

Vedlegg F:

**Sammendrag av Aker Solutions
observasjoner og betraktninger
rundt lenseystemets funksjon
og design**

VEDLEGG F - SAMMENDRAG AV AKER SOLUTIONS OBSERVASJONER OG BETRAKTNINGER RUNDT LENSESYSYSTEMETS FUNKSJON OG DESIGN

F.1 Innledning

Statens havarikommisjon har benyttet Aker Solutions som bistand for kvalitetssikring og fagekspertise for å vurdere ulike forhold knyttet til fregattens lense-system.

Aker Solutions oppgave var å vurdere lense-systemet mot design regelverket fra byggetiden, følgelig er alle referanser til «regelverk» kun til byggetidens designregelverk og ikke dagens gjeldene regelverk.

Følgende er en oppsummering av hva Aker Solutions observerte og vurderte før, under og etter fullskala testen av hoved lense-systemet og er ikke nødvendigvis hva den endelige konklusjon ville blitt da den ikke er basert på de aktuelle testdataene da de ikke har vært, eller er, tilgjengelig for Aker Solutions i dag.

Videre følger i tillegg en generell oppsummering av hva som er observert på tegninger og i dokumenter rundt designet av vakuumlense-systemene på fartøyet, og generelle prinsipper for funksjonell design for slike systemer sett opp imot krav i relevant regelverk.

F.2 Observasjoner under forarbeidene til testen

F.2.1 Design dokumentasjon

Etter en gjennomgang av design dokumentasjon og regelverk fra byggetiden finner vi ikke spesielle funn, uvanlige metoder eller beskrivelser for denne typen system. Dokumentasjonen er typisk for skipsindustrien og beskriver designparameterne og de valg som er gjort på en oversiktlig måte. I dette ligger det også at den ikke inneholder begrunnelser, vurderinger av funksjonskrav, begrensninger eller forsøk på å sannsynliggjøre at systemet vil virke som tiltenkt gjennom kalkulasjoner eller simuleringer.

F.2.2 Test prosedyre

Til selve test prosedyren og formøtet hvor endelig test prosedyre ble presentert har vi ingen spesielle observasjoner og prosedyren fremstår som ett godt underlag for å gjennomføre en test med god kvalitet. Det ble gjort en del anbefalinger fra deltakerne i formøtet av mindre karakter som ble implementert i prosedyren. Ventiler og rør i lense-systemet var klargjort ved å vaske ut systemet og gjennomføre definert vedlikeholds-aktivitet for systemet.

F.2.3 Akseptkriterier og formål med testen

Akseptkriterier for testen ble satt til å være det regelverket krever fra byggetidspunkt, noe som gir litt lavere krav enn det som er brukt i systemspesifikasjonen fra byggeverkstedet. Formålet med testen var å gjøre en fullskala test av lense-systemets kapasitet for å avdekke egnethet eller evt. mangler. Presisjonsnivået i målinger fra testen og et mer detaljert akseptkriterie ble ikke definert utover henvisning til regelverkets krav.

F.3 Observasjoner fra fullskalatesten av det ejektorbaserte lense-systemet

F.3.1 Under kapasitetstesten

Fylling av vann i testområdet ble gjort i et volum uten konstant vannlinjeareal slik at dybde ikke lineært representerer volum. I stedet ble et telleverk med oppgitt presisjon på 2% anvendt. Vi mener denne metodikken er god nok for testens formål så lenge man tar presisjonen med i betraktning i sluttevalueringen.

Klargjøringen av sjøvannspumper og ventilkonfigurasjonen i anlegget ble forsøkt gjort i IPMS iht. test. Her ble det observert at segregeringsventiler returnerte til feil posisjon selv ved gjentatte forsøk på ventilstyring fra IPMS. Deretter ble de samme ventilene forsøkt styrt lokalt fra kontrollboks med samme resultat. Manuell lukking/åpning av ventiler ble så gjort for å resette ventilene slik at endebryterne skulle resette styringen og tillate fjernstyring. Her ble det observert at enkelte ventiler ikke lot seg resette og tillate fjernkontroll. Ventilene ble satt i lokal modus i korrekt posisjon manuelt på ventilrattet for de ulike test modiene.

Dette er testens mest alvorlige observasjon da det kan indikere at systemets kontroll ikke fungerer som tiltenkt og at lokal lukking eller åpning på ventilene ikke trenger å være tilgjengelig i en reell situasjon med vanninntrengning hvilket vil kunne sette ut systemet eller signifikant påvirke systemets ytelse. En anbefaling om ytterligere gjennomgang av både systemet rent teknisk samt i hvilken grad vedlikeholdsprosedyrene er hensiktsmessige for å unngå og oppdage en slik feiltilstand bør gis til eier av anlegget.

Det ble observert at avlesning av vakuumpressur og drivtrykk ved ejektorene i IPMS og lokalt i rommet avslørte at det ikke var samsvar i målingene slik at man ikke sikkert kunne fastslå om systemet opererer etter sin hensikt. Det ble også observert i testrommet at manometeret for drivtrykk var helt defekt samt verdier for vakuumpressur som var utenfor det som er fysisk mulig å oppnå. Dette er en relativt alvorlig observasjon som kan forhindre at man identifiserer en feilsituasjon eller misforstår feilszenariet. En anbefaling om at verifikasjon, korleksjon og/eller kalibrering utføres regelmessig som del av operasjon og klargjøring samt tas inn i vedlikeholdsrutinene for å sikre at systemets overvåking er pålitelig bør gis til eier av anlegget.

For selve målingen av lense-systemets kapasitet ble det ikke gjort observasjoner av negativ art. Det utførende personellens kunnskap og kompetanse må sies å være særdeles bra for selve kapasitetstesten. Representanter fra byggeverftet, klasseselskap, operatører og kontrollerende personell var til stede hele tiden og bidro positivt til at testen faktisk lot seg gjennomføre med tilstrekkelig antall scenarier og målinger.

Det ble observert ørsmå endrede trim og krengevinkler under testen. Siden de var svært små og ikke hyppige, må det kunne sies å være innenfor det som er praktisk mulig å kontrollere og gjennomføre. Det vil kunne påvirke beregningene av fyllingsvolumer i noen grad, men ikke nok til å endre utfallet av testen. Siden det ble brukt ferskvann i testene for å unngå å degradere utstyr om bord må man huske å korrigere for tetthetsforskjellen som vil utgjør ca. 2-2.5% for høye rater i ejektorsystemet.

Det ble observert for lave lenserater ift. testens definerte formål og spesifikasjon. Rateavviket var tilstrekkelig stort til å konkludere at det ikke kan tilskrives testens presisjon og usikkerhetsområde. Dette er en relativt alvorlig observasjon da det er et avvik mot eiers oppfatning av krav til et sikkerhetskritisk system. Det er viktig å presisere at systemet med dette ikke har sviktet, men det leverer for lave rater. Det åpner for en diskusjon rundt graden av svikt som må tas før man kan konkludere på reell assosiert risiko rundt manglene som er avdekket. Igjen forutsettes det at dette tas med i betraktninger om måleresultatene i sluttevalueringen.

F.3.2 Endringer underveis og etter testen

Noen av scenariene i testen ble utsatt og gjort i annen rekkefølge enn planlagt pga. tilgjengelig tid. Men dette ble ikke vurdert å påvirke testen negativt da man beholdt de høye og lave scenariene og kun utsatte de intermediære scenariene for å forenkle testprogrammet. Den enkelte ejektors kapasitet ble bekreftet igjennom å oppnå konsistente rater uten signifikant variasjon i de initielle testscenariene som ble kjørt.

Det ble også lagt til ett scenarie som så på effekten av forbedrede sugeforhold ved å åpne en ekstra manuell sugelinje for å bedre sugeforholdene uten observert effekt. Dette gav verdifull informasjon om at systemet ikke er begrenset av sugeforholdene i en fullkapasitetstest (6 ejektorer). Ett scenarie med 1 stk ejektor ute (5 av 6 ejektorer) ble også kjørt med samme resultat som fullskala scenariet. Dette kan indikere at systemet nedstrøms (i selve vakuum manifolden) utgjør begrensingen med for høyt mottrykk i ett fullkapasitets lensescenarie. En anbefaling om å ytterligere gå inn i denne delen av systemet med simuleringer og beregninger bør gis til eier av anlegget.

F.3.3 Utestående deler av testen

Basert på hva man observerte under testen generelt, vurderes det som at de utestående delene av testen ikke vil påvirke sluttresultatet av testen hvis de skulle gjennomføres. Det vil derimot kunne sikre en bedre presisjon og pålitelighet av testresultatene og muligens av den enkelt ejektors tilstand.

F.4 Betraktninger rundt testen

F.4.1 Lensesystemets funksjonalitet

Lensesystemets tilgjengelighet og funksjonalitet er styrt av flere parametere; kapasitet, overvåkning, fjernstyring og konfigurasjon. Uavhengig av om kapasiteten er god nok eller ikke vil lensesystemet kunne feile hvis overvåkning og/eller fjernstyring svikter. Systemets funksjonalitet må vurderes helhetlig for evt. sikkerhetsvurderinger av påliteligheten.

F.4.2 Kritikalitet av observasjonene

Regelkravene til lensekapasitet er formulert som utstyrsdimensjonerende krav og ikke som operasjonelle krav som må kunne oppnås i en gitt situasjon. Dvs. at kravenes formål er utelukkende å gi designer og byggeverftet en parameter for å velge og arrangere det gitte utstyret basert på hva utstederen av regelverket mener er en tilstrekkelig kapasitet. Det er derfor ikke mulig å konkludere med at de spesifikke kravene må kunne oppnås i operasjonelle forhold for å ha ett akseptabelt sikkerhetsnivå.

Det man kan konkludere med, er at det kreves nærmere vurdering hvilke faktiske sikkerhetsmessige konsekvenser det vil ha å ikke oppnå kravene med de observerte avvikene på kapasitet. Dette bør gjøres i dialog med regelverksutsteder for å sikre riktig kvantitativ forståelse av avvikene i rater som er observert.

Observasjonene rundt overvåkning av driftsparameterene vakuum og drivtrykk, er at man har ett observert avvik imellom IPMS og lokale manometre uten å sikkert kunne avgjøre hvilken avlesning som er riktig. Det er kritisk mtp. å vurdere hvor godt lensesystemet fungerer i en operasjonell situasjon med vanninntrengning. Det ble også observert defekte manometre og avlesninger av negativt vakuum som er en fysisk umulighet.

Observasjonene rundt manglende kontroll i IPMS av segregeringsventiler i sjøvannssystemet er kritisk ift. å hurtig foreta de riktige avgrensingene og oppsett av systemet i en operasjonell situasjon med vanninntrengning. Dette er spesielt sett sammen med observasjonene rundt manglende lokal ventil kontroll fra kontrollkabinettene. Disse observasjonene utgjør tilsammen en svært kritisk mangel dersom en operasjonell situasjon med vanninntrengning skulle oppstå. I et slikt tilfelle er det da kun har igjen lokal ventiloperasjon på selve ventilen som vil kunne være utilgjengelig i et rom fylt med vann.

Sett i sammenheng blir det klart at lensesystemets beskaffenhet og tilgjengelighet er et svært sårbart system. Det totale systemet inkl. operasjonelle og forebyggende tiltak, virker ikke å være robust nok til å være egnet for formålet slik det fremstod under testen.

F.4.3 Regelverkets intensjoner

Det benyttede regelverket er utformet typisk for skipsindustrien som fokuserer på serieproduksjon og erfaringsbasert design. For så spesielle og kostbare fartøy som er vurdert her, burde man vurdere å anbefale en verifikasjon utover det preskriptive prinsippet som er beskrevet i regelverket. Ved å benytte funksjonskrav for å etablere designparametre for det aktuelle fartøyet, og for den aktuelle bruken, oppnår man ønsket grad av robusthet i stedet for robusthet basert på tidligere tiders erfaringer alene. Man bør som et minimum vurdere en designverifikasjon basert på en metodikk som HAZID og HAZOP (operasjonelt og for system design) basert på f.eks. ISO norm eller annen egnet standard. Dette er metodikk som er industripraksis i Norge og andre land de siste 20 år i offshore- og petrokjemisk industri. Da vil man få et bedre bilde av det reelle risiko bildet og fartøyets egnethet.

F.4.4 Preliminær konklusjon og anbefaling

Det anbefales på det sterkeste å jobbe videre med å kartlegge begrensende faktorer for lense-systemet for å kunne avgjøre konsekvensene av ulike tiltak som vurderes. System og kapasitetssimuleringer, samt risikovurderinger av det reelle behovet for lense-systemet bør gjennomføres før evt. tekniske endringer.

Det er viktig å presisere at det er indentifisert 3 kategorier av observasjoner; kapasitet, overvåkning og styring. Betrakningene rundt manglende kapasitetsbetydning påvirker ikke funnene på overvåkning og styring. Alle 3 kategorier av observasjoner er viktige å jobbe videre med for å unngå svikt i lense-systemet i en potensiell reell situasjon i fremtiden for lignende fartøyer.

Det anbefales også at det anvendte regelverkets eiere bør kontaktes for å klargjøre intensjonen og kritikalitet rundt kravene som ikke møtes.

Det er vanlig at observasjoner som griper inn i forebyggende vedlikehold og inspeksjonsrutiner, spesielt på sikkerhetskritisk utstyr, er en god indikasjon på at man har et generelt feilpotensial også på andre områder eller systemer med tilsvarende rutiner for vedlikehold og inspeksjon. Det er derfor vanlig praksis i industrien å foreta stikkprøver på disse andre potensielt påvirkede områdene og systemene for å bekrefte eller avkrefte om tilstanden her er akseptabel eller for å bekrefte/avkrefte potensiale for tilsvarende uoppdagede feil der.

F.5 Prinsipper for vakuumlensesystemer

F.5.1 Lensing

Lensing foretas generelt fra laveste oppsamlingspunkt på skip. I det følger det at skipsstrukturer som oftest har mye strukturelementer og avrundede skrogformer slik at sug må føres ned i trange områder med dårlig tilkomst. Dermed er det som regel mest hensiktsmessig å bruke sugepumper og/eller ejektorsystemer for å ha vedlikeholds tilgang til utstyret.

F.5.2 Drivprinsipp

Sugepumper har en begrensning i at de må primes for å gi pålitelig oppstart av pumpa fordi det er vanskelig å designe og tilvirke skruepumpeløsninger med tilstrekkelig kapasitet og leveransetrykk uten at de blir krevende å vedlikeholde. De er også sårbare for forurensninger med dertil degradering av ytelsen. Derfor brukes ofte en kombinasjon av vakuumpumper/ejektorer og vanlige lensepumper for å sikre priming. Rene ejektorsystemer er også vanlige i bruk og disse er lite følsomme for endringer i medium og for evt. forurensninger, samt at de er plasseringsvennlige ift. design og vedlikehold. Når man forventer væske/gass slugs er ejektorsystemene langt mer tolerante enn tradisjonelle pumpeløsninger.

F.5.3 Tilgjengelig energi og potensiale

Vakuumsystemer har forholdsvis liten tilgjengelig energi og trykkpotensiale sammenlignet med vanlige sentrifugalpumper. Det teoretiske trykkpotensialet er kun 1bar (100% vakuum) mot typisk 10-15bar i ett standard pumpesystem basert på trykk-løft. I praksis har man mindre tilgjengelig sugepotensiale enn 1 bar da det alltid er tap i systemet. Ved distribuerte multiejektorsystemer får man ofte dynamisk hydrauliske ubalanser som er vanskelige å forutsi og balansere ut i design.

F.6 Observasjoner fra dokumentasjonsunderlaget for ejektorsystemet

F.6.1 Rørdimensjoner

Rørdimensjonene i lensesystemet er typisk basert på betraktninger rundt akseptable strømningshastigheter definert i klasseregler, designstandarder, regelverk og erfaringer fra liknende systemer.

Utfordringer med dette er at disse erfaringene stort sett ser ut til å være hentet fra trykkbaserte systemer der tilgjengelig løftehøyde er 10-15x det man har i et vakuumsystem. Dermed vil man fort ende opp i problemer i vakuumsdesign med mange ventiler og mange rørbend når man baserer seg på høye strømningshastigheter som er vanlig i bruk i trykksystemer.

Det er gjort enkle beregninger i dokumentasjonen av lensesystemet fra byggeverft som selv om de er iht. regelverkets krav, har langt høyere strømningshastigheter enn man normalt ville anbefale i andre typer fartøyer, selv i applikasjoner hvor lensesystemene har laveste kritikalitet, pga. trykktapene man vil se.

F.6.2 Strømningshastigheter

Strømningshastighetene i systemet er basert på forskrift og klasseregler uten å videre vurdere om det er innenfor det akseptable for vakuumsdelen av rørdesignet.

Basert på andre ejektorbaserte vakuumsystemer som strippesystemer for ballasttanker ser man at man må tilstrebe å holde strømningshastighetene under ~3m/s der hvor det er elementer i rørdesignet som gir signifikant trykktap som i områder med mange bend, liten rørdiameter og mange ventiler.

F.6.3 Analyser for å dokumentere systemets egnethet

I dag er standardmetoden for å dokumentere et rørsystems egnethet å kjøre 1 dimensjonale flow simuleringer i spesial programvare laget for formålet (PIPENET Transient, PIPE FLOW Expert o.l.). Det å kjøre transiente simuleringer for komplekse anlegg som f.eks. brannvannsdistribusjonssystemer er blitt en industristandard i alt offshore design.

Når vi i dag ser på generiske design av lensesystemer i slik software ser man at en degradering på 30-40% kapasitet i komplekse systemer er å forvente når man bruker regelverkens maksimale tillatte strømningshastigheter.

De anvendte rørlengdene, antall ventiler, rørdiameterer og den komplekse systemtopologien med svært mange driftskombinasjoner tilsier at en grundigere dokumentasjon av systemets reelle kapasitet er påkrevd for å sikre at systemet er egnet for oppgaven det har samt har robusthet nok til å tåle forventede degraderinger.

Det kan fremstå som litt underlig at designregelverket ikke ber om ytterligere dokumentasjon for omfangsrrike systemer, spesielt når de er basert på vakuum som drivprinsipp og at designregelverket ikke skiller på trykk og vakuum systemer i sine preskriptive krav til utforming.

F.6.4 Lensesystemets funksjonalitet

Det kan se ut til å være en svakhet i maritime designregelverk at det ikke stilles krav om å oppnå påkrevd systemkapasitet selv om man holder seg innenfor de enkelte tekniske krav som f.eks. maksimal tillatt strømningshastighet. Det å ikke forholde seg til et systems kompleksitet og obstruksjoner gjør det lite hensiktsmessig å stille krav på denne forenklete måten da man ikke vet om systemet som helhet fungerer etter intensjonen.

F.6.5 Kritikalitet av observasjonene

Slik regelverket er formulert og slik man observerer byggeverftets praksis på området generelt, gjør det at lense-systemets kritikalitet bør heves og det tvinger frem at fartøyets eier må på eget initiativ stille tilleggskrav i kontraktsspesifikasjoner for å få et funksjonelt system med tilstrekkelig kapasitet og sikkerhet.

For lignende konstruksjoner som ønskes bygget i fremtiden anbefales det at man stiller tilleggskrav til beregninger og dokumentasjon av egnethet ved å kreve hydrauliske strømningsanalyser, samt fullskala tester, eller andre egnede tester, som dokumenterer den faktiske ytelsen til det ferdigstilte systemet.

For maritime og offshore næring er tilleggskrav som går utover minimumskravene i regelverket blitt vanlige for de fleste byggekontrakter innenfor alle felt og systemer som eieren anser som spesielt kritiske eller viktige av andre årsaker. I praksis gjøres det ved at man utarbeider en mer detaljert byggespesifikasjon enn påkrevd i regelverket og som tas med som ett vedlegg i byggekontrakten. Den blir dermed førende for utformingen av anlegget og planlegging av testene som utføres ifm. overtakelse av fartøyet. Dette krever enten en kompetent 3. part som bistår utformingen av byggespesifikasjon eller en betydelig egen kompetanse hos eier av fartøyet. Dette er ett tema som har vært og vil være gjenstand for diskusjon da det kan påvirke de kommersielle betingelsene signifikant.

F.7 Konklusjon og anbefaling

Aker Solutions anbefaler på det sterkeste å jobbe videre med å kartlegge begrensende faktorer for lensesystemet for å kunne avgjøre de faktiske konsekvensene av ulike tiltak som vurderes. System og kapasitetssimuleringer, samt risikovurderinger av det reelle behovet for lensesystemet bør gjennomføres før evt. tekniske endringer iverksettes for andre fartøy i samme klasse.

Det anbefales nok engang at det anvendte regelverkets eiere og fartøyets tekniske kontrollorgan bør kontaktes for å klargjøre design intensjoner ift. kritikalitet rundt designkrav som ikke møtes.

Spesielt bør man utfordre designkravene til systemer med vakuum drivprinsipp, hvor systemkompleksiteten er høy eller hvor kritikaliteten til systemet er avgjørende for den operasjonelle kapasiteten til fartøyet.