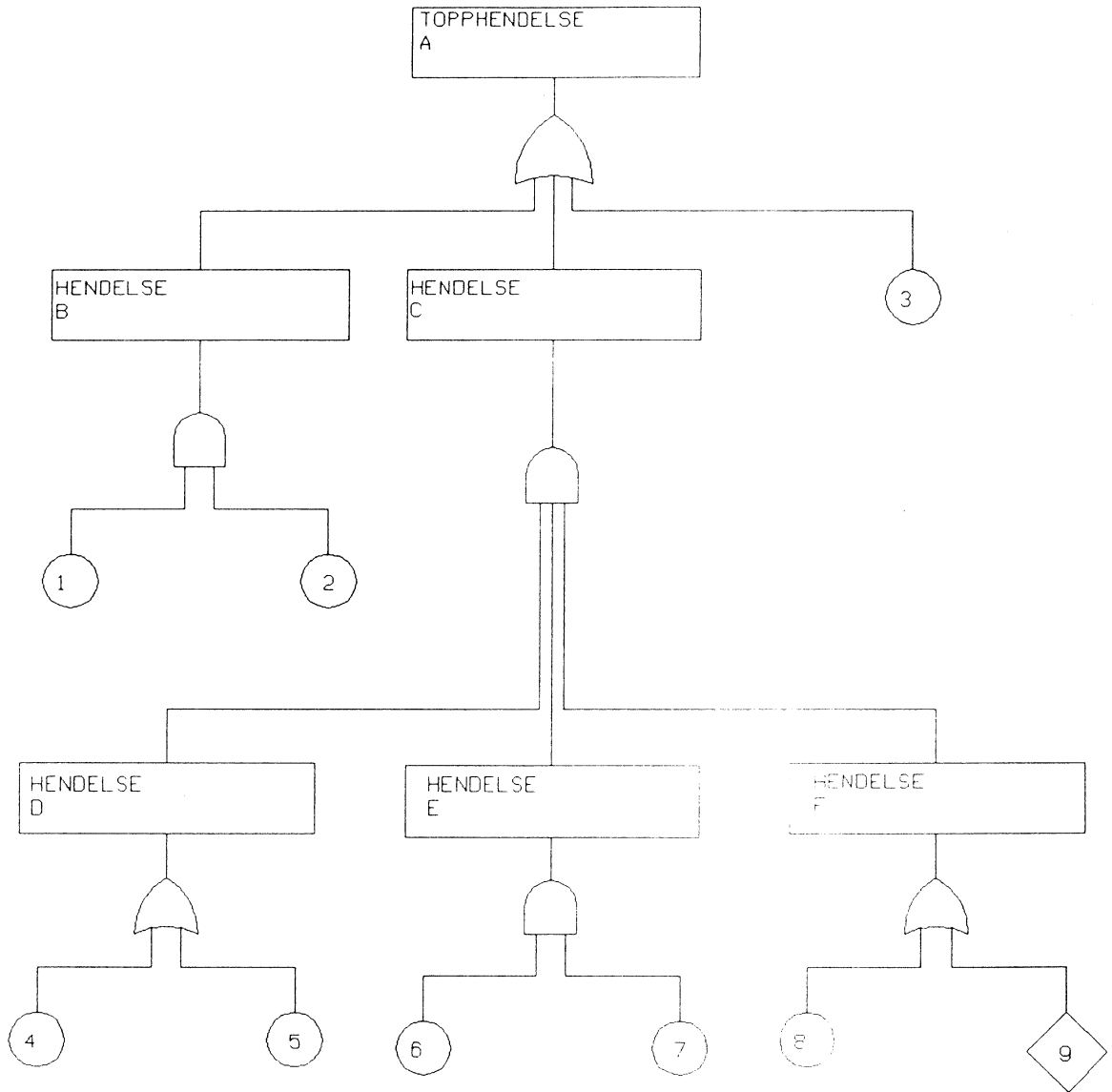


FIG. 6.2 EKSEMPEL PÅ FEILTRE

6.2 Hendelsestreanalyse

Et hendelsestre brukes for å undersøke nærmere et forløp av hendelser, ulykkessekvenser, som etterfølger en utgangshendelse. Oppbyggingen av et hendelsestre er vist i figur 6.3. Den øvre delen av figuren viser basistreet som viser de mest sannsynlige alternative feil eller hendelser som kan inntreffe her markert med A,B,C osv. Dette basistreet må være utredet på forhånd feks ved hjelp av feiltreanalyse og danner da grunnlaget for en nærmere undersøkelse i hendelsestreet under.

Hendelsestreet konstrueres ved å bruke "foroverlogikk" i motsetning til konstruksjon av feiltreet som var "bakoverlogikk". Man starter til venstre i treet og stiller spørsmålet: "Hva skjer hvis funksjonen eller komponenten A ikke fungerer/fungerer?" Ved å arbeide seg gjennom hele feiltreet på den måten får man en oversikt over det mest sannsynlige hendelsesforløpet. Sannsynligheten for at hver komponent/funksjon skal fungere/ikke fungere kan så avsettes på hver avgrening i treet. Denne sannsynligheten må undersøkes på forhånd ut fra et statistisk materiale eller ut fra andre metoder.

Har man sviktsannsynligheten for hver komponent gjennom hele hendelsestreet kan man finne sviktsannsynligheten for hver gren i hele systemet som vist på figuren.

En annen måte og finne sviktsannsynligheten i et system på er ved hjelp av pålitelighetsanalyse.

F = SVIKTSANNSYNLIGHET

BASISIRE		A	B	C	D	E	SVIKTSANNSYNLIGHET KONSEKVENNS	NR.
HENDELSESNR. 0		FUNGERER	FUNGERER	FUNGERER	FUNGERER	FUNGERER		
		1	2	3	4			
		JA	JA	JA	JA	JA	F_A Bem.1	1
		NEI	NEI	NEI	NEI	NEI	$F_A * F_{E1}$	2
		JA	NEI	NEI	NEI	NEI	$F_A * F_{D1}$	3
		NEI	NEI	NEI	NEI	NEI	$F_A * F_{D1} * F_{D2}$	4
		JA	JA	JA	JA	JA	$F_A * F_{C1}$	5
		NEI	NEI	NEI	NEI	NEI	$F_A * F_{C1} * F_{E3}$	6
		JA	NEI	NEI	NEI	NEI	$F_A * F_{C1} * F_{D2}$	7
		NEI	NEI	NEI	NEI	NEI	$F_A * F_{C1} * F_{D2} * F_{E4}$	8
		JA	JA	JA	JA	JA	$F_A * F_B$	9
		NEI	NEI	NEI	NEI	NEI	$F_A * F_B * F_{E5}$	10
		JA	NEI	NEI	NEI	NEI	$F_A * F_B * F_{D3}$	11
		NEI	NEI	NEI	NEI	NEI	$F_A * F_B * F_{D3} * F_{E6}$	12
		JA	JA	JA	JA	JA	$F_A * F_B * F_{C2}$	13
		NEI	NEI	NEI	NEI	NEI	$F_A * F_B * F_{C2} * F_{E7}$	14
		JA	NEI	NEI	NEI	NEI	$F_A * F_B * F_{C2} * F_{D4}$	15
		NEI	NEI	NEI	NEI	NEI	$F_A * F_B * F_{C2} * F_{D4} * F_{E8}$	16

Bem.1 DETTE ER EN TILNÆRMING TIL $F_A(1-F_B)(1-F_C)(1-F_{D1})(1-F_{E1})$ SOM KAN GJØRES NÅR ALLE F'ENE ER VELDIG SMÅ. DE SAMME TILNÆRMINGER ER GJORT NEDEFOR.

FIG. 6.3 EKSEMPEL PÅ HENDELSESTRE

6.3 Pålitelighetsanalyse

Pålitelighetsanalyse er et verktøy som kan bidra til å karakterisere og klarlegge tekniske konstruksjoners/systemers driftsegenskaper og ulike funksjonstilstander. Det grunnleggende begrep innen pålitelighetsteknikken er påliteligheten til konstruksjoner/systemer.

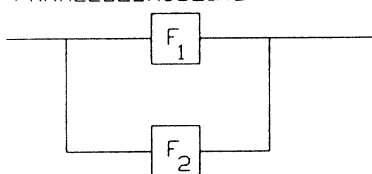
Påliteligheten er sannsynligheten for at det tekniske system eller komponent skal oppvise spesifiserte funksjonstilstander med gitt belastning over en gitt tid i et spesifisert miljø. Sviktende funksjon innenfor det spesifiserte tidsrom kan være mer eller mindre katastrofal. Påliteligheten gir bare uttrykk for at så ikke skal skje. Eventuelle konsekvenser som følge av en eller annen funksjonssvikt omfattes ikke av pålitelighetsbegrepet.

Den prinsipielle framgangsmåten når pålitelighetsegenskapene til et system ønskes klarlagt, kan oppdeles i følgende trinn:

1. Klarlegging av alle pålitelighetsegenskapene til de enkelte deler, komponenter som inngår i systemet.
2. Analysere virkningen av mulige funksjonstilstander for de enkelte deler/komponenter på systemets funksjonstilstander. Feks hvilken virkning har et lager som svikter i en gearkasse på bilens egenskaper. Denne analysen kan feks gjøres ved hjelp av feiltreanalyse.
3. "Summere sammen" alle enkeltdelenes pålitelighetsegenskaper på en slik måte at verdifull informasjon om systemets pålitelighetsegenskaper kan fastlegges. Dette kan hensiktsmessig fremstilles i et pålitelighetsblokkdiagram som vist på figur 6.4. Hver blokk representerer en komponent eller hendelse og tallet i blokken angir sannsynligheten for svikt eller funksjon.

F_1 OG F_2 ER SVIKTSANNSYNLIGHETEN FOR BLOKKEN

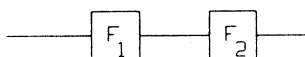
PARALLELLKOBLING



SVIKTSANNSYNLIGHET FOR SYSTEMET, F_S

$$F_S = F_1 * F_2$$

SERIEKOBLING



SVIKTSANNSYNLIGHET FOR SYSTEMET, F_S

$$F_S = 1 - (1 - F_1) * (1 - F_2)$$

F_1 OG F_2 ER UAVHENGIGE HENDELSER

FIG. 6.4 EKSEMPEL PÅ PÅLITELIGHETS BLOKKDIAGRAM

Pålitelighetsblokkdiagrammer er en alternativ måte til feiltremetoden å fremstille hendelser på. Blokkene representerer funksjoner istedenfor feil slik at det blir et suksess-tre istedenfor feiltre.

I en parallellkopling er systemets sviktsannsynlighet $P_s(F)$ lik produktet av hver enkelt komponents sviktsannsynlighet, F_1, F_2, F_3 etc. dvs $P_s(F) = F_1 \times F_2 \times F_3$ etc. Et parallelt pålitelighetsblokkdiagram tilsvarer en OG-port i feiltreet.

I en seriekopling er systemets funksjonssannsynlighet, $1 - P_s(F)$, lik produktet av hver komponents funksjonsannsynlighet, $1 - F_1, 1 - F_2$ etc dvs $1 - P_s(F) = (1 - F_1) \times (1 - F_2)$. Et seriekoplet pålitelighetsblokkdiagram tilsvarer en ELLER-port i feiltreet.

Overnevnte sammenhenger gjelder kun hvis komponentenes sviktsannsynligheter, dvs pålitelighetsegenskapene, er uavhengig av hverandre. Blir enkeltdelene åpenbart avhengig av hverandre pålitelighetsmessig i systemet, kompliseres pålitelighetsberegningene ved at en må skaffe seg ytterligere informasjon om graden av avhengighet.

Nesbru, 27.februar 1992

Odd Martinsen/P.Schaanning



PROSJEKT DAMSIKKERHET

FUNKSJONSSIKKERHET VED FLOMLUKER

BRASKEREIDFOSS KRAFTVERK

P. Schaanning
27. februar 1992

INNHold

1.	ANALYSENS HENSIKT OG HOVEDKONKLUSJON	1
2.	BESKRIVELSE AV ANLEGGET	3
3.	OVENFORLIGGENDE DAMANLEGG	14
4.	ENKEL KONSEKVENSTREDNING AV DAMBRUDD OG MAGASINVANNSTAND	14
5.	TEKNISKE DATA FOR ANLEGGET	15
6.	KRITISKE SITUASJONER	21
7.	FUNKSJONSSIKKERHETSANALYSE	25
8.	FEILSANNSYNLIGHETER, ENKELTHENDELSER OG SAMMENSETTE HENDELSER.	48
9.	TILTAK	79
10.	DRØFTING AV ANALYSEN	81

Kapittel 3,4 og 5 er forfattet av prosjektleder Svein Larsen.

1. ANALYSENS HENSIKT OG HOVEDKONKLUSJON

Hensikt

Denne analysen er ment å være en rettleiding til dameiere om hvordan man kan gå fram når man skal foreta en vurdering av funksjonssikkerheten av flomluker på et anlegg.

I analysens generelle del er de tekniske installasjoner og driftspersonalets forutsetninger gjennomgått på et generelt grunnlag. Ut fra kunnskap og erfaring er det pekt på forhold som hver for seg har betydning for det totale anleggets funksjonssikkerhet. Det er foretatt en generell beskrivelse av enkelte analysemetoder som kan egne seg for å undersøke påliteligheten og funksjonssikkerheten til luker på et damanlegg.

For å få et mer realistisk inntrykk av forholdene, er analysen knyttet opp til bestemt anlegg, nemlig Braskereidfoss Kraftverk. Hensikten med dette er at de generelle betraktninger og analysemetoder blir underbygget med et praktisk eksempel slik at ikke analysen blir for hypotetisk.

Hovedkonklusjon

På bakgrunn av den analysen som er gjennomført, mener vi at den totale funksjonssikkerheten for lukene på Braskereidfoss er god. Anlegget har flere luker å spille på som kan brukes og har gode reservemuligheter for strømforsyning. Det er imidlertid enkelte svake ledd i systemet som kan forbedres. Den viktigste svakheten teknisk sett ligger først og fremst i det automatiske styrings- og varslingsystemet som styrer lukene og varsler hjemmevakta ved en feil. Det er også en svakhet at strømkablene til de tre damlukene er ført samlet under brua.

Hjemmevaktas funksjon, dvs at det er bemanning på anlegget i løpet av kort tid, har stor betydning for den totale funksjons-sikkerheten av lukene.

Analysen viser også at feiltre- og pålitelighetsanalyser er metoder som godt egner seg for risikoanalyser innenfor kraft-
verksektoren. Metodene er da også en del brukt i utlandet innenfor risikoanalyse av kjernekraftverk.

2. BESKRIVELSE AV ANLEGGET

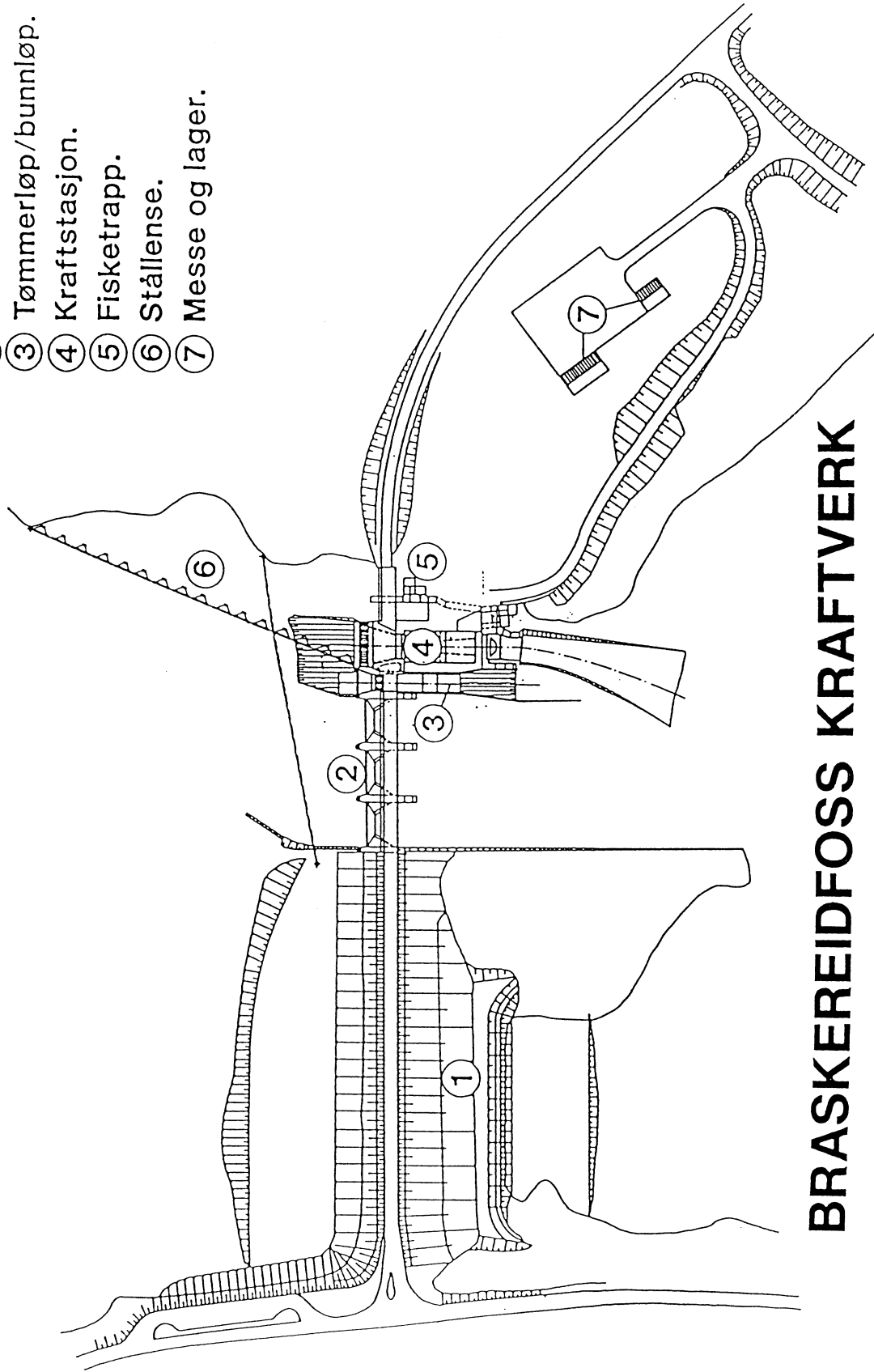
2.1 Generelt

Braskereidfoss kraftverk ligger i Glomma ca 25 km syd for Elverum. Kraftverket har installert ett rørturbinaggregat med effekt på 20 MW ved en vannføring på 270 m³/s og fallhøyde 9,5 m. Vestre del av dammen består av en fyllingsdam fundamentert på løsmasser. Østre del består av en betongseksjon som er fundamentert på fjell og inneholder kraftstasjon, luker, tømmerløp, og fisketrapp. Flommer avledes ved hjelp av 4 stk overflateluker og 1 stk bunnluke.

Alle luker styres automatisk etter vannstanden i magasinet. Ved flom åpnes som regel flere luker samtidig til delåpninger for å fordele strålen over dambredde. Hvilke luker som skal brukes til enhver tid for flomavledning kan programmeres inn i lukestyringen av kraftverkbetjeningen.

Overforliggende kraftverk er Skjefstadfoss kraftverk. To store overforliggende magasin er Osensjøen og Storsjøen.

- ① Fyllingsdam.
- ② Flomluker (3 stk.)
- ③ Tømmerløp/bunnløp.
- ④ Kraftstasjon.
- ⑤ Fisketrapp.
- ⑥ Stållense.
- ⑦ Messe og lager.



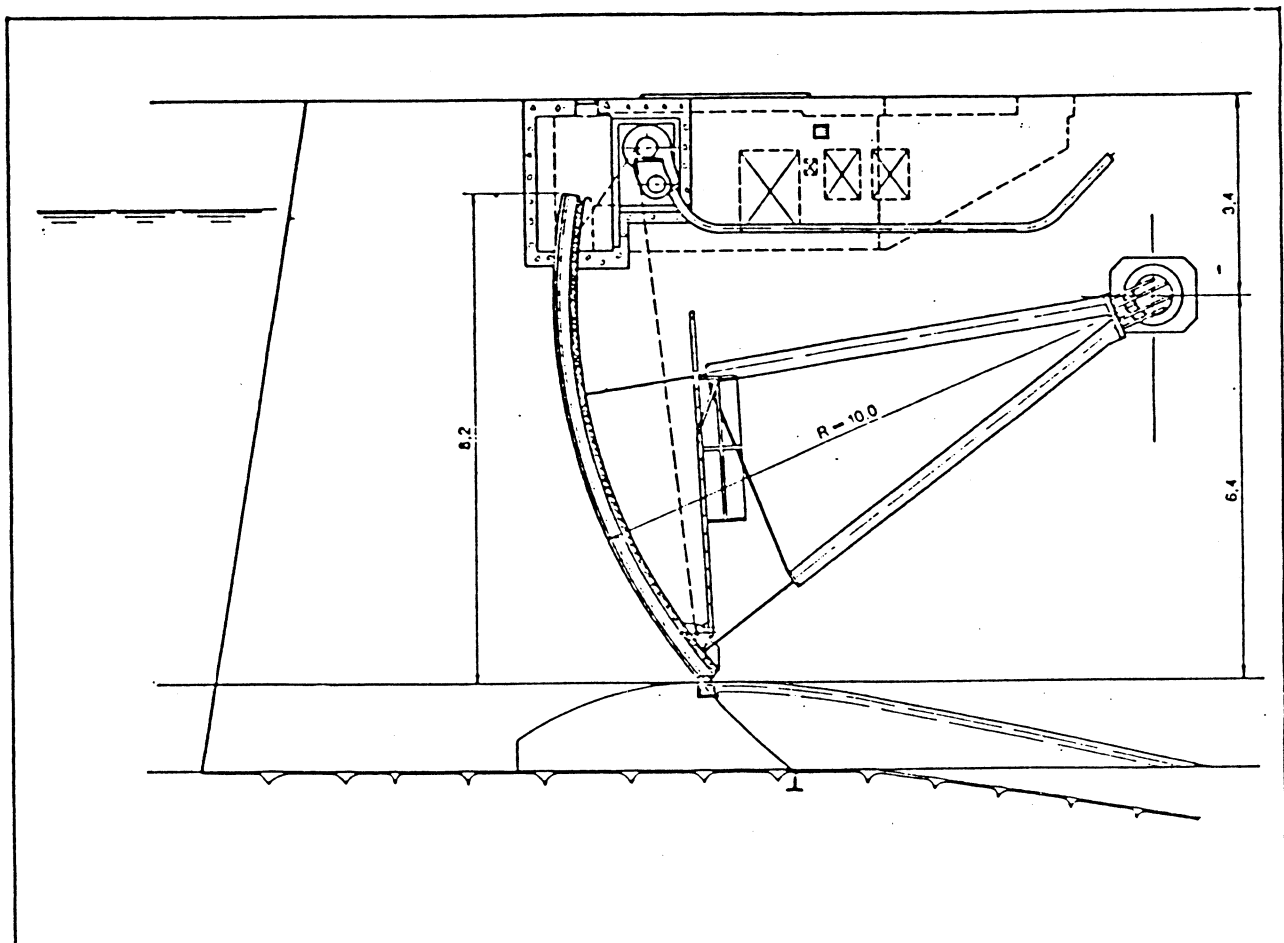
BRASKEREIDFOSS KRAFTVERK

OVERSIKT

SEGMENTLUKER

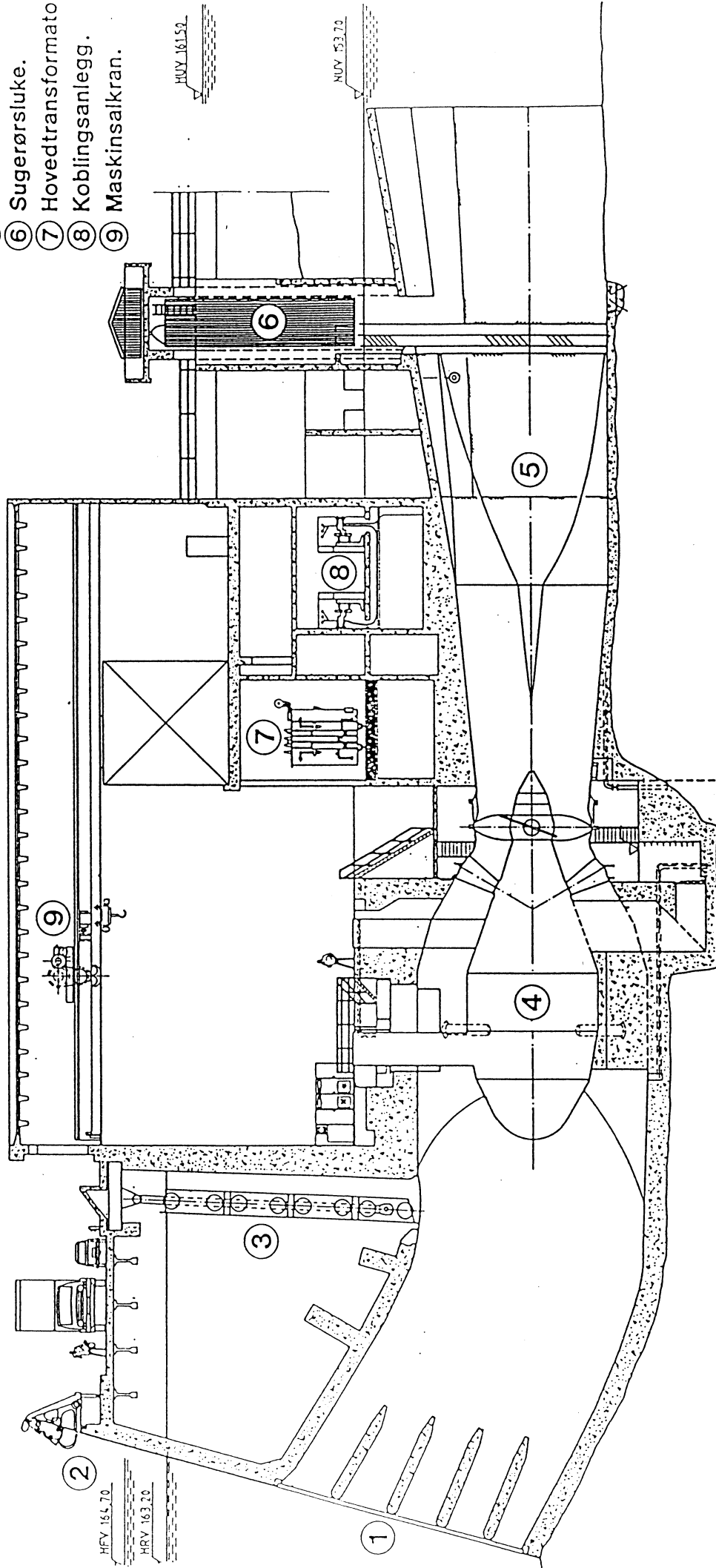
BRASKEREIDFOSS KRAFTVERK

- Bredde : 20,0 m
- Høyde : 8,2 m
- Drivverk : 2 stk 40 tonns kjedespill
- Varme : lukeskjold ca 35 kw, föringer og
bunnterskel ca 4kw
- Åpne-og lukketid : ca 13¹/₂ min.
- Maks. avledning : ca 850 m³/s pr. luke



BRASKEREIDFOSS KRAFTVERK

- ① Inntaksgrind.
- ② Grindrensker.
- ③ Inntaksluke.
- ④ Aggregat.
- ⑤ Sugerør.
- ⑥ Sugerørsluke.
- ⑦ Hovedtransformator.
- ⑧ Koblingsanlegg.
- ⑨ Maskinsalkran.



SNITT KRAFTSTASJON

2.2 Flomavledningsystemet

Tekniske data vedr.luker med opptrekk

Flomluker

Det er 3 stk flomluker i dammen. Lukene er av typen segmentluker der vannet går under luka og der lukene må åpnes ved hjelp av ekstern krafttilførsel. Hver luke har følgende data:

Lysåpning : B x H = 20 x 8,2 m.

Karakteristisk vanntrykk: 9,2 m v.s

Karakteristisk istrykk: 2 t/m

Kapasitet: ca 800 m³/s ved HRV 163,2 og ca 1070 m³/s ved
dim.flomvannst. kt 164,7

Luketerskel: kote 155,2

Overkant luke: kote 163,4

Topp pilar mellom luker: kote 165

Luka har to bein som hver er opplagret i et glidelager i sidepilaren. Lukas frontplate, sideføringer og bunnerskel er oppvarmet med varmekabler vinterstid. Opptrekket består av to stk kjedespill, et på hver side av luka.

Spillene er plassert inne i sidepilaren på hver side. Hvert lukespill består av en elektromotor for 220 V vekselstrøm, en synkroniseringsmotor, en snekkeveksel og et planetgir som driver selve kjedet.

Synkroniseringsmotorene fungerer som "elektrisk aksel" og har til hensikt å sørge for at de to kjedene trekker likt på begge sider av luka.

Normalt er det disse lukene som blir brukt som flomavledning.

Tømmerluke

Ved siden av flomlukene er det installert en tømmerluke i overflaten. Dette er en luke av typen "sektorluke" der vannet går over luka. Denne luka har følgende data:

Lysåpning: B x H= 8,0 x 4,0 m

Karakteristisk vanntrykk: 3,8 m v.s

Karakteristisk istrykk : 2 t/m

Kapasitet: 100 m³/s ved HRV 163,2 og ca 150 m³/s ved dim
flomvannst. kote 164,7

Overkant luke i åpen stilling: kote 159,8

Overkant luke i stengt stilling: kote 163,4

Luka var opprinnelig beregnet for tømmerfløting. Sideføringer er oppvarmet vinterstid ved hjelp av varmekabler.

Opptrekket er to stk kjedespill som for flomlukene.

Bunnluke

Under tømmerluka er det installert en bunnluke. Dette er en luke av typen "segmentluke" som er montert helt dykket. Denne luka har følgende data:

Lysåpning: B x H = 8 x 2,8 m

Karakteristisk vanntrykk: 15,1 m v.s

Kapasitet: 270 m³/s ved HRV 163,2 (som for turbinen) og
ca 300 m³/s ved dim.flomvannst. kote 164,7.

Luketerskel: kote 149,4

Toppstokk og sideføringer er oppvarmet med varmekabler vintertid. Opptrekket for bunnluka er en hydraulisk sylinder som tar tak på baksiden av luka på midten. Sylindren er festet i taket over luka. Bunnluka har også likestrømsdrift i tillegg til 220

V vekselstrøm. Sommerstid er bunnluka programmert til å åpne sist, vinterstid til å åpne før de andre lukene.

Vannstandsregistrering/signaloverføring/styring

Vannstanden i magasinet registreres ved hjelp av to uavhengige metoder. Den ene metoden ved hjelp av en flottør som er plassert i høyre lukepilar sett med vannstrømmen. Flottøren står i et rør. I røret er det plassert en varmelampe som skal hindre at vannet fryser vinterstid. Røret har forbindelse et godt stykke ut i magasinet. Fra flottøren går det en overføring (et stålbånd) til to elektriske givere (potensiometere). Signal fra disse giverne går via kabel til vannstandsregulatoren hvorfra også lukene styres. Fra potensiometrene går det også signal direkte til driftssentralene på Hamar og i Heradsbygda ved høy vannstand i dammen. Ved vannstand ca 10 cm over HRV =kote 163,2 gir flottørsystemet signal om høy vannstand.

Den andre vannstandsregistreringen er et ekkolodd som er plassert i kammeret for inntaksluka til kraftstasjon. Ekkoloddet måler avstanden til vannspeilet til enhver tid. Denne registreringen styrer ikke lukene, men gir signal ved høy vannstand når vannstanden er ca 20 cm over HRV. Denne registreringen virker imidlertid ikke når inntaksluka er stengt da vannet i lukekammeret dreneres ut bak luka gjennom turbinen (inntaksluka har oppstrøms tetning).

Kabler for signaloverføring og strømtilførsel mellom kraftstasjon og luker er ført på samme kabelbru under veibrua.

Signaloverføringen fra kraftstasjonen til driftssentralene går via høyspentledningene. I tillegg til dette har man også mulighet for å overføre signalene via telenettet. Signalene går da direkte fra kraftstasjon til mobiltelefon til vedkommende hjemnevakt. Signaloverføring via telenettet brukes normalt ikke. Omkobling av overføringen til telenett må gjøres manuelt.

Lukene kan normalt betjenes fra følgende steder ved å trykke på en knapp:

1. Fra driftssentralen på Hamar
2. Fra driftssentralen i Heradsbygda
3. Fra kontrollrom i kraftstasjon
4. Lokalt i hvert enkelt lukehus.

Det automatiske styringssystemet kobles da ut og man legger om fra automatikk til manuell betjening.

Beskrivelse av varslingsystem

Signaler som går til driftssentralene ved feil i forbindelse med lukene er følgende:

1. Vannstand i dammen ca 10 cm over HRV fra flottør.
2. Vannstand i dammen ca 20 cm over HRV fra ekkolodd.
3. Nettutfall lokalt.
4. Automatisk nødaggregat går (dvs leverer strøm).

Man kan også avlese lukestillingene på sentralene, men det gis ikke noe varsling i forbindelse med disse.

Organisasjon/Bemanning

Hedmark Energi A/S er delt inn i 4 divisjoner:

Energi

Divisjon Øst	}	Detaljforsyning
Divisjon Syd		

Hovedfordeling.

Driftsansvaret for alle kraftverkene, 9 stk, ligger under divisjon Hovedfordeling. Denne divisjonen er igjen delt inn i avdelinger for System, Drift, Plan og Kraftverk. Det er kraftverkavdelingen som har ansvaret for driften av kraftverkene.

Braskereidfoss kraftverk har en fast bemanning på 3 personer på dagtid. Dette gjelder stort sett for alle kraftverkene i HEAS. I tillegg kan man trekke på en fellesstyrke på 4 mann ved behov.

Kraftverket er ikke betjent utenom arbeidstid, men 1 person har vakt 24 timer i døgnet. Denne personen har da driftsansvaret i arbeidstiden og hjemnevakt utenom arbeidstiden.

Braskereidfoss kraftverk overvåkes i arbeidstiden fra driftssentralen på Hamar. Her har man også overordnet ingeniørvakt 24 timer i døgnet (hjemnevakt utenom arbeidstid). Utenom arbeidstid overtar driftssentralen i Heradsbygda som ligger ca 2 mil nord for Braskereidfoss. Denne sentralen har egen vaktordning på 5 mann som bare tar seg av driftssentralen. Dette er felles driftssentral for de største kraftverkene til HEAS utenom arbeidstid. Denne sentralen er ikke betjent utenom arbeidstid, men hjemnevakter for denne sentralen bor like i nærheten. Hjemnevakta får varsel direkte hjem ved feilmeldinger

som kommer til driftssentralen utenom arbeidstid. Begge driftssentralene har betegnelsen gruppesentral og begge kan gjøre det samme, dvs de er likeverdige.

Instruks vedrørende betjening av flomorgan

Ved feilsignaler fra kraftverket utenfor arbeidstid, får hjemnevakta for sentralen i Heradsbygda alarm hjem. Han drar da til driftssentralen i Heradsbygda og undersøker hvilke feilmeldinger som er kommet. Er det kommet feilmeldinger fra Braskereidfoss Kraftverk, kontaktes vedkommende hjemnevakt. Hjemnevakta for Braskereidfoss Kraftverk vurderer da feilmeldingen. Er feilen alvorlig, f.eks at vannstanden er stigende og flomlukene ikke åpner, kontaktes også overordnet ingeniørvakt som holder til på Hamar. Hjemnevakta for Braskereidfoss drar da direkte til stasjonen. Normalt vil han være på anlegget i løpet av ca en halv time. Hjemnevakta vil normalt ved ankomst til anlegget selv forsøke å analysere feilen og få opp lukene. Dersom situasjonen ser ut til å bli kritisk, varsles øvrig betjening, felles mannskap, verkstedbetjening, spesialister evt i siste instans leverandører.

Dette er normal instruks/prosedyre for hjemnevakta ved feilmeldinger på Braskereidfoss kraftverk. Spesielle instruksjoner og rutiner ved krisesituasjoner er det ikke lagt opp til da feilmulighetene kan være mange. Hjemnevaktene er imidlertid erfarne folk som kjenner anlegget godt og kan arbeide selvstendig. De har også full myndighet til å tilkalle de forsterkninger som de mener er nødvendig uten å måtte gå gjennom overordnede i organisasjonen. I spesielle situasjoner, f.eks. når flom er varslet på forhånd, vil også stasjonen være betjent hele døgnet.

Reservemuligheter

Manuell åpning av luker

For alle lukene med kjedeopptrekk har man mulighet for å montere sveiv til akseltappen på motoren. For å få en luke helt opp vil man bruke ca 4 timer med kontinuerlig sveiving med 1 omdreining pr sek på sveiva. Man vil da måtte ha behov for minst 6 mann, 3 på hver side av luka for å holde tempoet oppe. Dette er en mulighet dersom andre muligheter svikter.

Også bunnluka har mulighet for manuell åpning. Det hydrauliske aggregatet er utstyrt med håndpumpe slik at denne kan benyttes. Det vil ta ca 3 timer å få opp luka med kontinuerlig pumping. Man bør da ha minst tre mann for dette.

Vannstandsregistrering

For registrering av vannstand er det to muligheter.

1. Flottørsystem
2. Ekkolodd

Flottørsystemet har to elektriske givere slik at man har to signaler. Ekkoloddet virker ikke dersom inntaksluka står nede. Ved revisjoner av aggregatet eller andre årsaker til stengt luke, vil man måtte stole på flottørsystemet alene, se forøvrig kapittel 8 og 9..

Strømtilførsel

Det er i dag på anlegget 1 stk nødstrømsaggregat. Dette forsyner prioriterte kretser i stasjonen og er koblet til strømforsyningen til 1 stk luke. Ved strømforsyning til andre luker må det kobles om. Dette er imidlertid relativt fort gjort. HEAS har i tillegg et mobilt nødstrømsaggregat på tilhenger i Kongsvinger

kraftverk. Dersom nødstrømsaggregatet på Braskereidfoss svikter, kan det mobile aggregatet transporteres til Braskereidfoss på noen timer.

I løpet av året er det planlagt å installere 1 ekstra fast-montert nødstrømsaggregat i Braskereidfoss Kraftverk. Dette skal kunne kobles om til ønsket luke ved hjelp av en vender. I tillegg til dette kan bunnluke i dag også kjøres på likestrøm som man får fra 110 V batterianlegg i stasjonen. Dette er et enkelt likestrømsanlegg uten nødkretser.

Mobilkran

De tre flomlukene kan teoretisk åpnes med mobilkran fra brua. Dette er imidlertid en tvilsom løsning pr i dag da det ikke er montert løfteører på lukene for dette.

Nødopptrekk

Eget nødopptrekk for lukene der lukene kan åpnes uavhengig av det nåværende opptrekkssystem, er ikke montert.

Tømmerluke

Tømmerluke (sektorluke) åpnes, i motsetningen til damlukene, ved å senke luka ned. Luka kan imidlertid ikke gå ned av egen tyngde, dvs uten bruk av ekstern krafttilførsel da snekkevekselen er selvsperrende. Det å brenne eller skjære av opptrekksskjedene på hver side i en nødsituasjon er heller ingen god løsning da luka med stor sannsynlighet ville kile seg fast.

2.3 Hvilken konsekvens har høy vannstand på muligheten av å betjene lukene.

Dimensjonerende flomvannstand er på kote 164,70. Toppen av røret som flottøren står i er på ca kote 164,4. Når vannstanden går over toppen av flottørrøret, vil det renne inn i lukehuset i høyre pilar der lukespill og signalkabler er plassert. Dette gjelder bare for høyre pilar. Flottørsystemet for vannstandsregulering vil da vil da antagelig ikke lenger fungere. Muligheten for at strømtilførselen til høyre damluke blir borte er også stor. Mulighetene for håndsveiving blir også liten med vann i lukehuset.

For alle pilarene gjelder at det kan komme vann inn i spalten rundt spillakselen. Drenasjen fra lukehusene er kun et 40 mm hull fra drenasjegrøft ut gjennom pilar.

Toppen av dampillaren er på kote 165,0. På østsiden av kraftstasjonens inntak er toppen av damveggen også på kote 165. Mellom brua og toppen av damveggen er det en åpning med en høyde på ca 30 cm. Denne spalten er på hele bredden. Ved vannstander over kote 165 vil det renne over damveggen og vannet vil videre renne inn i stasjonen. Det vil da også renne vann inn i adkomstlukene i alle pilarene slik at håndsveiving av lukene blir umulig og elektrisk utstyr blir ødelagt.

På inntakets vestre side kan kabler for signal- og strømtilførsel være utsatt ved overtopping av pilaren. Disse går i kabelbruer under brua.

I det følgende er det sammenfattet hva som skjer ettersom vannstanden øker i dammen:

Kote 163.2 (HRV) - Vannstandsregulatoren regulerer lukene slik at vannstanden holdes konstant.

Kote 163.3 Signal om høy vannstand går fra flottørsystem til driftssentralene.

Kote 163.4 Signal om høy vannstand går fra ekkolodd til driftssentralene. Vannet begynner å renne over toppen av de stengte damlukene. Det blir vanskelig å forberede feste for mobilkran.

Kote 164,4 Vannet renner over flottør-røret i vestre lukehus. Flottørsystemet for vannstandsregulering slutte å fungere. Det er store muligheter for at el.motor til lukespillet ødelegges slik at kjøring av luke forhindres. Adkomst til dette lukehuset blir vanskelig og luka kan dermed ikke betjenes manuelt ved håndsveiving.

Kote 165.0 Vannet renner over damveggen på østsiden av dammen og inn i kraftstasjonen. Vannet når toppen av pilarene mellom lukene og adkomst til alle lukehus blir blokkert. Vannet renner inn i alle lukehus gjennom adkomståpning. Det er store muligheter for at el.motor til alle damlukespillene blir ødelagt slik at lukene ikke kan kjøres. Håndsveiving blir også forhindret.

Kote 167.3 Dambrudd. Adkomst fra vestre side umulig.

3. OVENFORLIGGENDE DAMANLEGG

Ovenforliggende verk er Skjefstadfoss kraftverk.

Kapasitet kraftverk : ca 265 m³/s

Kapasitet flomløp : ca 1300 m³/s

Magasinvolum : ca 1 mill. m³

Tapping av Osensjøen og Storsjøen vil kunne gi brå vannføringsendringer under flom.

Feilmanøvrering fra Osensjøen og Storsjøen kan også gi problemer.

4. ENKEL KONSEKVENsutREDNING AV DAMBRUDD OG MAGASINVANNSTAND

Bruddkonsekvensene er beskrevet på grunnlag av en meget grov vurdering. Vurderingen er gjort for 2 alternative bruddhendelser

- brudd under storflom
- brudd ved vanlige vannføringer og driftsfeil

.1 Brudd under storflom

.11 Store oversvømmelser opp til Skjefstadfoss.

Situasjonen antas imidlertid å være nesten identisk med naturlig situasjon (uten dam).

.12 Skader nedstrøms

Undervannet i bruddsituasjonen vil være meget høyt (K 164,5) og skadene p.g.a. dambrudd vil være meget beskjedne.

Skadene på kraftanlegget antas å dominere skadebildet.

.2 Brudd ved vanlige vannføringer og driftsfeil

I dambruddsammenheng vil skadene være små.

Nedstrøms skader vil bli små på grunn av det lille magasin i kombinasjon med elveleiets størrelse nedstrøms.

Oppstrøms for dammen vil en få oversvømmelsesskader.

5. TEKNISKE DATA FOR ANLEGGET

5.1 Bruddvannstand

Bruddvannstanden er fastlagt på grunnlag av en meget grov vurdering.

Fyllingsdamseksjonen er vurdert til å være dammens svakeste punkt. Damtoppen faller fra landfeste og mot lukeseksjon hvor topp dam er på K 166,8.

Et eventuelt dambrudd vil sannsynligvis starte ved dette sted ved en erosjon i øvre del av nedstrøms skråning.

Bruddvannstand anslås til 0,5 m over topp dam, d.v.s. K 167,3.

5.2 Avledningskapasiteter

Tabell 1 Avledningskapasiteter (m ³ /s)			
	HRV	dim.fl.v.st.	bruddv.st.
	K 163,2	K 164,7	K 167,3
Q ₁ Segmentluke	800	1070	1520
Q ₂ Sektorluke	100	150	270
Q ₃ Bunnluke	270	300	360
Q ₄ Over stengt segm.	0	50	260
Q ₅ Over stengt sektor	0	20	100
Q ₆ Over dam	0	0	30
Q ₇ Kraftstasjon	270		

Kapasitetene er angitt ved normalt undervann (K 155).
 Kapasitetene for segment og bunnluke vil reduseres ved høyt undervann. Ved de samlede kapasiteter angitt i tabell 2 er det tatt hensyn til dette. Tabell 3 viser forutsatt undervannsnivå.

Tabell 2 Avledningskapasiteter (m ³ /s)			
	HRV	dim.fl.v.st.	bruddv.st.
	K 163,2	K 164,7	K 167,3
1. Alle luker funksjoner. $3Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_6$	2660	3350	4680
2. 1 segmentluke feiler $2Q_1 + Q_2 + Q_3 + Q_4 + Q_6$	1940	2480	3670
3. Sektorluke feiler $3Q_1 + Q_3 + Q_5 + Q_6$	2560	3220	4510
4. Bunnluke feiler $3Q_1 + Q_2 + Q_6$	2500	3190	4510
5. 2 segmentluker feiler $Q_1 + Q_2 + Q_3 + 2Q_4 + Q_6$	1160	1540	2530
6. 3 segmentluker feiler $Q_2 + Q_3 + 3Q_4 + Q_6$	370	580	1360
7. Kun bunnluke åpnes	270	450	1190
8. Kun sektorluke åpnes	100	300	1080
9. Ingen luker åpnes	0	170	910

Tabell 3	Undervann.
Q m ³ /s	v.st.
1500	157,3
2000	158,4
3000	160,4
4000	162,5
5000	164,5

5.3 Areal og magasinkurve

I en stor flomsituasjon vil magasinet strekke seg helt opp til ovenforliggende kraftstasjon med et vannareal lik ca. 5 km². Magasinets flomdempende virkning tilsvarer 29 cm magasin-
stigning over 4t ved netto innløpsflom 100 m³/s.

I en normal driftsituasjon vil vannarealet være betydelig mindre,

HRV	:	0,1 km ²
dimfl.v.st.:		0,5 km ²
bruddv.st.:		1 km ²

(Arealene er meget grovt anslått.)

5.4 Tilløpsflommer

Beregning av nye flomstørrelser (Q-1000 og PMF) er i gang for hele vassdraget, og i denne analyse har vi basert oss på noen foreløpige resultater.

Vi har ut fra de oppgitte maksimalverdier for Q-1000 anslått maksimalverdiene for flommer med andre gjentaksintervall.

Flomhydrogrammene er basert på data for Q-1000 og PMF som vi har mottatt. Vi har gitt de ulike flomhydrogram felles forløp i den periode da flommen er stigende.

Vi har videre redusert den basisvannføring som er tilstede før flomutviklingen starter. Dette fører til at flomutviklingen skjer noe bråere og mer overraskende.

Vi har basert analysen på følgende gjentaksintervall for maksimalverdi på tilløpsflom. (Fig. 1 viser hydrogrammene.)

Tabell 5 Gjentaksintervall for maksimalverdi tilløpsflom		
Gjentaksintervall	Vannføring	Maksimal vannføringsendring
år	Q m ³ /s	Q/ T m ³ /s pr. time
10	2200	80
10 ²	3100	80
10 ³	4000	80
10 ⁴	5000	100
10 ⁵	6000	100
10 ⁶	7000	100
PMF	13200	100

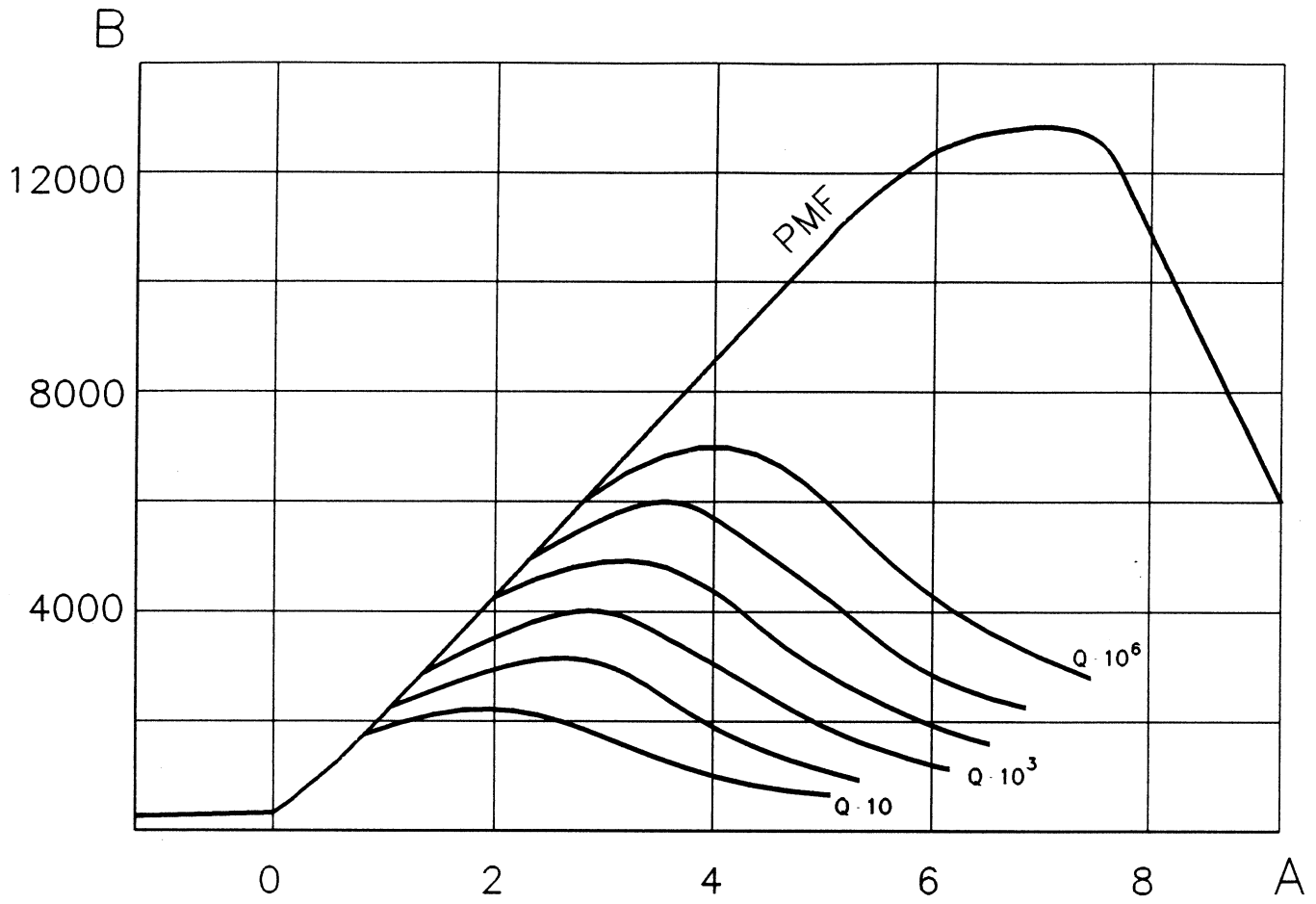


FIG. 1 FLOMHYDROGRAM

A: Tid (døgn)

B: Vannføring (m^3/s)

6. KRITISKE SITUASJONER

6.1 Mulige kritiske situasjoner.

a. Store flommer, normal funksjonering.

Store vannføringer kan gi kritisk høyt undervann selv om alt fungerer normalt. Dette er forhold man etter hvert har oppdaget på anlegget ved flommer og fremgår ikke av modellrapport.

Dammen vil gå til brudd dersom tilløpsflommen overstiger $4680 \text{ m}^3/\text{s}$. Vannstanden vil kunne stige fra HRV og til bruddvannstand i løpet av ca. 18 t.

b. Store flommer, en luke åpner ikke. (Segmentluke).

Dammen vil gå til brudd dersom tilløpsflommen overstiger $3640 \text{ m}^3/\text{s}$.

Feil vil inntre i tidsperioden	T = 0 - 24 t
HRV overstiges ved	T = 24 t
Dim. flomvannstand overstiges ved	T = 32 t
Bruddvannstand " "	T = 48 t

c. Normale flommer, 2 segmentluker åpner ikke.

Dammen vil gå til brudd dersom tilløpsflommen overstiger $2530 \text{ m}^3/\text{s}$.

Feil vil inntre i tidsperioden	T = 0 - 12 t
HRV overstiges ved	T = 12 t
Dim. flomvannstand overstiges ved	T = 20 t
Bruddvannstand " "	T = 32 t

- d. Normal flom. Ingen segmentluke åpner. Bunnluke og sektorluke er åpne når feil inntrer eller blir åpnet. (Alternativt andre luke med tilsvarende kapasitet). Kraftstasjonen faller ut når feil inntrer.

Feil vil inntre ved	T = 0
HRV overstiges ved	T = 0
HRV + 0,2 m overstiges ved	T = 0,5 t
Dim. flomvannstand overstiges ved	T = 10 t
Bruddvannstand " "	T = 20 t

Brudd vil skje dersom tilløpsflommen overstiger $1360 \text{ m}^3/\text{s}$.

- e. Normal flom, vannføringen øker fra ca. $270 \text{ m}^3/\text{s}$ i henhold til flomhydrogram (fig. 1). Kraftstasjonen faller ut og ingen luke åpner.

Dambrudd vil skje dersom vannføringen øker til mer enn $910 \text{ m}^3/\text{s}$.

Feil inntrer ved	T = 0
HRV overstiges ved	T = 0
HRV + 0,2 m overstiges ved	T = 0,02 t
Dim. flomvannstand overstiges ved	T = 10 t
Bruddvannstand " "	T = 20 t

- f. Normal driftsituasjon, utfall av kraftstasjon og ingen luker åpner. Tidsfaktoren er av avgjørende betydning og bør klarlegges nærmere.

Vannføringen er konstant lik $270 \text{ m}^3/\text{s}$.

Dammen vil ikke gå til brudd i en slik situasjon.

Feil inntrer ved	T = 0
HRV overstiges ved	T = 0
HRV + 0,2 m overstiges ved	T = 0,02 t
Dim. flomvannstand overstiges ved	T = 1 t

Vannstanden vil stige til 25 cm og dim. flomvannstand før avledningen blir 270 m³/s.

g. Vinterforhold, utfall av kraftstasjon.

Ved sterk kulde kan isproblemer forårsake at lukene ikke åpner. Fastfrysing av flottør kan f.eks være en årsak. Overflatelukene kan også være fastfrosset dersom oppvarmingen har sviktet. Bunnluke skulle ikke ha isproblemer og burde fungere dersom strømforsyningen fungerer.

Vinterforholdene kan også føre til reduserte kapasiteter over de lukkede luker. Vi vil anta at dette kan utgjøre 1 m ekstra flomstigning, og at vannstanden vil stige til 1,25 m over dim. flomvannstand før avledningen blir 270 m³/s.

Dammen vil ikke gå til brudd i denne situasjonen.

f. Utilsiktet drift av overforliggende verk.

Overforliggende verk er Skjeftstadfoss kraftverk. Magasinet her er imidlertid lite med en lang utjevnende elvestrekning i mellom slik at utilsiktet åpning av luker her ikke skulle ha store konsekvenser.

Osensjøen og Storsjøen er imidlertid to store magasin som ligger lenger oppstrøms i systemet. Samtidig med at Glomma stiger, kan det tappes fra disse magasinene dersom vannstanden her når HRV. Disse vannmengdene kommer da i tillegg til flommen forøvrig og gir raskere økning av vannføringen som kan skape kritiske situasjoner for

kraftverkene nedenfor, bla Braskereidfoss. Dette har skjedd en gang tidligere på Braskereidfoss.

Osensjøen og Storsjøen tappes uten varsel slik at dette er vanskelig å ha oversikt over. Feilmanøvreringer av luker i magasinene kan også skape problemer selv om det ikke er en flomsituasjon. Da er som regel også beredskapen lav. Den lange avstanden mellom disse sjøene og Braskereidfoss vil imidlertid utjevne forholdene slik at økt vannføring ikke skjer så fort.

- i. Luke lukker utilsiktet
- j. Luke åpner utilsiktet.

7. FUNKSJONSSIKKERHETSANALYSE

7.1 Feiltreanalyser.

I det følgende er det gjort feiltreanalyser for å finne mulige årsaker til feil som kan oppstå i Braskereidfoss kraftverk som har til konsekvens at en eller flere luker ikke åpner.

Topphendelsen i analysene er at vannstanden i dammen stiger over bruddvannstand. Det er da satt opp feiltre for damlukene ved to tilfeller:

1. Hjemmevakta har kommet til anlegget.
2. Hjemmevakta har ikke kommet til anlegget.

Bunnluka er analysert for seg på samme måten.

Feiltrærne er vist på fig 8.1-8.17.

Som et eksempel på feil som kan oppstå kan nevnes følgende hendelse som inntraff på Braskereidfoss i oktober for noen år siden:

Det var varslet uvær og flom og stasjonen var derfor bemannet. Hele nettet i regionen falt plutselig ut og turbinen gikk til stopp. Alle luker var da stengt unntatt bunnluka som stod helt åpen. Nødstrømaggregatet startet ikke automatisk som forutsatt slik at ingen luker åpnet for å ta turbinvannføringen. Vakta i stasjonen prøvde å starte strømaggregatet manuelt uten at det lyktes. Vannstanden i dammen begynte å stige faretruende raskt. Situasjonen måtte betegnes som kritisk. Stasjonsvakta fikk da tilkalt forsterkninger (en bilmekaniker fra HEAS). Det viste seg at det var en spole til starteren på nødstrømaggregatet som hadde brent. Denne ble da forbikoblet og man fikk start på aggregatet og fikk åpnet en luke.

Det som var overraskende for stasjonsbetjeningen etter denne hendelsen var den korte tiden man hadde til rådighet i en slik situasjon.

HEAS har skrevet en egen rapport om denne hendelsen der tider og vannstander fremkommer. Hendelsen viser at tidsperspektivet er meget viktig å få klarlagt.

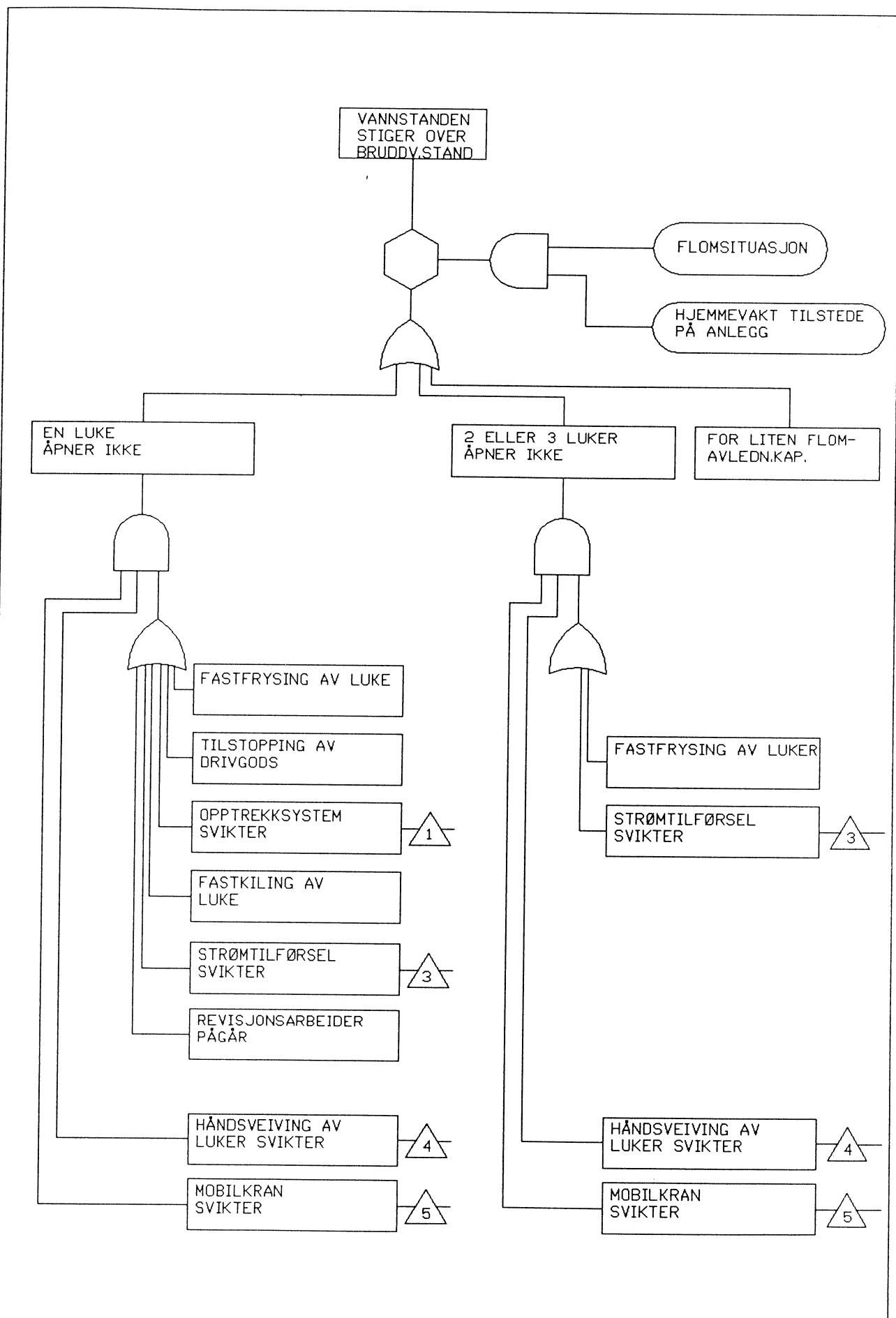


FIG. 8.1 FEILTRE, DAMLUKER - HJEMMEVAKT TILSTEDE

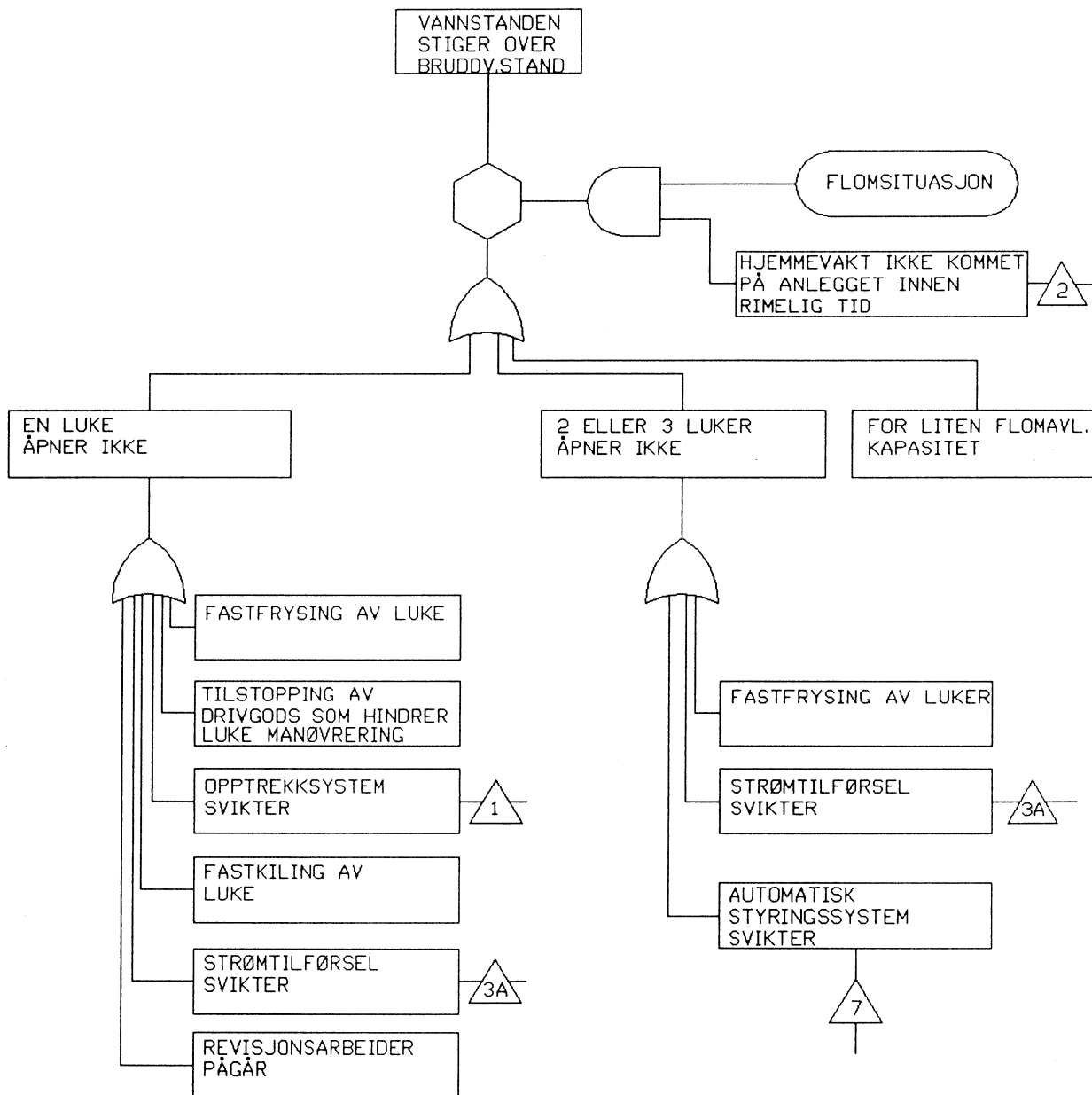


FIG. 8.2 FEILTRE. DAMLUKER - HJEMMEVAKT IKKE TILSTEDE

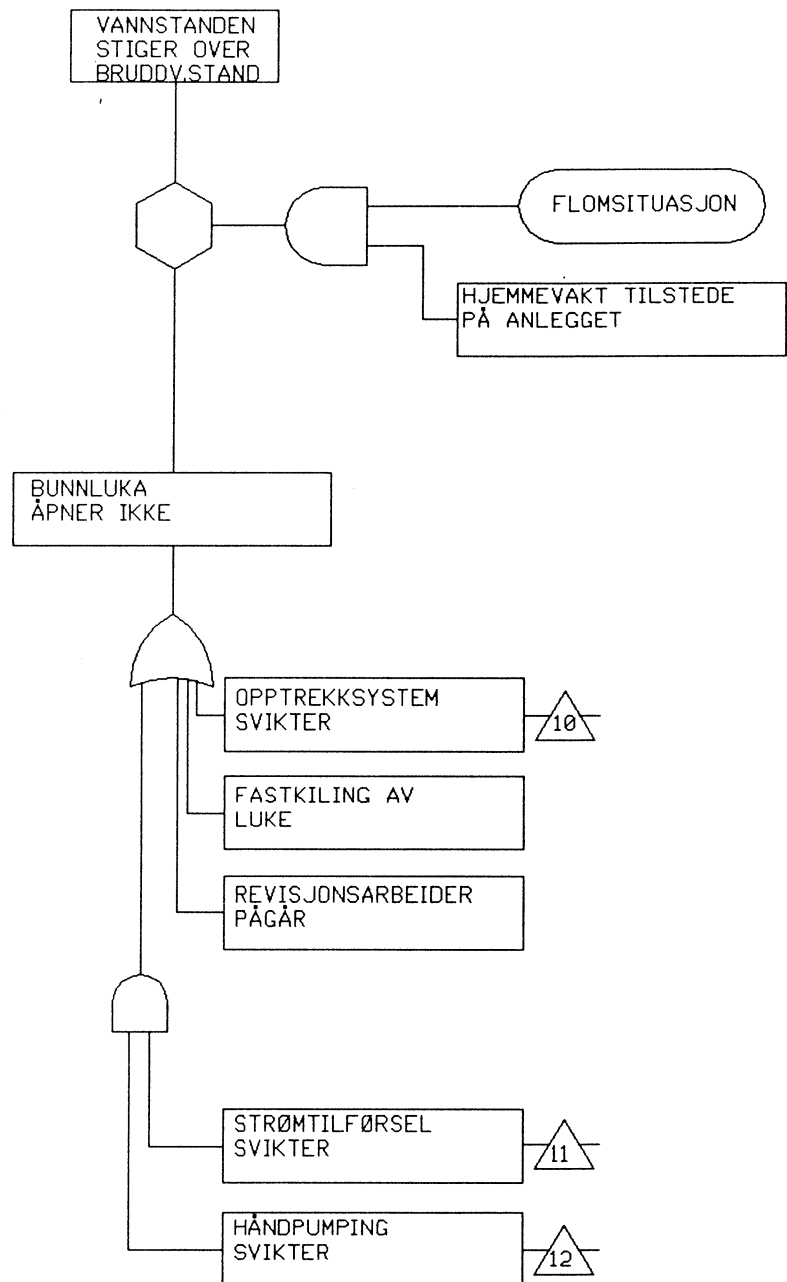


FIG. 8.3 FEILTRE. BUNNLUKE - HJEMMEVAKT TILSTEDE

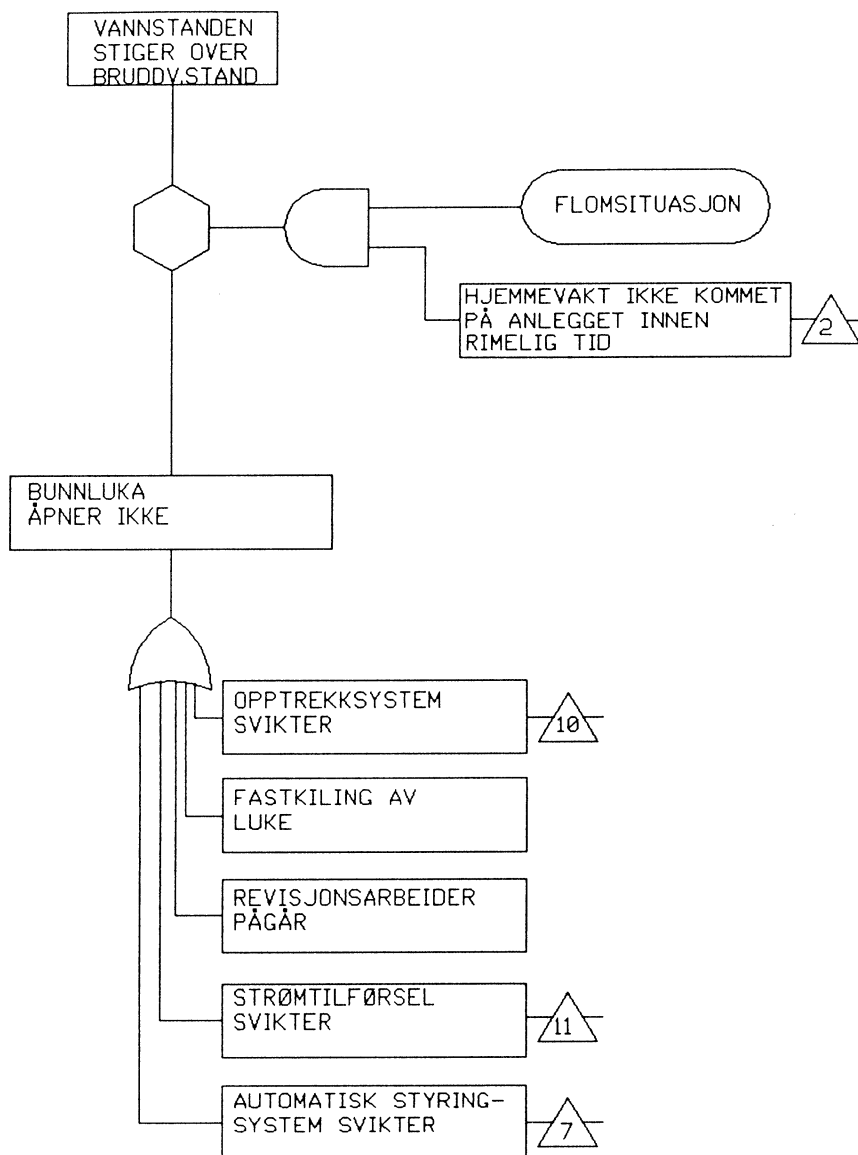


FIG. 8.4 FEILTRE. BUNNLUKE - HJEMMEVAKT IKKE TILSTEDE

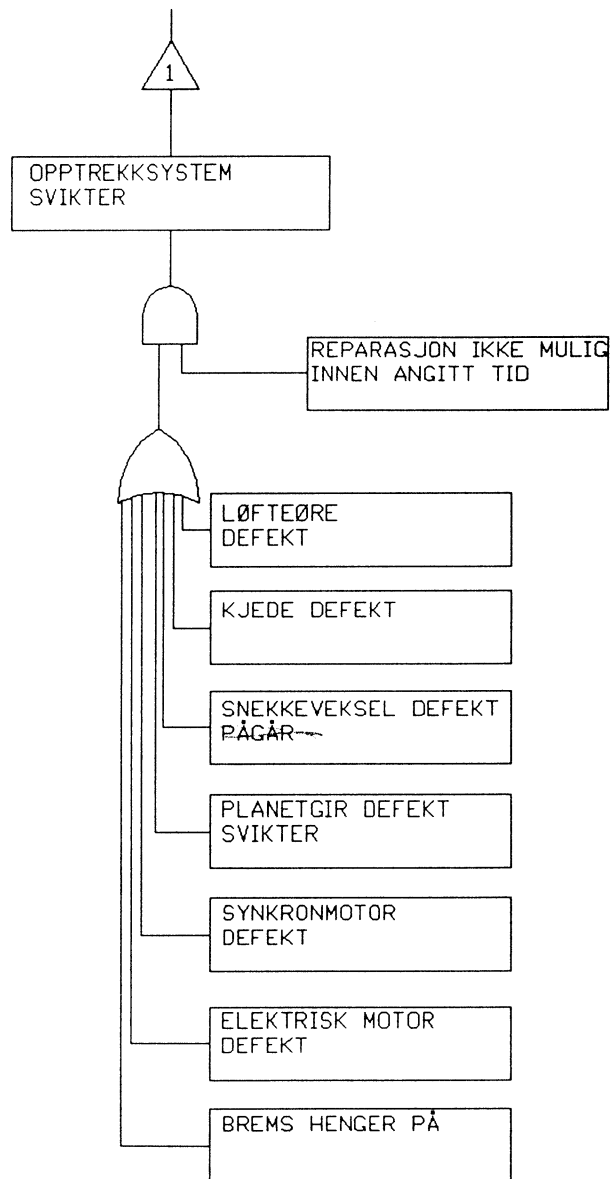


FIG. 8.5 OPPTREKKS SYSTEM DAMLUKE SVIKTER

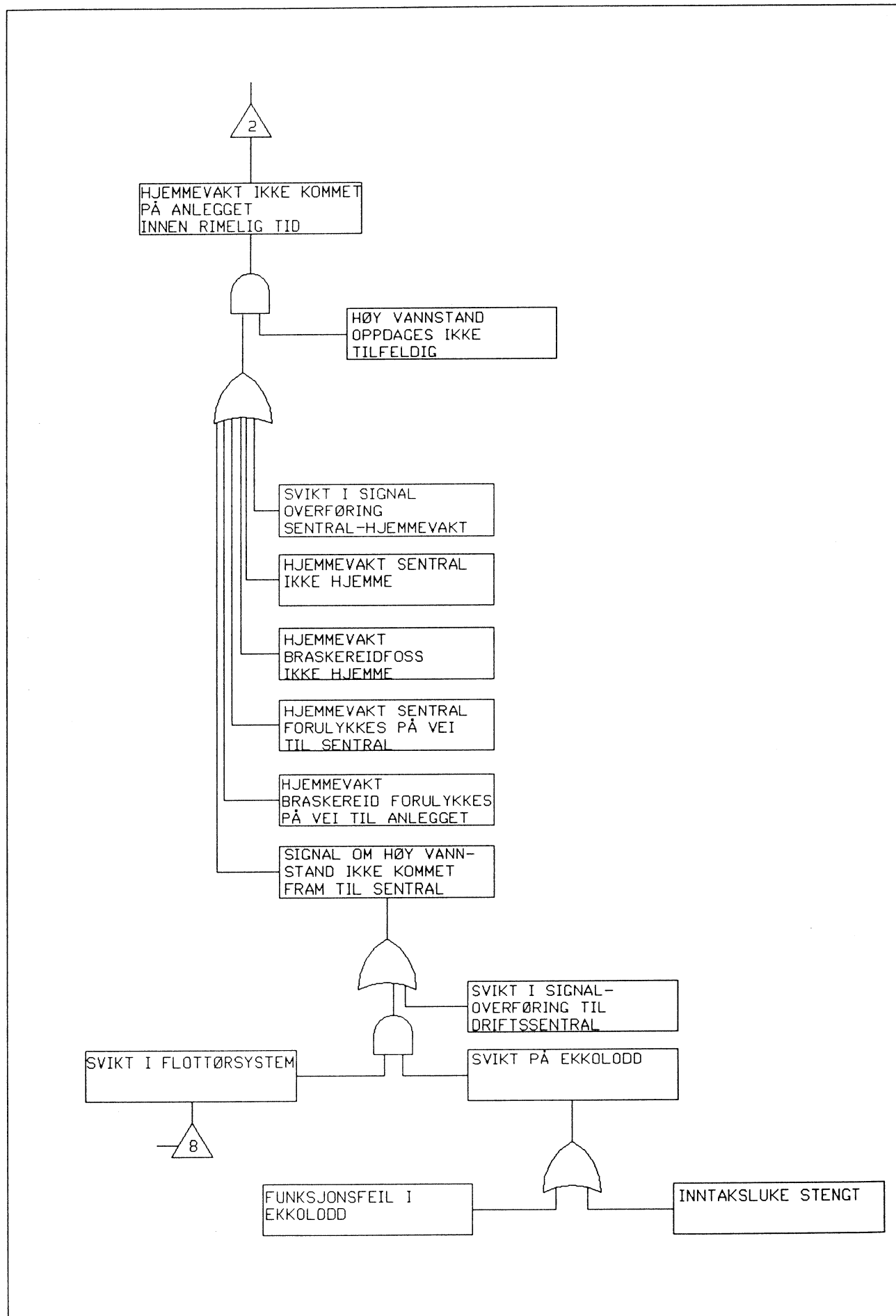


FIG. 8.6 HJEMMEVAKT IKKE KOMMET PÅ ANLEGGET INNEN RIMELIG TID

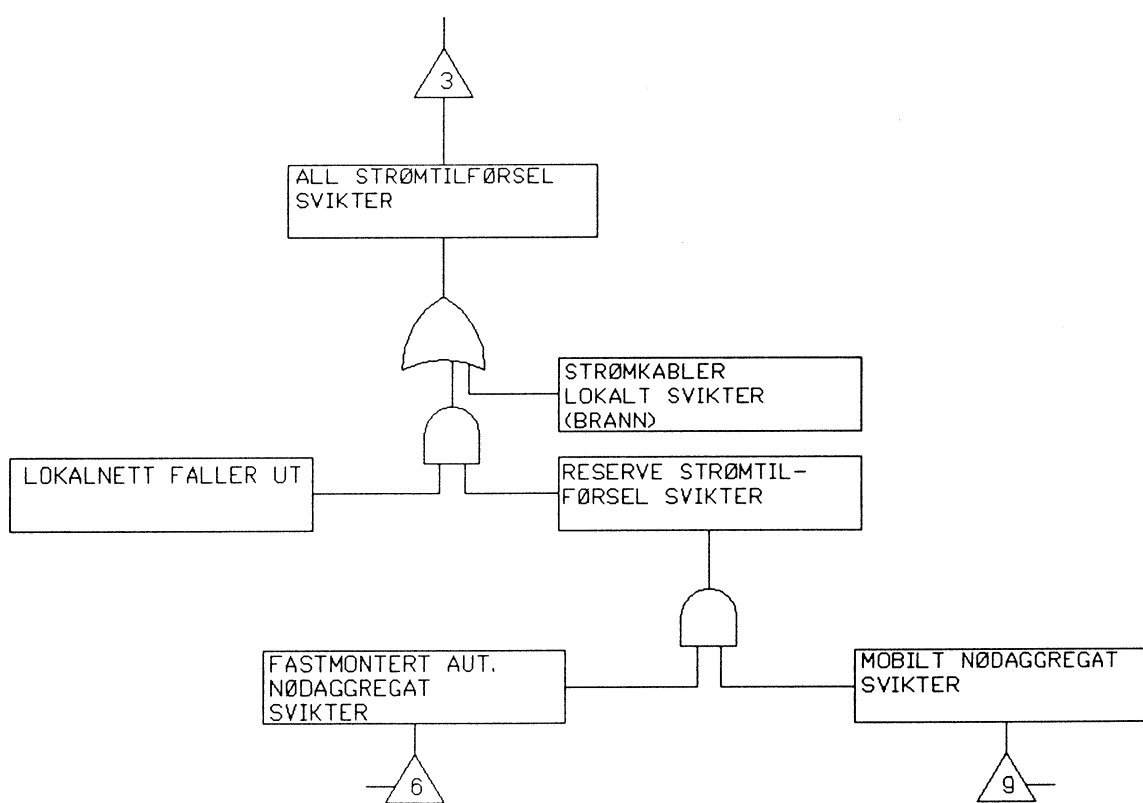


FIG. 8.7 ALL STRØMTILFØRSEL TIL DAMLUKER SVIKTER

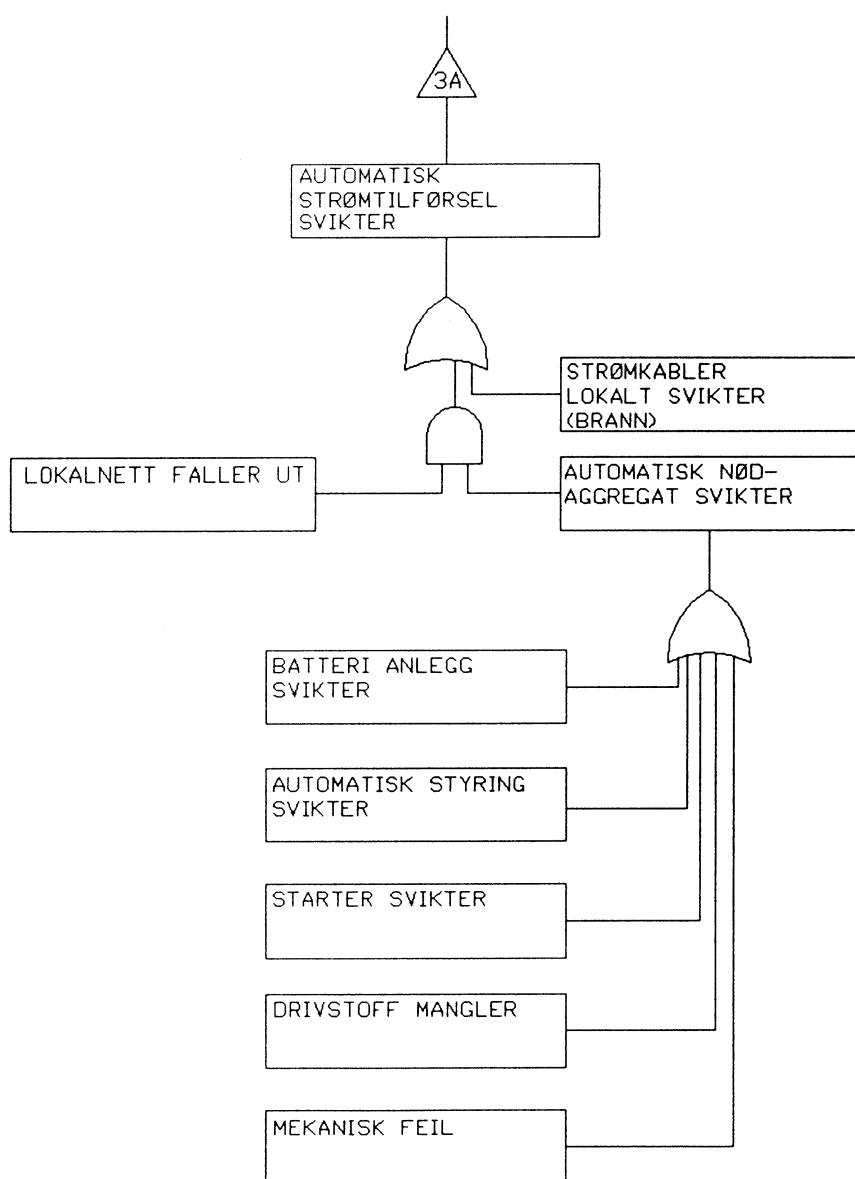


FIG. 8.8 ALL AUTOMATISK STRØMTILFØRSEL SVIKTER

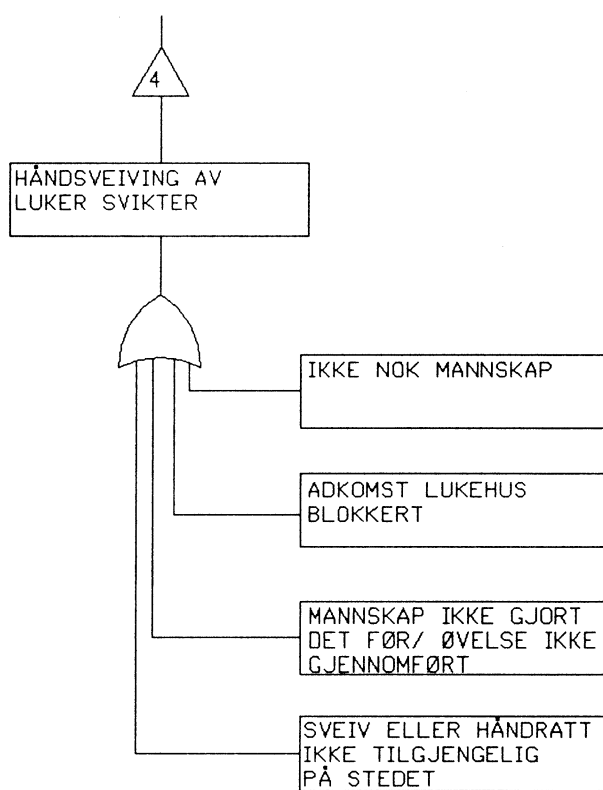


FIG. 8.9 HÅNDSVEIVING AV LUKER SVIKTER

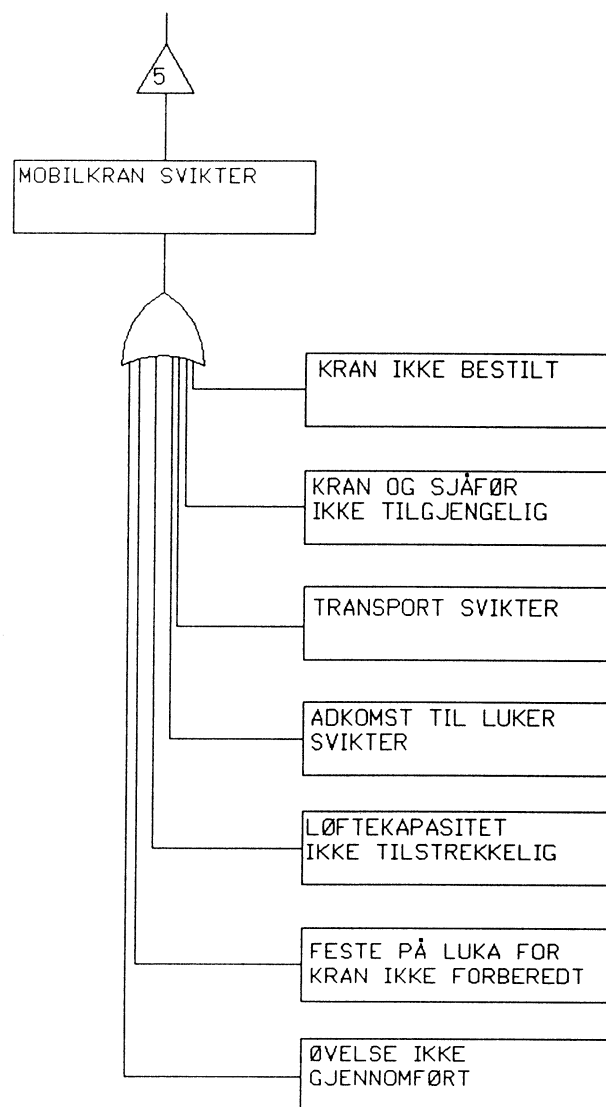


FIG. 8.10 MOBILKRAN SVIKTER

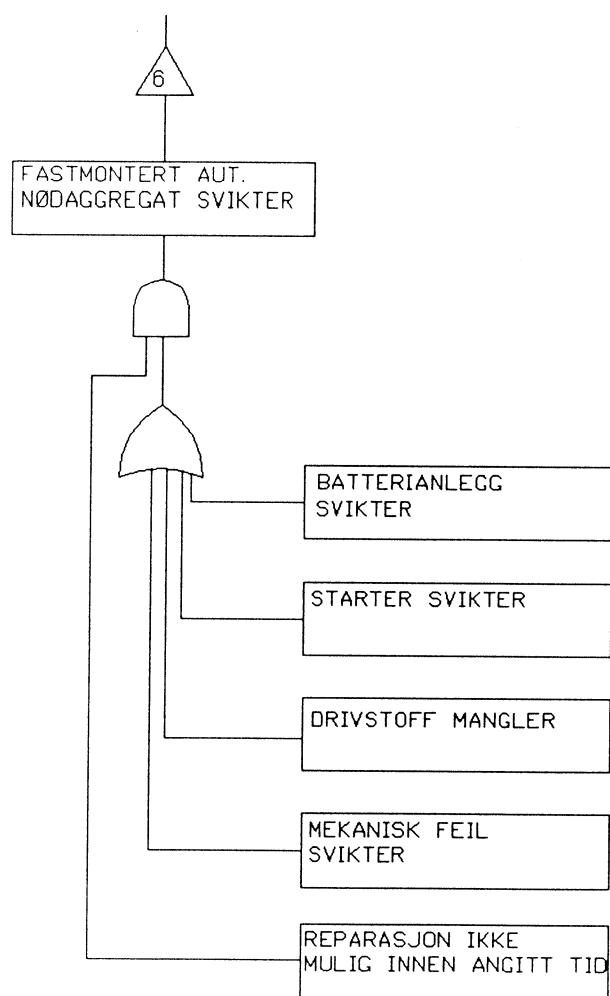


FIG. 8.11 FASTMONTERT AUTOMATISK NØDAGGREGAT SVIKTER

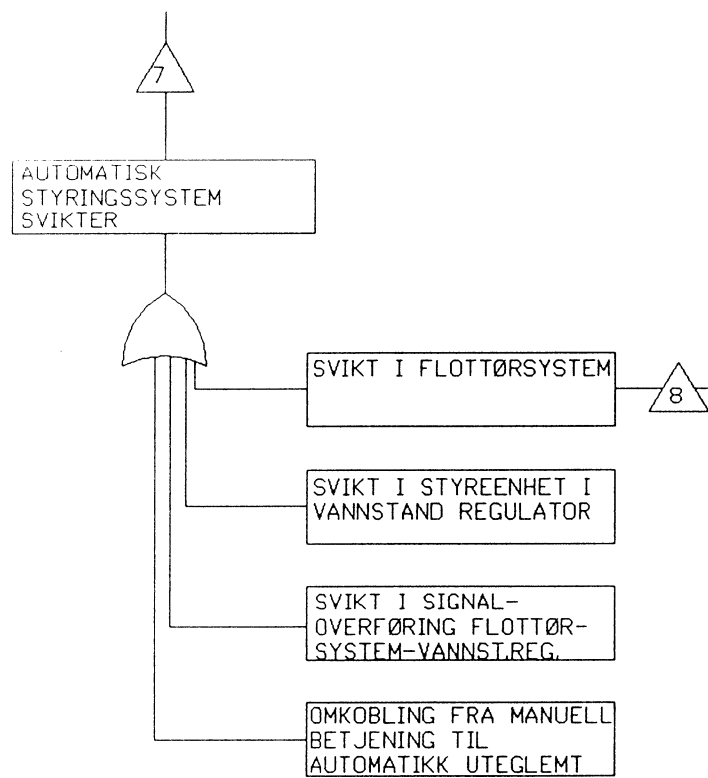


FIG. 8.12 AUTOMATISK STYRINGSSYSTEM SVIKTER

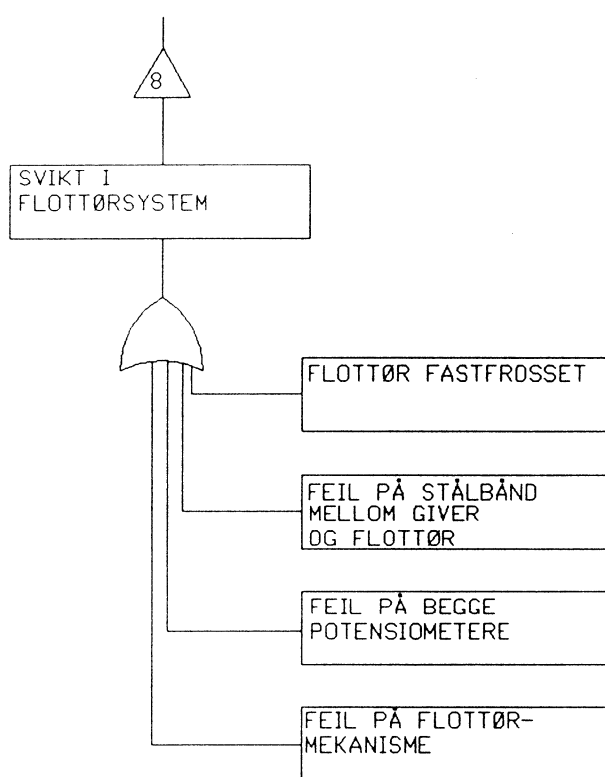


FIG. 8.13 FLOTTØRSYSTEM SVIKTER

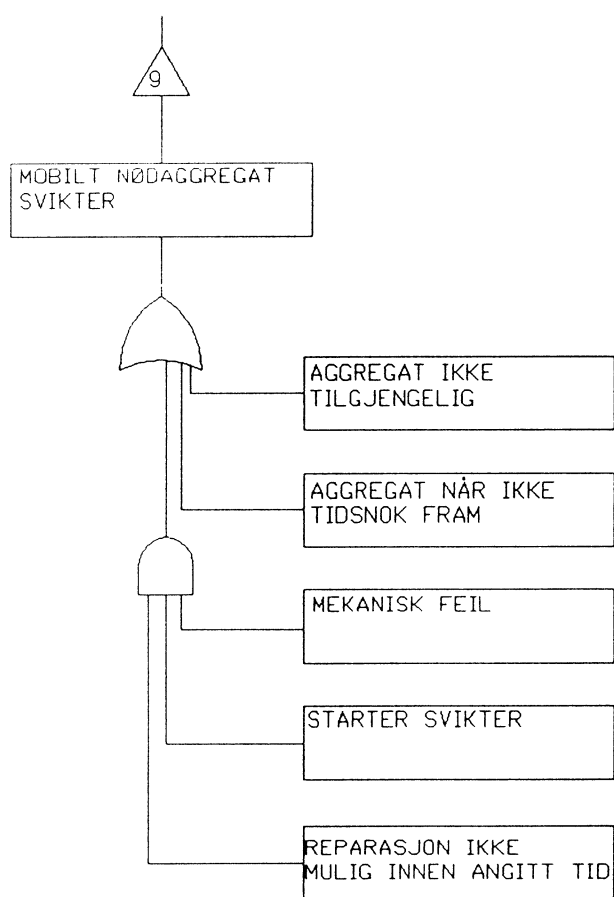


FIG. 8.14 MOBILT NØDAGGREGAT SVIKTER

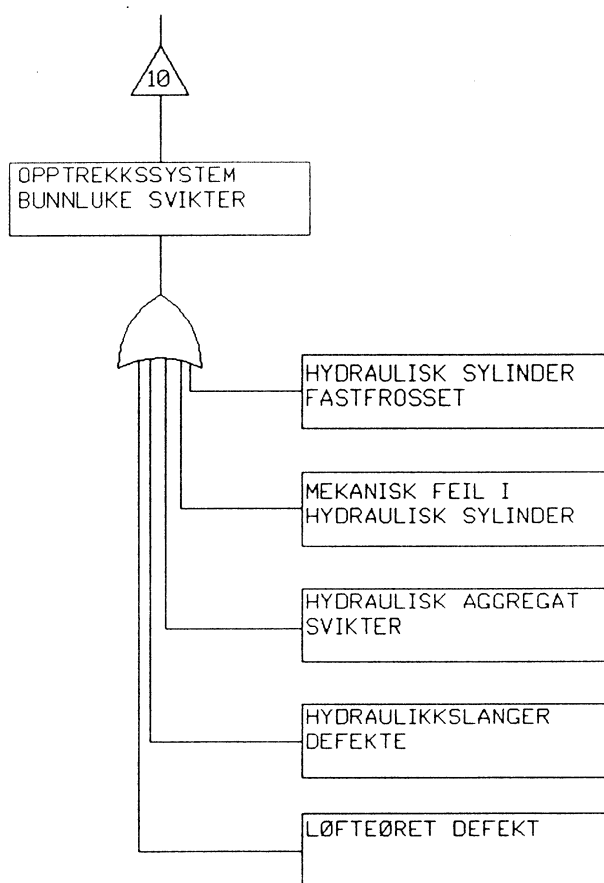


FIG. 8.15 OPPTREKKSSYSTEM BUNNLUKE SVIKTER

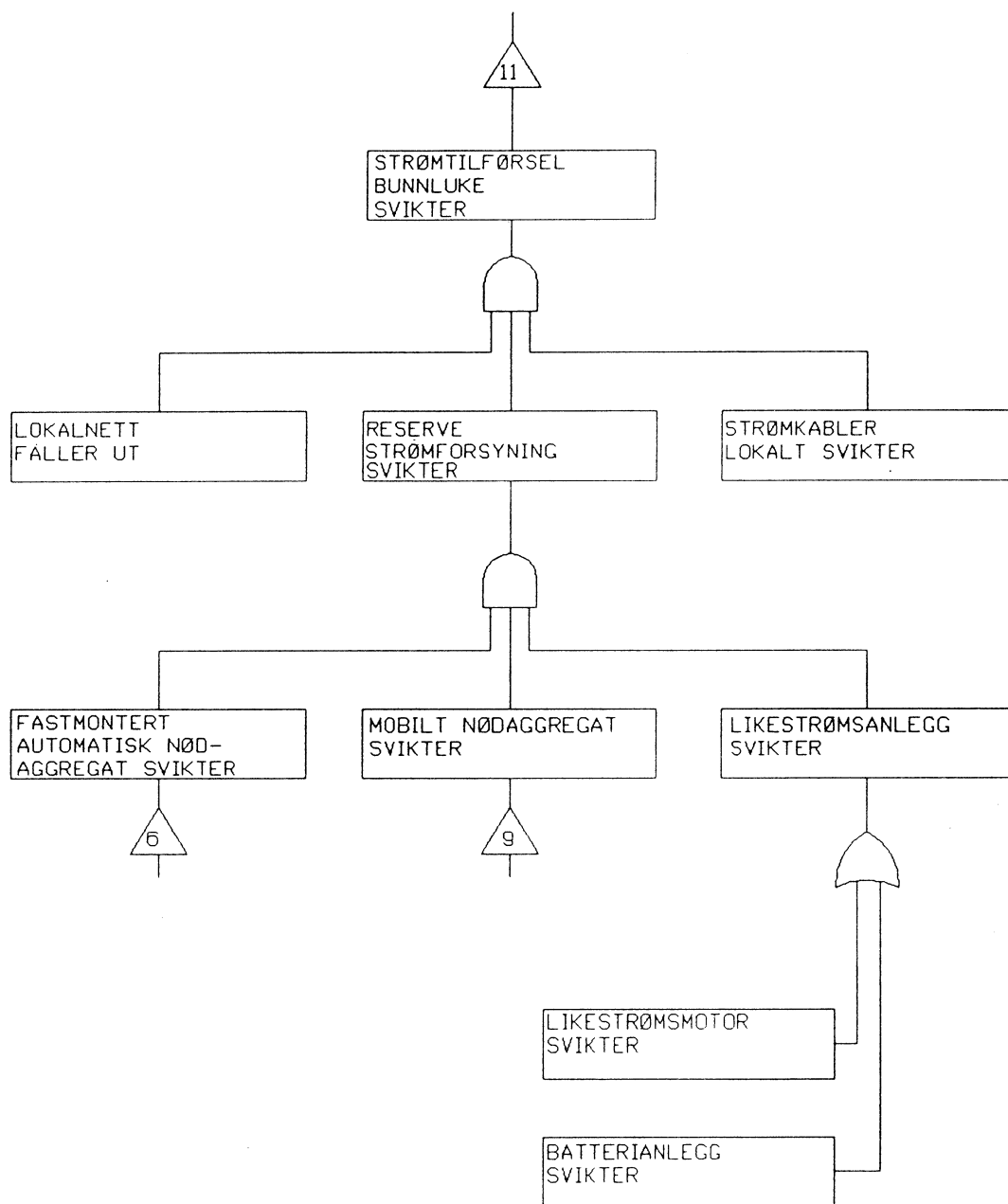


FIG. 8.16 STRØMTILFØRSEL BUNNLUKE SVIKTER

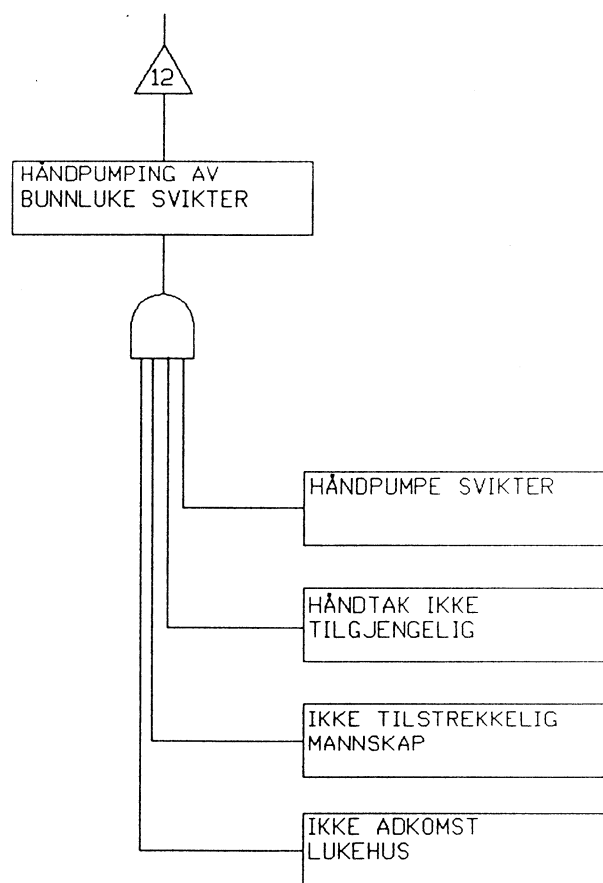


FIG. 8.17 HÅNDPUMPING AV BUNNLUKE SVIKTER

7.2 Hendelsestreanalyser

I figur 8.18, 8.19 og 8.20 er det satt opp et hendelsestre for tre tilfeller:

1. Stor flomsituasjon- $Q > 2500 \text{ m}^3/\text{s}$.
En flomluke (segmentluke) fungerer ikke, dvs luka står stengt.
2. Flomsituasjon- $Q > 600 \text{ m}^3/\text{s}$. Bare bunnluka fungerer. Alle andre luker står stengt.
3. Kraftstasjonen faller ut under vinterdrift og ingen luker åpner. Analyse av bunnluka spesielt.

Hendelsestreet tar utgangspunkt i at vannstanden stiger over HRV som en utgangshendelse. Konsekvensen er da sannsynligheten for at henholdsvis pkt 1,2 eller 3 skal inntreffe.

Basistreet øverst i hendelsestreet er basert på de viktigste hendelsene som kom fram i feiltreanalysen. Hendelsestreet viser en del av de mulighetene man har for å få opp lukene dersom en eller flere av basishendelsene inntreffer.

VANNSTANDEN STIGER OVER HRV Q:2500m³/s	HJEMME-VAKT KOMMER TIL ANLEGG INNEN RIMELIG TID	NORMAL STRØM-TILFØRSEL I ORDEN	NØDAGGR. FUNGERER	MOBILT NØDAGGR. NÅR FREM I TIDE	HÅND-SVEIV AV LUKE MULIG	LUKER MEKANISK I ORDEN	MOBILKRAN KAN BENYTTES	KONSEKVENNS SANSYNLIGHET FOR AT INGEN LUKER ÅPNER	NR.
1	2	3	4	5	6	7			
1	JA	JA	JA	JA	JA	LUKE ÅPNER		LUKE ÅPNER	1
2	JA	JA	JA	JA	NEI	LUKE ÅPNER	JA	LUKE ÅPNER	2
3	JA	JA	JA	JA	NEI	LUKE ÅPNER IKKE	NEI	LUKE ÅPNER IKKE	3
4	JA	JA	JA	JA	JA	LUKE ÅPNER	JA	LUKE ÅPNER	4
5	JA	NEI	JA	JA	NEI	LUKE ÅPNER	NEI	LUKE ÅPNER	5
6	JA	NEI	NEI	JA	NEI	LUKE ÅPNER IKKE	NEI	LUKE ÅPNER IKKE	6
7	JA	NEI	NEI	JA	JA	LUKE ÅPNER	JA	LUKE ÅPNER	7
8	JA	NEI	NEI	JA	NEI	LUKE ÅPNER	NEI	LUKE ÅPNER	8
9	JA	NEI	NEI	JA	JA	LUKE ÅPNER IKKE	NEI	LUKE ÅPNER IKKE	9
10	JA	NEI	NEI	JA	JA	LUKE ÅPNER	JA	LUKE ÅPNER	10
11	JA	NEI	NEI	JA	NEI	LUKE ÅPNER	NEI	LUKE ÅPNER	11
12	JA	NEI	NEI	JA	NEI	LUKE ÅPNER IKKE	NEI	LUKE ÅPNER IKKE	12
13	JA	NEI	NEI	JA	JA	LUKE ÅPNER	JA	LUKE ÅPNER	13
14	JA	NEI	NEI	JA	NEI	LUKE ÅPNER	NEI	LUKE ÅPNER	14
15	NEI	NEI	NEI	NEI	JA	LUKE ÅPNER IKKE	JA	LUKE ÅPNER IKKE	15
16	NEI	NEI	NEI	NEI	NEI	LUKE ÅPNER IKKE	NEI	LUKE ÅPNER IKKE	16

FIG.8.18 HENDELSESTRE, STOR FLOMSITUASJON-Q>2500m³/s. EN DAMLUKE ÅPNER IKKE.

VANNSTANDEN STIGER OVER HRV Q>600m ³ /s	HJEMME- VAKT KOMMER TIL ANLEGG INNEN RIMELIG TID	NORMAL STRØM- TILFØRSEL I ORDEN	NØDAGGR. FUNGERER	MOBILT NØDAGGR. NÅR FREM I TIDE	HÅND- SVEIV AV LUKE MULIG	LUKER MEKANISK I ORDEN	MOBILKРАН KAN BENYTTES	KONSEKVEN- SANSYNLIGHET FOR AT INGEN LUKER ÅPNER	NR.
HENDELSESR. 0	1	2	3	4	5	6	7		

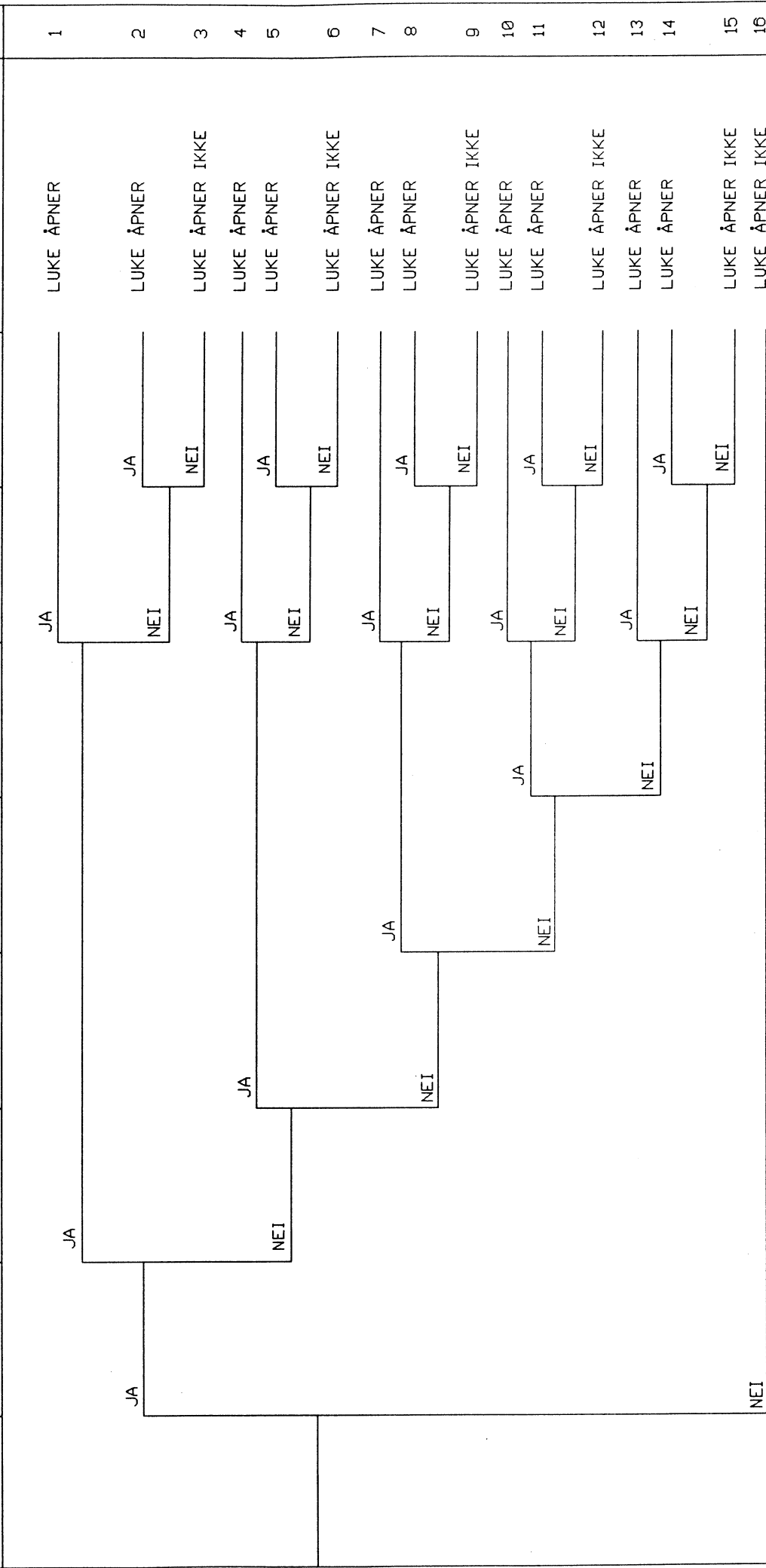


FIG. 8.19 HENDELSESTRE, FLOMSITUASJON-Q>600m³/s. INGEN LUKER UNNTATT BUNNLUKEN ÅPNER.

VANNSTANDEN STIGER OVER HRV VINTERDRIFT	HJEMME- VAKT KOMMER TIL ANLEGG INNEN RIMELIG TID	NORMAL STRØM- TILFØRSEL I ORDEN	LIKESTRØM- TILFØRSEL I ORDEN	NØDDAGR. FUNGERER	MOBILT NØDDAGR. NÅR FREM I TIDE	HÅND- SVEIV AV LUKE MULIG	LUKER MEKANISK I ORDEN	KONSEKVENNS SANNSYNLIGHET FOR AT INGEN LUKER ÅPNER	NR.
HEMDELSESNR. 0	1	2	3	4	5	6	7		
	JA	JA					JA	LUKE ÅPNER	1
		NEI					NEI	LUKE ÅPNER IKKE	2
			JA				JA	LUKE ÅPNER	3
							NEI	LUKE ÅPNER IKKE	4
				JA			JA	LUKE ÅPNER	5
			NEI				NEI	LUKE ÅPNER IKKE	6
					JA		JA	LUKE ÅPNER	7
				NEI			NEI	LUKE ÅPNER IKKE	8
						JA	JA	LUKE ÅPNER	9
					NEI		NEI	LUKE ÅPNER IKKE	10
						NEI		LUKE ÅPNER IKKE	11
	NEI							LUKE ÅPNER IKKE	12

FIG. 8.20 HENDELSESTRE, VINTERDRIFT, KRAFTSTASJON FALLER UT OG INGEN LUKER ÅPNER. ANALYSE AV BUNNLUKA

8. FEILSANNSYNLIGHETER, ENKELTHENDELSER OG SAMMENSATTE HENDELSER.

8.1 Pålitelighetsblokkdiagrammer

I det følgende er det satt opp pålitelighetsblokkdiagrammer for beregning av sannsynligheten. De enkelte blokkene i blokkdiagrammet er basert på de årsakssammenhenger som ble funnet under feiltreanalysen i kapittel 8. Pålitelighetsanalysen fokuserer på tre tilfeller:

1. Stor flomsituasjon, $Q > 2500 \text{ m}^3/\text{s}$. En flomluke (segmentluke) åpner ikke.
2. Flomsituasjon, $Q > 600 \text{ m}^3/\text{s}$. Ingen luker åpner (unntatt bunnluke)
3. Vinterdrift. Bunnluke åpner ikke, heller ingen andre luker. Analyse av bunnluke.

For å finne sannsynligheten for at f.eks. en damluke ikke åpner, kan man sette opp et blokkdiagram som vist på figurene 9.1, 9.2 og 9.3. Ut fra disse diagrammene kan hver blokk deles opp i et mer detaljert blokkdiagram som vist på figurene 9.4-9.16. F er betegnet sannsynligheten for svikt i en komponent.

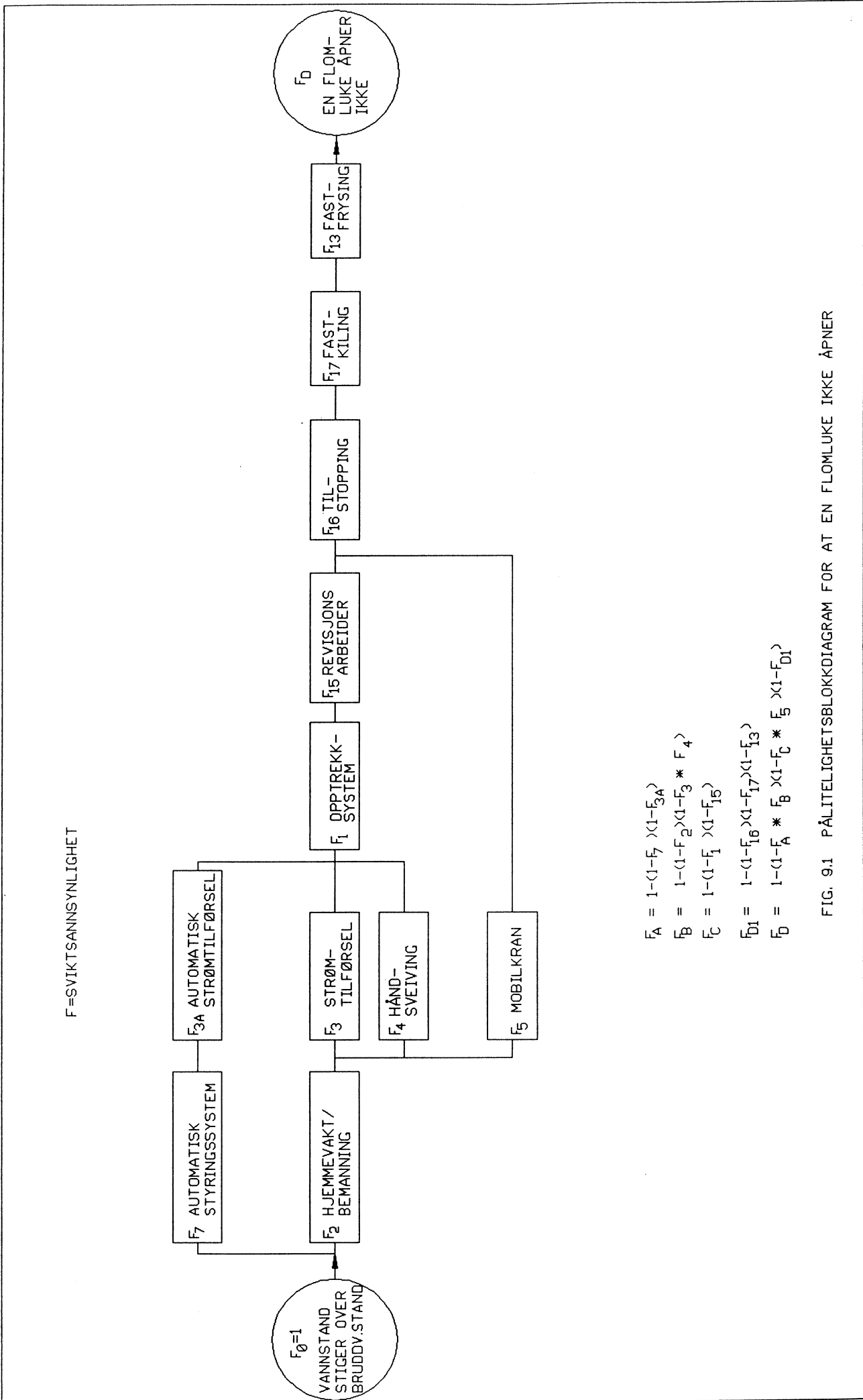
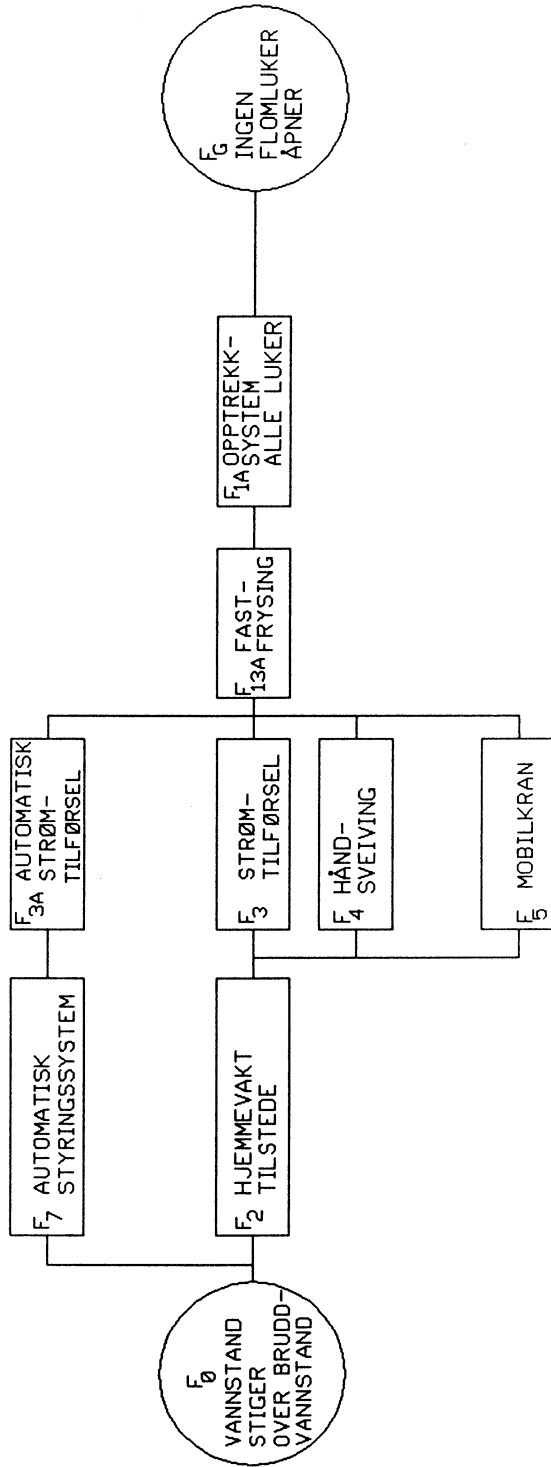


FIG. 9.1 PÅLITELIGHETSBLOKDIAGRAM FOR AT EN FLOMLUKE IKKE ÅPNER

F=SVIKTSANNSYNLIGHET



$$F_1 = 1 - (1 - F_7) \times (1 - F_{3A})$$

$$F_J = 1 - (1 - F_2) \times (1 - F_3 \times F_4 \times F_5)$$

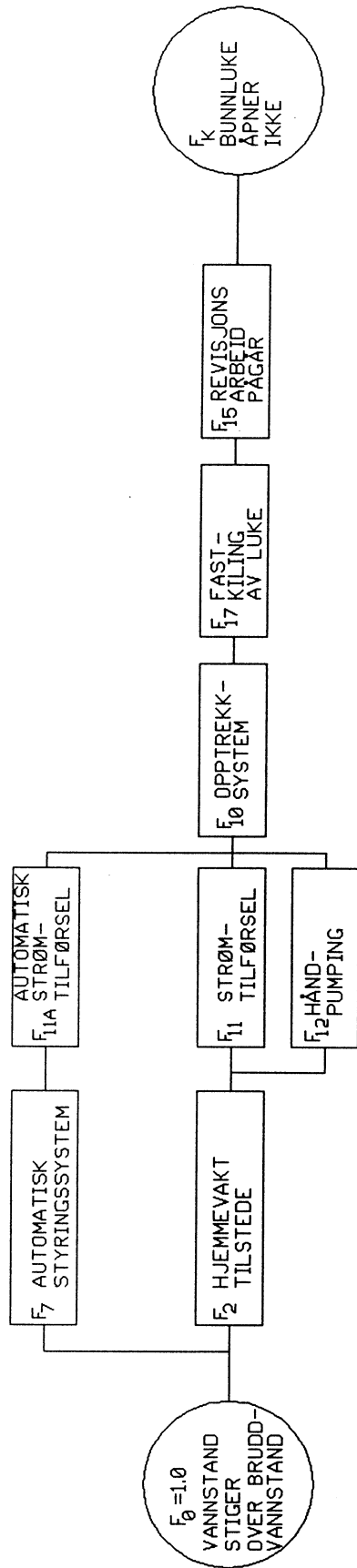
$$F_{J1} = 1 - (1 - F_{13A}) \times (1 - F_{1A})$$

$$F_{G1} = F_I \times F_J$$

$$F_G = 1 - (1 - F_{G1}) \times (1 - F_{J1})$$

FIG. 9.2 PÅLTELIGHETSBLOKEDIAGRAM FOR AT INGEN FLOMLUKER ÅPNER

F=SVIKTSANNSYNLIGHET



$$F_L = 1 - (1 - F_7) > (1 - F_{11A}) >$$

$$F_M = 1 - (1 - F_2) > (1 - F_{11} * F_{12}) >$$

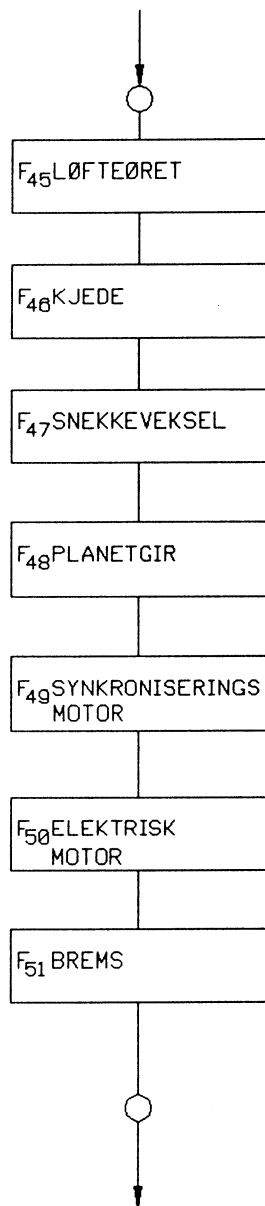
$$F_P = F_{12} * F_M$$

$$F_N = 1 - (1 - F_{10}) > (1 - F_{17}) > (1 - F_{15}) >$$

$$F_K = 1 - (1 - F_P) > (1 - F_N) >$$

FIG. 9.3 PÅTTELIGHETSBLOKKDIAGRAM FOR BUNNLUKE

OPPTREKKSYSYSTEM DAMLUKER, F_1



$$F = F_1(1 - (1 - F_{45})(1 - F_{46})(1 - F_{47})(1 - F_{48})(1 - F_{49})(1 - F_{50})(1 - F_{51}))$$

FIG. 9.4 OPPTREKKSYSYSTEM DAMLUKER

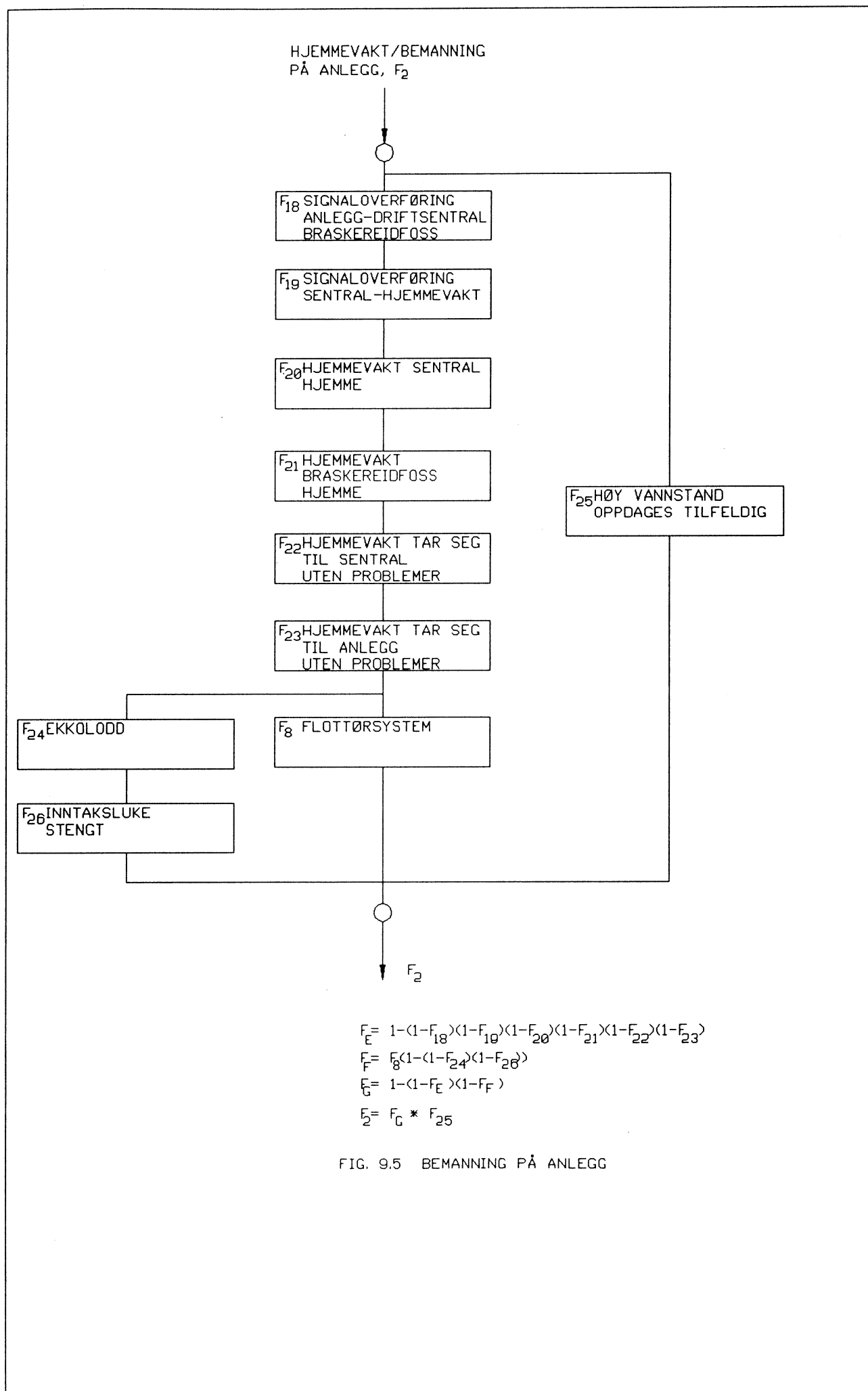
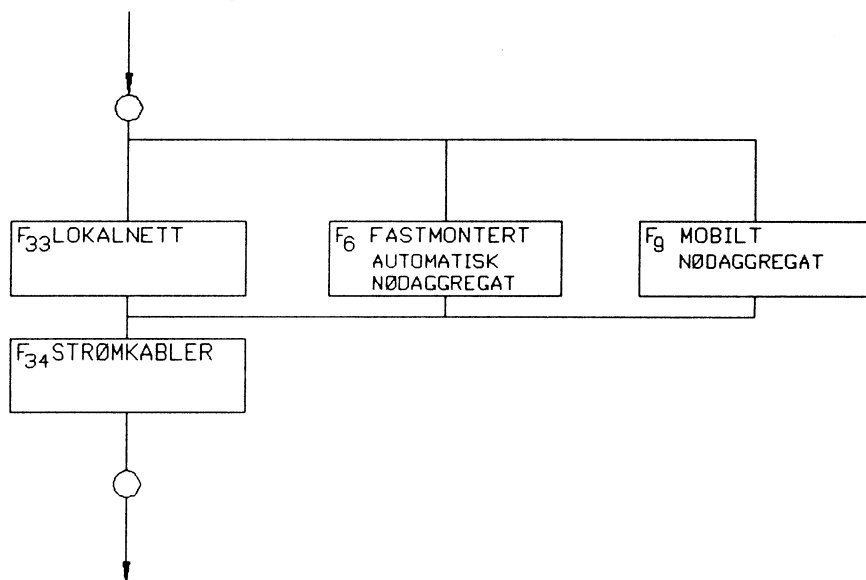


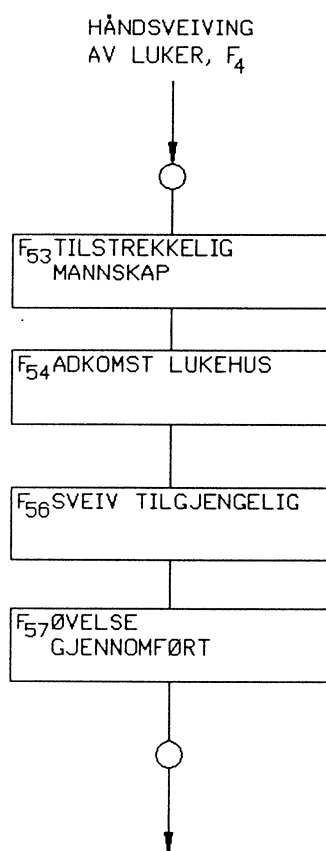
FIG. 9.5 BEMANNING PÅ ANLEGG

DAMLUKER
STRØMTILFØRSEL, F_3



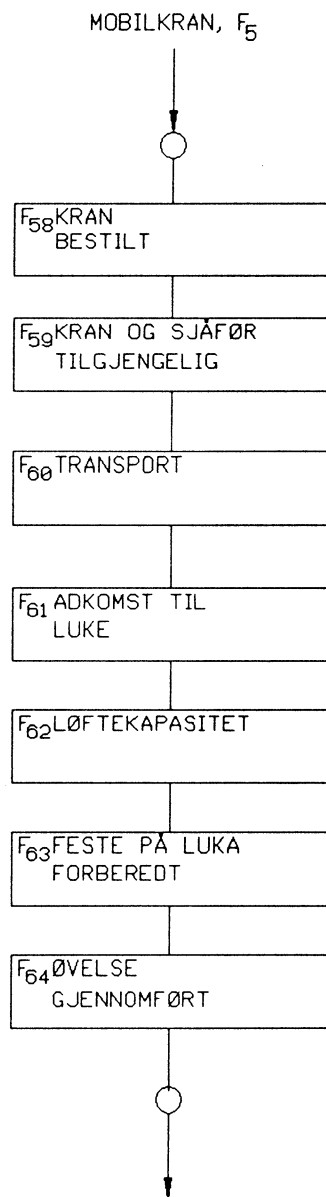
$$F_3 = 1 - (1 - F_{33} * F_6 * F_9) * (1 - F_{34})$$

FIG. 9.6 STRØMTILFØRSEL DAMLUKER



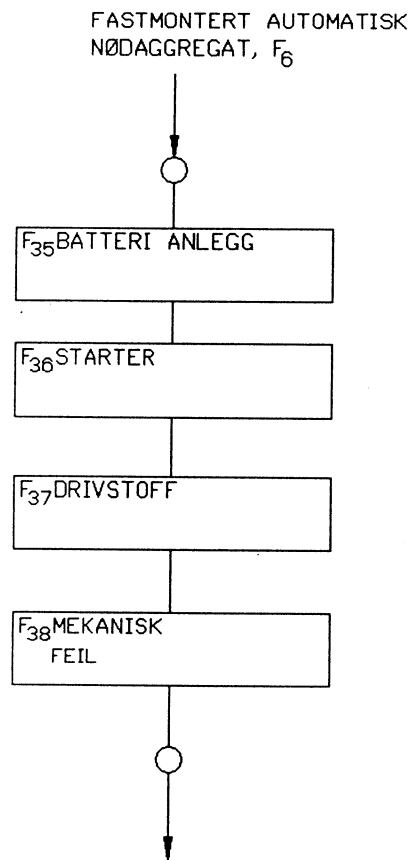
$$F_4 = 1 - (1 - F_{53})(1 - F_{54})(1 - F_{56})(1 - F_{57})$$

FIG. 9.7 HÅNDSVEIVING AV LUKER



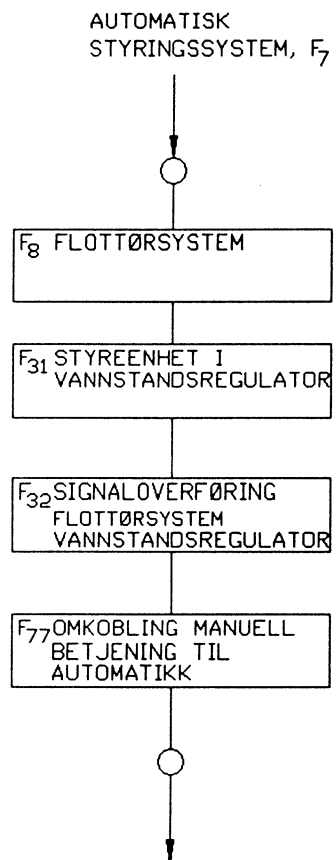
$$F_5 = 1 - (1 - F_{58}) \times (1 - F_{59}) \times (1 - F_{60}) \times (1 - F_{61}) \times (1 - F_{62}) \times (1 - F_{63}) \times (1 - F_{64})$$

FIG. 9.8 MOBILKRAN



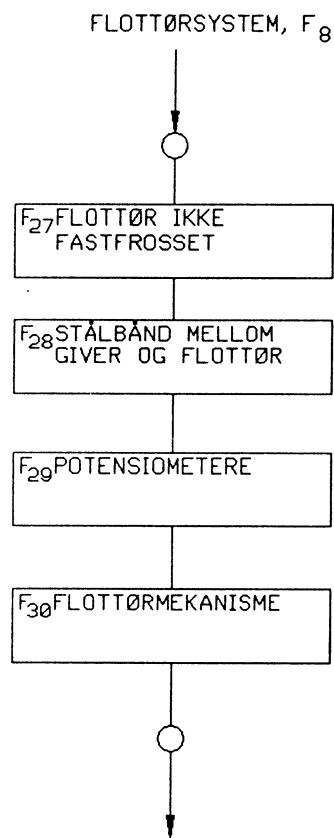
$$F_6 = 1 - (1 - F_{35}) \times (1 - F_{36}) \times (1 - F_{37}) \times (1 - F_{38})$$

FIG. 9.9 FASTMONTERT NØDAGGREGAT



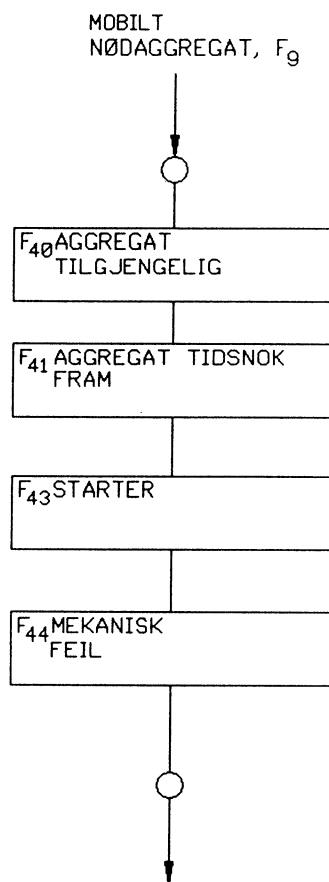
$$F_7 = 1 - (1 - F_8)(1 - F_{31})(1 - F_{32})(1 - F_{77})$$

FIG. 9.10 AUTOMATISK STYRINGSSYSTEM



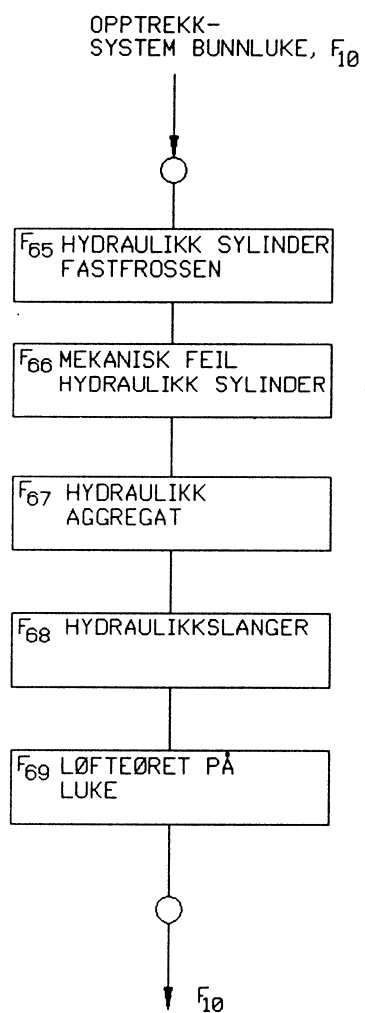
$$F_8 = 1 - (1 - F_{27})(1 - F_{28})(1 - F_{29})(1 - F_{30})$$

FIG. 9.11 FLOTTØRSYSTEM



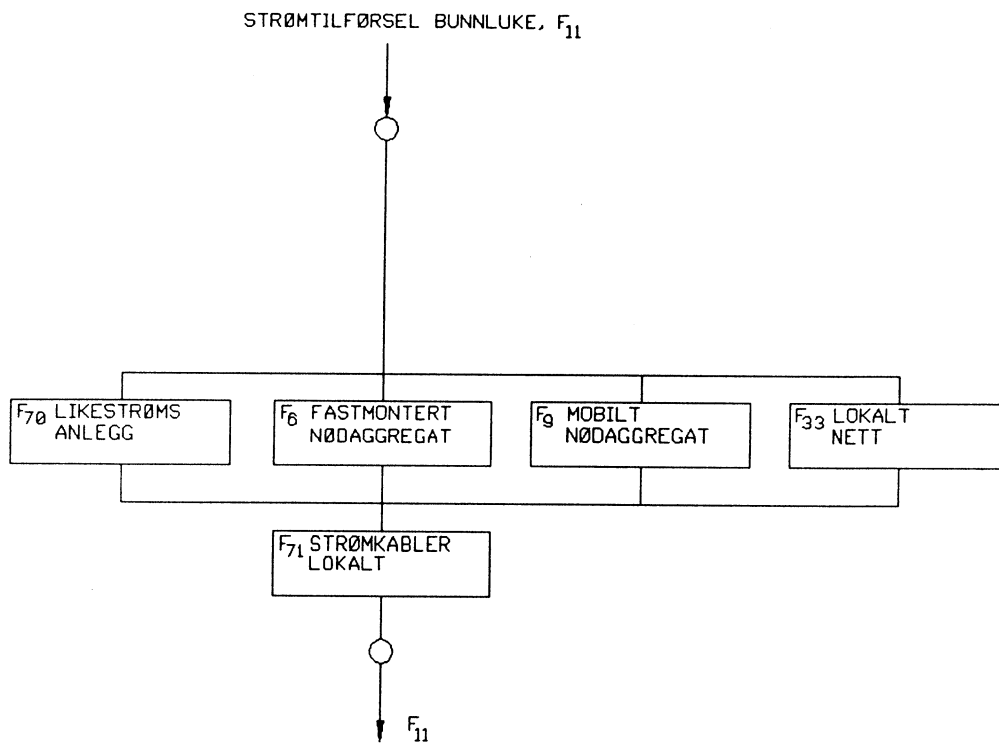
$$F_9 = 1 - (1 - F_{41}) \times (1 - F_{40}) \times (1 - F_{43}) \times (1 - F_{44})$$

FIG. 9.12 MOBILT NØDAGGREGAT



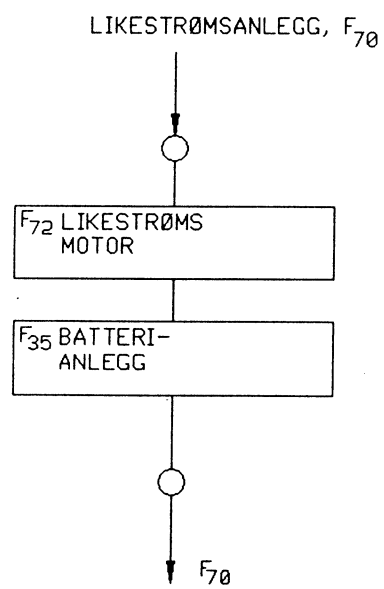
$$F_{10} = 1 - (1 - F_{65})(1 - F_{66})(1 - F_{67})(1 - F_{68})(1 - F_{69})$$

FIG. 9.13 OPPTREKKSYSYSTEM BUNNLUKE



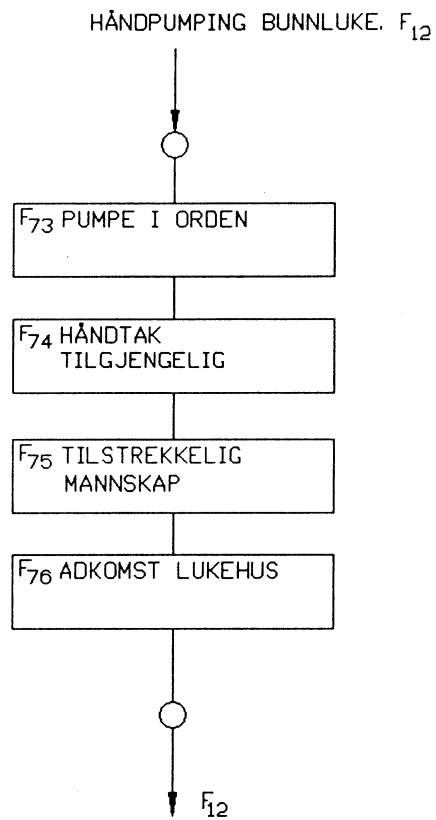
$$F_{11} = 1 - (1 - F_{70} * F_6 * F_9 * F_{33}) * (1 - F_{71})$$

FIG. 9.14 STRØMTILFØRSEL BUNNLUKE



$$F_{70} = 1 - (1 - E_{72})(1 - E_{35})$$

FIG. 9.15 LIKESTRØMSANLEGG



$$F_{12} = 1 - (1 - F_{73}) \times (1 - F_{74}) \times (1 - F_{75}) \times (1 - F_{76})$$

FIG. 9.16 HÅNDPUMPING BUNNLUKE

8.2 Kvantifisering av sannsynligheten for feil

Vi har i denne oversikten kun ment å vise hvordan man i prinsippet kan komme fram til sannsynlighetene F_D , F_G og F_K som er definert nedenfor. Man er da avhengig av å vite sannsynlighetene for at enkeltkomponentene svikter. Man må gå inn ulike statistisk materiale på forskjellige typer feil, noe som er tidkrevende. Dette er derfor ikke gjort i denne omgang. Sannsynlighetene er derfor bare relative verdier og er skjønnsmessig vurdert.

Følgende tilfeller er analysert:

1. En segmentluke fungerer ikke. Stor flomsituasjon $Q > 2500 \text{ m}^3/\text{s}$. F_D er sannsynligheten for at en flomluke ikke åpner innen 24 timer. Sannsynligheten F_D er da beregnet ut fra blokkdiagrammene som gir de angitte formler i figurene. Det er regnet med en varighet på flommen på 0,5 måned. Alle sannsynlighetene er angitt i frekvens pr flomtilfelle. Beregningene er for enkelhets skyld foretatt på regneark.
2. Ingen flomluker åpner, men kun bunnluka åpner. Flomsituasjon $Q > 600 \text{ m}^3/\text{s}$. Det er regnet med en varighet på flommen på ca 1 mnd. F_G er sannsynligheten for at ingen flomluker åpner innen 5 timer. Sannsynligheten F_G er da beregnet ut fra blokkdiagrammene som gir de angitte formler i figurene. Alle sannsynligheten er angitt i frekvens pr flomtilfelle.
3. Kraftstasjonen faller ut under vinterdrift og ingen luker åpner. Analyse av bunnluka spesielt. F_K er sannsynligheten at for bunnluka ikke åpner når stasjonen faller ut. Sannsynligheten F_K er da beregnet ut fra blokkdiagrammene som gir de angitte formler i figurene. Alle sannsynligheten er angitt i frekvens pr tilfelle.

PROSJEKT DAMSIKKERHET
SANNSYNLIGHETSBEREGNING-EN FLOMLUKE (SEGMENTLUKE) ÅPNER IKKE
INNEN 24 TIMER, FD, Q > 2500 M³/S
F=RELATIV SVIKTSANNSYNLIGHET (FREKVENNS/FLOMTILFELLE)

F0= 1.00E+00
F1= 1.01E-04
F2= 4.90E-02
F3= 2.04E-05
F4= 1.30E-03
F5= 9.70E-01
F7= 1.13E-04
F15= 8.30E-05
F16= 5.50E-03
F17= 2.00E-04
F13= 1.40E-04
FA= 5.34E-04
FB= 4.90E-02
FC= 1.84E-04
FD1= 5.84E-03
FD= 6.04E-03

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-HJEMMEVAKT IKKE TILSTEDE PÅ ANLEGG
INNEN RIMELIG TID, F2-STOR FLOM, Q>2500M³/S

F18= 1.00E-03
F19= 5.00E-03
F20= 1.00E-03
F21= 1.00E-03
F22= 1.00E-04
F23= 5.00E-02
F24= 3.00E-04
F25= 8.50E-01
F8= 3.00E-05
F26= 5.00E-01
FE= 5.77E-02
FF= 1.50E-05
FG= 5.77E-02
F2= 4.90E-02

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-FLOTTØRSYSTEM SVIKTER, F8

F27= 2.00E-05
F28= 8.00E-06
F29= 2.00E-08
F30= 2.00E-06
F8= 3.00E-05

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-AUTOMATISK STYRINGSSYSTEM SVIKTER, F7

F8= 3.00E-05
F31= 1.70E-06
F32= 1.50E-06
F77= 8.00E-05
F7= 1.13E-04

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-ALL STRØMTILFØRSEL TIL LUKEN SVIKTER,F3

F6= 8.18E-04
F9= 2.06E-02
F33= 5.00E-01
F34= 1.20E-05
F3= 2.04E-05
F3A= 4.21E-04

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-FASTMONTERT AUT.NØDAGGREGAT SVIKTER,F6

F35= 2.80E-05
F36= 4.00E-05
F37= 4.00E-04
F38= 3.50E-04
F6= 8.18E-04

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-MOBILT NØDAGGREGAT SVIKTER,F9

F40= 3.00E-05
F41= 2.00E-02
F43= 3.00E-04
F44= 3.00E-04
F9= 2.06E-02

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-OPPTREKKSYSYSTEM SVIKTER,F1

F45= 1.40E-05
F46= 1.40E-05
F47= 8.30E-06
F48= 1.50E-05
F49= 2.00E-05
F50= 2.00E-05
F51= 1.00E-05
F1= 1.01E-04

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-HÅNDSVEIVING SVIKTER,F4

F53= 1.00E-03
F54= 1.00E-04
F56= 1.00E-04
F57= 1.00E-04
F4= 1.30E-03

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-MOBILKRAN SVIKTER,F5

F58= 1.00E-03
F59= 1.00E-03
F60= 5.00E-03
F61= 1.00E-03
F62= 4.00E-04
F63= 9.50E-01
F64= 4.00E-01
F5= 9.70E-01

PROSJEKT DAMSIKKERHET
 VINTERDRIFT-STASJONEN FALLER UT OG INGEN LUKER ÅPNER
 SANNSYNLIGHETSBEREGNING-BUNNLUKA ÅPNER IKKE
 NÅR STASJONEN FALLER UT,FK

F=RELATIV SVIKTSANNSYNLIGHET (FREKVENNS PR TILFELLE)

F0= 1.00E+00
 F10= 2.04E-02
 F2= 4.13E-02
 F11= 1.62E-02
 F12= 4.22E-02
 F7= 9.20E-02
 F15= 1.00E-01
 F17= 2.40E-02
 FL= 2.31E-01
 FM= 1.76E-01
 FK= 4.06E-02

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-HJEMMEVAKT IKKE TILSTEDE PÅ ANLEGG,F2
 VINTERDRIFT BUNNLUKA

F18= 1.20E-02
 F19= 6.00E-03
 F20= 1.20E-02
 F21= 1.20E-02
 F22= 5.00E-05
 F23= 8.00E-05
 F24= 3.60E-02
 F25= 9.50E-01
 F8= 4.50E-02
 F26= 1.00E-02
 FE= 4.15E-02
 FF= 2.05E-03
 FG= 4.34E-02
 F2= 4.13E-02

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-FLOTTØRSYSTEM SVIKTER,F8

F27= 1.20E-02
 F28= 9.60E-03
 F29= 2.40E-05
 F30= 2.40E-02
 F8= 4.50E-02

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-AUTOMATISK STYRINGSSYSTEM SVIKTER,F7

F77= 2.40E-02
 F8= 4.50E-02
 F31= 2.00E-02
 F32= 6.00E-03
 F7= 9.20E-02

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-STRØMTILFØRSEL BUNNLUKE SVIKTER,F11

F6= 1.60E-03
 F9= 5.09E-02
 F33= 8.00E-03
 F70= 8.28E-03
 F71= 8.28E-03
 F11= 1.62E-02
 F11A= 1.78E-02

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-FASTMONTERT AUT.NØDAGGREGAT SVIKTER,F6

F35= 3.30E-02
 F36= 4.80E-02
 F37= 4.80E-02
 F38= 4.20E-02
 F39= 1.00E-02
 F6= 1.60E-03

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-MOBILT NØDAGGREGAT SVIKTER,F9

F40= 9.00E-04
 F41= 5.00E-02
 F42= 5.00E-02
 F43= 3.60E-02
 F44= 3.60E-02
 F9= 5.09E-02

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-LIKESTRØMSANLEGG SVIKTER,F70

F72= 4.30E-03
 F73= 4.00E-03
 F70= 8.28E-03

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-OPPTREKKSYSYSTEM BUNNLUKE SVIKTER,F10

F65= 2.00E-02
 F66= 5.00E-05
 F67= 5.00E-05
 F68= 2.50E-04
 F69= 2.50E-05
 F10= 2.04E-02

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-HÅNDPUMPING SVIKTER,F4B

F72= 2.10E-03
 F35= 3.00E-02
 F74= 5.00E-04
 F75= 1.00E-02
 F4= 4.22E-02

SANNSYNLIGHETEN FOR AT BUNNLUKA IKKE ÅPNER SAMTIDIG MED AT INGEN AV DE TRE FLOMLUKENE ÅPNER NÅR STASJONEN FALLER UT BLIR:FK*FG=0.0406*0.00259=0.000105 FORUTSATT AT DISSE HENDELSENE VAR UAVHENGIGE. I VIRKELIGHETEN ER SVIKTSANNSYNLIGHETEN STØRRE PÅ GRUNN AV AVHENGIGHET MELLOM HENDELSENE VED BLA FELLES AUT. STYRINGSSYSTEM OG EN DEL AV STRØMTILFØRSELEN ER OGSÅ FELLES.

PROSJEKT DAMSIKKERHET
 SANNSYNLIGHETSBEREGNING-INGEN SEGMENTLUKER ÅPNER
 INNEN 5 TIMER,FG (BARE BUNNLUKA ÅPNER)
 FLOMTILFELLE Q > 600 M3/S
 F=RELATIV SVIKTSANNSYNLIGHET (FREKVENNS PR FLOMTILFELLE)

F0= 1.00E+00
 F2= 3.91E-02
 F3= 1.59E-02
 F4= 6.56E-02
 F5= 9.95E-01
 F7= 3.16E-02
 F13= 1.10E-10
 F1= 5.78E-02
 FJ= 4.01E-02
 FJ1= 2.78E-04
 F1A= 2.78E-04
 FG1= 2.32E-03
 FG= 2.59E-03

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-HJEMMEVAKT IKKE TILSTEDE PÅ ANLEGG
 INNEN RIMELIG TID,F2 Q > 600 M3/S

F18= 4.00E-03
 F19= 2.00E-03
 F20= 4.00E-03
 F21= 4.00E-03
 F22= 1.00E-04
 F23= 2.00E-02
 F24= 1.20E-02
 F25= 9.50E-01
 F8= 1.51E-02
 F26= 5.00E-01
 FE= 3.37E-02
 FF= 7.66E-03
 FG= 4.11E-02
 F2= 3.91E-02

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-FLOTTØRSYSTEM SVIKTER,F8

F27= 4.00E-03
 F28= 3.20E-03
 F29= 8.00E-06
 F30= 8.00E-03
 F8= 1.51E-02

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-AUTOMATISK STYRINGSSYSTEM SVIKTER,F7

F77= 8.00E-03
 F8= 1.51E-02
 F31= 6.80E-03
 F32= 2.00E-03
 F7= 3.16E-02

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-ALL STRØMTILFØRSEL TIL ALLE LUKER SVIKTER,F3

F6= 4.46E-02
 F9= 5.00E-01
 F33= 5.00E-01
 F34= 4.80E-03
 F3= 1.59E-02
 F3A= 2.70E-02

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-FASTMONTERT AUT.NØDAGGREGAT SVIKTER,F6

F35= 1.10E-02
 F36= 1.60E-02
 F37= 1.60E-02
 F38= 1.40E-02
 F39= 8.00E-01
 F6= 4.46E-02

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-MOBILT NØDAGGREGAT SVIKTER,F9

F40= 3.00E-04
 F41= 5.00E-01
 F42= 9.00E-01
 F43= 1.20E-02
 F44= 1.20E-02
 F9= 5.00E-01

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-OPPTREKKSYSYSTEM ALLE LUKER SVIKTER,F1A

F45= 5.60E-03
 F46= 5.60E-03
 F47= 3.30E-03
 F48= 6.00E-03
 F49= 8.00E-03
 F50= 8.00E-03
 F51= 3.40E-02
 F52= 9.50E-01
 F1= 6.53E-02
 F1A= 2.78E-04

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-HÅNDSVEIVING SVIKTER,F4

F53= 1.00E-04
 F54= 2.00E-05
 F1= 6.53E-02
 F56= 1.50E-04
 F57= 1.00E-04
 F4= 6.56E-02

SANNSYNLIGHETSBEREGNING-MOBILKRAN SVIKTER,F5

F58= 8.00E-01
 F59= 5.00E-01
 F60= 5.00E-03
 F61= 1.00E-03
 F62= 4.00E-04
 F63= 9.50E-01
 F64= 1.00E-04
 F5= 9.95E-01

Vi har skjønnsmessig satt opp følgende relative sannsynligheter:

Betegnelsene er som følger:

- F_D = Sannsynligheten for at en damluke ikke åpner.
- F_G = Sannsynligheten for ingen damluker åpner.
- F_K = Sannsynligheten for at bunnluka ikke åpner.
- F_0 = Sannsynligheten for at vannstanden stiger over HRV ($F_0=1.0$).
- F_1 = Sannsynligheten for svikt i opptrekksystemet for en damluke. Det kan for eks være svikt i løfteøre, kjede, lukespill etc som gjør at luken rent mekanisk ikke lar seg manøvrere.
- F_{1A} = Sannsynligheten for svikt i opptrekksystemet for alle damluker. Det kan for eks være svikt i løfteøre, kjede, lukespill etc som gjør at lukene rent mekanisk ikke lar seg manøvrere.
- F_2 = Sannsynligheten for at hjemnevakta svikter slik at stasjonen ikke blir bemannet innen rimelig tid. Hva som er rimelig tid her er avhengig av hvilken feil som er oppstått. Grunnen til at hjemnevakta svikter kan f.eks. være at det er feil med signaloverføring til driftssentralen eller det kan være andre ikke-tekniske årsaker.
- F_3 = Sannsynligheten for svikt i all strømforsyning. Det er da slik at mobilt og fastmontert nødaggregat svikter samtidig som lokalnett faller ut. Det kan også være på grunn av at strømkabler lokalt svikter.
- F_{3A} = Sannsynligheten for svikt i all automatisk strømforsyning. Det er da slik at lokalnett faller ut og fastmontert nødaggregat svikter. Det kan også være på grunn av at strømkabler lokalt svikter.
- F_4 = Sannsynligheten for at hånd sveiving av luker mislykkes. Det kan f.eks være fordi rommet der lukespillet står ikke er tilgjengelig pga flomvann, at man ikke finner sveiva etc.
- F_5 = Sannsynligheten for mobilkran ikke kan brukes for å få opp lukene i tide.
- F_6 = Sannsynligheten for svikt på det fastmonterte nødaggregatet. Det kan være feil i startmotor, generelt dårlig vedlikehold, etc.

- F₇= Sannsynligheten for svikt i automatisk styringssystem. Det kan f.eks. være feil i flottørsystemet for vannstandsregistrering, feil i styreenheten til vannstandsregulatoren etc.
- F₈= Sannsynligheten for svikt flottørsystemet.
- F₉= Sannsynligheten for at det mobile nødaggregatet ikke kan brukes f.eks fordi det ikke rekker fram i tide eller rett og slett feil i selve mobilaggregatet slik at det ikke virker som det skal.
- F₁₀= Sannsynligheten for at opptrekksystemet til bunnluka svikter.
- F₁₁= Sannsynligheten for at all strømtilførsel til bunnluka svikter dvs både reserve-og normalforsyning eller strømkabler.
- F_{11A}= Sannsynligheten for at all automatisk strømtilførsel til bunnluka svikter dvs både reserve-og normalforsyning eller strømkabler
- F₁₂= Sannsynligheten for at det ikke lar seg gjøre å håndpumpe opp bunnluka f.eks. p.g.a. lekkasje i håndpumpe etc.
- F₁₃= Sannsynligheten for at luka har frosset fast på grunn av store isdannelser foran og bak luke.
- F₁₅= Sannsynligheten for revisjonsarbeider pågår på en damluke.
- F₁₆= Sannsynligheten for at drivgods etc har tilstoppet lukeløpet slik at luka ikke kan manøvreres.
- F₁₇= Sannsynligheten for at luka har kilt seg fast.
- F₁₈= Sannsynligheten for at det er svikt i signaloverføring mellom anlegg og driftssentral.
- F₁₉= Sannsynligheten for at signaloverføringen mellom driftssentral og hjemnevakt i Heradsbygda svikter.
- F₂₀= Sannsynligheten for at hjemnevakta til driftssentralen i Heradsbygda ikke er hjemme.
- F₂₁= Sannsynligheten for at hjemnevakta til Braskereidfoss ikke er hjemme.
- F₂₂= Sannsynligheten for at hjemnevakta i Heradsbygda får problemer underveis til driftssentralen.
- F₂₃= Sannsynligheten for at hjemnevakta i Braskereidfoss får problemer underveis til anlegget.
- F₂₄= Sannsynligheten for at ekkoloddsystem for vannst.måling svikter.

- F₂₅= Sannsynligheten for at høy vannstand i dammen (over HRV) ikke oppdages tilfeldig av forbipasserende.
- F₂₆= Sannsynligheten for at inntaksluka er stengt slik at ekkolodd ikke fungerer.
- F₂₇= Sannsynligheten for at flottøren i lukehus er frosset fast.
- F₂₈= Sannsynligheten for at stålbånd mellom giver og flottør svikter.
- F₂₉= Sannsynligheten for at begge potensiometere svikter.
- F₃₀= Sannsynligheten for at flottørmekanismen (mekanisk overføring) svikter.
- F₃₁= Sannsynligheten for at styreenheten i vannstandsregulatoren svikter.
- F₃₂= Sannsynligheten for at signaloverføringen mellom flottørsystem og vannstandsregulator svikter.
- F₃₃= Sannsynligheten for at lokalnett faller ut. Denne sannsynligheten må også knyttes til antall timer strømmen er borte. For dette tilfelle betegner da F₃₃ sannsynligheten for at strømmen er borte mer enn henholdsvis 5 timer og 24 timer som er de tidene som er interessante her.
- F₃₄= Sannsynligheten for at strømkabler lokalt til el.motor for opptrekk av damluker svikter.
- F₃₅= Sannsynligheten for at batterianlegg til aut. nødaggregat svikter.
- F₃₆= Sannsynligheten for at starter til aut. nødaggregat svikter.
- F₃₇= Sannsynligheten for at drivstoff mangler på aut. nødaggregat.
- F₃₈= Sannsynligheten for at der er mekanisk feil på aut.nødaggregat.
- F₃₉= Sannsynligheten for at feil på nødaggr. ikke kan repareres innen angitt tid.
- F₄₀= Sannsynligheten for det mobile nødaggregatet ikke er tilgjengelig i en nødsituasjon.
- F₄₁= Sannsynligheten for at det mobile nødaggregat ikke kommer tidsnok fram.
- F₄₂= Sannsynligheten for at det mobile nødaggregatet ikke kan repareres innen angitt tid.

- F₄₃ = Sannsynligheten for at starteren til det mobile nødaggregatet ikke virker.
- F₄₄ = Sannsynligheten for at det er mekanisk feil i mobilt nødaggregat.
- F₄₅ = Sannsynligheten for at løfteøret på en damluke svikter.
- F₄₆ = Sannsynligheten for at opptrekkskjede til damluke svikter.
- F₄₇ = Sannsynligheten for at snekkeveksel til opptrekksystem damluke svikter.
- F₄₈ = Sannsynligheten for at planetgir til opptrekksystem damluke svikter.
- F₄₉ = Sannsynligheten for at synkroniseringsmotor til opptrekksystem damluke svikter.
- F₅₀ = Sannsynligheten for at el. motor til opptrekksystem damluke svikter.
- F₅₁ = Sannsynligheten for at brems til opptrekksystem damluke ligger på.
- F₅₂ = Sannsynligheten for at det ikke nytter å reparere opptrekksystem damluke innen angitt tid.
- F₅₃ = Sannsynligheten for at det ikke er tilstrekkelig mannskap til å håndveive luker.
- F₅₄ = Sannsynligheten for at adkomst til lukehus ikke er mulig i en flomsituasjon.
- F₅₆ = Sannsynligheten for sveiv for håndveiving ikke er tilgjengelig.
- F₅₇ = Sannsynligheten for at det ikke er gjennomført øvelse på håndveivingsprosedyrer.
- F₅₈ = Sannsynligheten for at mobilkran ikke er bestilt i tide.
- F₅₉ = Sannsynligheten for at mobilkran og sjåfør ikke er tilgjengelig i en nødsituasjon.
- F₆₀ = Sannsynligheten for at transporten for mobilkrana svikter.
- F₆₁ = Sannsynligheten for at mobilkrana ikke når fram til luka.
- F₆₂ = Sannsynligheten for at løftekapasiteten til mobilkrana ikke er tilstrekkelig.

- F₆₃ = Sannsynligheten for at det ikke er forberedt feste på luka for mobilkran.
- F₆₄ = Sannsynligheten for at det ikke er gjennomført øvelse på løfteprosedyrer med mobilkran.
- F₆₅ = Sannsynligheten for at bunnlukas hydrauliske opptrekksylinder er fastfrosset.
- F₆₆ = Sannsynligheten for at det er mekanisk feil på hydraulisk sylindre bunnluke.
- F₆₇ = Sannsynligheten for at hydraulisk aggregat til bunnluka svikter.
- F₆₈ = Sannsynligheten for at hydraulikkslanger til bunnluka svikter.
- F₆₉ = Sannsynligheten for at løfteøret på bunnluka svikter.
- F₇₀ = Sannsynligheten for at likestrømsanlegg til bunnluke svikter.
- F₇₁ = Sannsynligheten for at strømkabler lokalt til bunnluke svikter.
- F₇₂ = Sannsynligheten for at likestrømsmotor bunnluke svikter.
- F₇₃ = Sannsynligheten for at håndpumpe til hydr.aggr. bunnluke svikter.
- F₇₄ = Sannsynligheten for at det ikke er håndtak til håndpumpe for bunnluke tilgjengelig.
- F₇₅ = Sannsynligheten for at det ikke er tilstrekkelig mannskap for håndpumping.
- F₇₆ = Sannsynligheten for at det ikke er adkomst til lukehus i en flomsituasjon.
- F₇₇ = Sannsynligheten for at man glemmer å koble om til det automatisk styringssystem når lukene har vært betjent manuelt.

I det følgende er det satt opp en tabell der det er vurdert sannsynligheten for å reparere enkelte feil innen henholdsvis 5 timer og 24 timer i en flomsituasjon. Det er her kun foretatt en skjønnsmessig vurdering. Feilen i seg selv forhindrer manøvrering av luka med den aktuelle komponent.

R1= Sannsynligheten for at feilen som oppstår kan repareres innen 5 timer slik at luka kan manøvreres

R2= Sannsynligheten for at feilen som oppstår kan repareres innen 24 timer slik at luka kan manøvreres.

SEGMENTLUKER OG TØMMERLUKE

FEIL :	R1	R2
Normal strømforsyning.....	0.5	0.55
Fastmontert nødaggregat.....	0.90	0.95
Mobilt aggregat.....	0.90	0.95
Strømkabler(brann).....	0.30	0.80
Mekanisk feil på luke:		
Kjede.....	0.01	0.4
Løfteøre (Brudd).....	0.05	0.8
Fastkiling.....	0.50	0.9
Tilstopping av drivgods over luka som forhindrer manøvrering.....	0.7	1.0
Luker frosset fast.....	0.8	1.0
Lukespill:		
Elektrisk motor.....	0.05	0.2
Synkroniseringsmotor.....	0.01	0.05
Snekkeveksel.....	0.0	0.01
Planetgir.....	0.0	0.01
Brems.....	0.98	1.0

BUNNLUKE

FEIL I :	R1	R2
Normal strømforsyning.....	0.5	0.55
Likestrømsanlegg.....	0.80	0.90
Lukespill:		
Hydraulikksylinder.....	0.1	0.50
Hydraulikkslanger.....	0.5	0.99
Hydraulisk aggregat.....	0.5	0.90
Vekselstrømsmotor.....	0.05	0.50
Likestrømsmotor.....	0.05	0.50
Fastkiling.....	0.2	0.2
Fastfrysing av lukesylinder.....	1.0	1.0

9. TILTAK

Som det fremgår av kapittel 8 og 9, har hjemmevakta en meget viktig funksjon i systemet. Det at stasjonen blir bemannet når det normale reguleringsystemet svikter eller andre feil oppstår, er av avgjørende betydning for funksjonssikkerheten.

Funksjonssikkerheten på vannstandsmålingen er derfor viktig. Det hadde vært en fordel å flytte ekkoloddet slik at det også registrerer vannstanden når inntaksluka er stengt.

Man kunne også tenke seg å ha en reserve nivåmåleenhet til flottørsystemet som tar over reguleringen av lukene dersom flottørsystemet svikter. Dette kunne f.eks. gjøres i forbindelse med kjølevannsut-taket. I vannveien er det et kjølevannsut-tak på oppstrøms- og et på nedstrøms side av inntaksluka. Herfra går det rør inn i stasjonen. Ved å koble seg til rør fra oppstrøms uttak, kan man etablere et vannstandsmålerør inne i stasjonen. I dette rør kan plasseres trykkføler, flottør eller ekkolodd for registrering av vannstand.

Funksjonssikkerheten til signaloverføringen fra anlegget til driftssentral er av avgjørende betydning for at hjemmevakt skal bli varslet ved feil. Man kunne her tenke seg at varselsignalene om høy vannstand, foruten som i dag å gå via høyspentnettet til driftssentralen i Heradsbygda, også samtidig kunne gå via telenettet til hjemmevakta i Braskereidfoss sin mobiltelefon. Man fikk da dublert signaloverføringen fra anlegget og man fikk varslet to personer samtidig, noe som ville øke funksjonssikkerheten.

Man bør nok også tenke igjennom reservemuligheten i organisasjonen dersom hjemmevakta eller vakta på driftssentralen i Heradsbygda av en eller annen grunn skulle svikte f.eks. av ikke-tekniske årsaker.

Et annet utsatt punkt er strømkablene lokalt mellom kraftstasjon og luker. Når disse går ved siden av hverandre, vil alle kunne svikte ved f.eks. brann. I tillegg til at man kunne la disse gå adskilt, kunne man f.eks. ha reservekabel i stasjon slik at man kan trekke denne opp på brua i en krisesituasjon. Man kunne da f.eks. koble seg til en og en luke.

Lukehusene i dampilarene har drenasjerør med liten kapasitet. Dersom det renner vann inn i lukehusene, vil lukespillene kunne bli ødelagt. Dersom man øket drenasjekapasiteten her, vil man ha større sjanse for å beholde lukespillet intakt.

Man kunne også tenke seg som en annen ekstra sikkerhet å forberede stikk-kontakttilkobling fra brua for det mobile nødstrømaggregat. Foruten at det vil være raskere og mer praktisk, vil man også ha mulighet for manøvrering av lukene dersom det ikke er adkomst til lukespillene i dampilarene forutsatt at lukespillene fortsatt er intakt.

Når det gjelder bruk av mobilkran for å få lukene opp i en krisesituasjon, vil det være en stor fordel om man hadde forberedt et feste på lukene som kranen kan ta tak i. Dersom vannstanden stiger så høyt at det begynner å renne vann over lukene, vil det være bortimot umulig å improvisere et forsvarlig feste. Montering av løfteører på lukene med wire/kjettingforlengelse over brua for feste for mobilkran kunne være et tiltak her. Man bør da også arrangere en mekanisk forrigling som kunne holde luka oppe i åpen stilling slik at mobilkrana kan begynne å åpne neste luke.

En slik manøvrering av luker med mobilkran bør forøvrig prøves under kontrollerte forhold slik at man har erfaring med hvordan det skal gjøres når det oppstår en krisesituasjon.

Man kunne også tenke seg å montere et eget nødopptrekk for damlukene som er helt uavhengig av opptrekksystemet forøvrig. Slikt nødopptrekk er montert på Løpet kraftverk der damluka har ensidig opptrekk. Et slikt nødopptrekksystem er imidlertid noe mer komplisert å få til på Braskereidfoss da damlukene her har tosidig opptrekk.

Den 30 cm høye spalten mellom brua og dampilar (kote 165) på østsiden av elva bør dekkes til for å hindre vann i å renne inn i stasjonen. Dette kan f.eks gjøres ved fastbolting av en tykk gummiduk over åpningen.

10. DRØFTING AV ANALYSEN

I analysen av Braskereidfoss kraftverk er det først og fremst vurdert funksjonssikkerheten til hovedkomponentene på anlegget. På et slikt anlegg er det imidlertid mange detaljer som har en stor betydning og som man kunne analysert nærmere. Det er imidlertid i denne omgang ikke gått detaljert inn i hver komponent for feilanalyse.

Analysen viser at funksjonssikkerheten til lukene på Braskereidfoss er god selv om det er enkelte svake punkter i systemet. Analysen har bla vist at det er enkelte komponenter/elementer som har større betydning for den totale funksjonssikkerheten enn andre. Spesielt gjelder dette der man ikke har noen reservemulighet, dvs der det er kun en ting som skal svikte for at lukene ikke åpner. Hjemmevakta er av avgjørende betydning når komponenter svikter som ikke har automatisk reserveinnkopling. Dette gjelder stort sett for alle komponenter unntatt strømtilførselen der man har automatisk innkobling av nødaggregat og likestrømsanlegg for bunnluke.

Dersom det oppstår en svikt på anlegget, slik at vannstanden stiger, er det av avgjørende betydning at det kommer bemanning innen relativt kort tid. Det hviler derfor et stort ansvar på hjemmevakta og en stor del av hele systemets pålitelighet, dvs at lukene åpner tidsnok, avhenger at sannsynligheten for at denne personen kommer på anlegget er stor (liten sviktsannsynlighet).

Foruten at det er viktig at hjemmevakta i seg selv er pålitelig, er det også meget viktig at det varslingsystemet som skal gi beskjed til hjemmevakta om høy vannstand er funksjonssikkert. Dersom man skulle peke på enkelte svake punkter, mener vi at dette er et av de viktigste på Braskereidfoss. Dette kan illustreres ved følgende eksempel:

Dersom man en kald vinterdag har nødvendige reparasjonsarbeider på turbinen, vil inntaksluka være stengt. Da vil ekkoloddet som varsler høy vannstand være satt ut av funksjon og bunnluke vil være åpen for å ta turbinvannføringen. Man har da kun varsel fra flottørsystemet å stole på. Dersom da f.eks lyspæra i varmelampa til flottørrøret skulle svikte, vil flottøren fryse fast. Lukestyringen vil da være ute av funksjon og alle lukene vil stå fast i den stillingen de hadde idet flottøren frosset fast. Signal om høy vannstand fra flottør vil da også være blokkert. En vannføringsøkning i elva ved en slik enkel hendelse som at en lyspæra svikter, vil gi vannstandsøkning i dammen uten at noen luker åpnes og uten at hjemmevakt varsles.

Eksemplet og feiltreanalysen viser at man her har en uheldig kobling ved at det er den samme komponenten (i dette tilfelle flottøren) som gir signal for styring av lukene som også gir signal til hjemmevakta. Slike sammenkoblinger av viktige funksjoner er uheldig og bør adskilles slik at de blir helt uavhengig av hverandre.

Ved konstruksjon av blokkdiagrammer for sannsynlighetsberegning i kapittel 9, er det forutsatt at alle hendelsene (sviktsannsynligheten i blokkene) er uavhengig av hverandre og sviktsannsynlighetene F_D , F_G , og F_K for systemet er beregnet ut fra dette. Dette er normalt tilfelle. I det spesielle tilfelle der det er det automatiske styringssystemet (f.eks flottøren) som svikter, er dette ikke tilfelle da automatisk styringssystem, F_7 , og hjemnevakt F_2 , er avhengige hendelser dvs de er begge dels avhengig av den samme komponent (flottøren) for å fungere. Sannsynligheten for at hjemnevakta ikke kommer til anlegget når aut. styringssystem svikter, vil da være større noe som igjen medfører at F_D , F_G og F_K blir større i dette tilfelle enn vist i kapittel 9 som baserer seg på uavhengige hendelser.

I tilfelle 2, der det analyseres at ingen segmentluker åpnes, er det forutsatt at sannsynligheten for at de tre flomlukene ikke åpner er uavhengig av om bunnluka åpner automatisk eller ikke. Dersom man imidlertid forutsetter som sikkert at bunnluka åpner automatisk ($F_K=0$), vil sannsynligheten for at ingen damluker åpner bli mindre. Dette på grunn av at det automatiske styringssystemet er felles for alle lukene.

I analysen er håndsveiving av luker regnet med som en reell mulighet. Dette er en imidlertid en meget tungvint operasjon som krever mye mannskap og relativt lang tid. Man må nok regne med at dette er en nødløsning som man tyr til når de fleste andre muligheter er utprøvet. Man kunne tenke seg dette utført mens man ventet på et mobilt aggregat eller på en reparasjon av en komponent der utfallet av reparasjonen var usikker, og der man allikevel var henvist til å vente og ikke fikk gjort noen annen nytte for seg. En bedring av situasjonen ville det være uansett med en langsom åpning av lukene.

På Braskereidfoss er mulighetene små for bruk av mobilkran for løfting av lukene da det ikke er forberedt feste for dette. Dette er allikevel tatt med som en egen hendelse i analysen da det kan være relevant andre steder, også på Braskereidfoss dersom et feste ble montert.

Når feil oppstår og hjemnevakta får varsel om høy vannstand, er det fremdeles en del uforutsette ting som kan skje som gjør at man kan få problemer med å få åpnet lukene i tide. På Braskereidfoss er man imidlertid godt forspent med reservemuligheter mht strømtilførsel. Problemene dukker opp når også reserven svikter. Da gjelder det for hjemnevakta å holde hodet kaldt å vite hva man skal gjøre for ikke å tape for mye tid. Dette menneskelige aspektet med beholde roen i situasjoner som kan være kritiske er ikke spesielt behandlet i analysen, men har generelt stor betydning for funksjonssikkerheten. Det er viktig at man kjenner utstyret i detalj, har rutiner og er forutseende for hva skal gjøres i unormale situasjoner.

Analysen viser også at når vannstanden i dammen går over toppen av dampilarene mellom lukene på kote 165, vil man med stor sannsynlighet ha mistet alle muligheter til å få opp de tre damlukene. Vannet vil da renne ned i lukehusene og ødelegge el.motorer for opptrekkspill. Adkomst til lukehus vil bli blokkert slik at håndsveiving blir umulig. Mobilkran kan heller ikke brukes da denne ikke kan få feste på luka. Den tiden det tar for vannstanden å stige fra HRV kote 163,2 og til topp pilar kote 165, vil derfor være avgjørende for å treffe tiltak for åpning av lukene.

Typisk menneskelig svikt er også et moment som ikke er spesielt vektlagt i denne analysen, men som kan redusere funksjonssikkerheten. Et eksempel på menneskelig svikt kan f.eks være at man glemmer å koble inn igjen det automatiske styringssystemet etter at dette har vært koblet ut for å kjøre lukene manuelt. Det kan være forsømmelse av det generelle ettersyn som f.eks å glemme etterfylling av bensin på nødaggregat etc.

Alle mekaniske og elektriske komponenter, vil ha en økende sviktsannsynlighet med tiden. Generelt ettersyn og vedlikehold er derfor viktig. Det kan imidlertid være enkelte komponenter som sjelden blir kontrollert på grunn av vanskelig tilgjengelighet og det kan være komponenter det ikke er naturlig å skifte før de svikter. Sviktsannsynligheten for hele systemet vil derfor være økende med tiden.