



Universitetet
i Stavanger

DET TEKNISK-NATURVITENSKAPELIGE FAKULTET

MASTEROPPGAVE

| | |
|---|--|
| Studieprogram/spesialisering: Master i Risikostyring / Offshore sikkerhet | Vårsemester, 2011 Åpen / Konfidensiell |
| Forfatter: Bjørn Magne Bakken | (signatur forfatter) |
| Fagansvarlig: Jan Erik Vinnem Veileder(e): Malene Sandøy, ConocoPhillips | |
| Tittel på masteroppgaven: ”Metodikk for risikovurdering av brønner i drift” Engelsk tittel: “Methodology for risk evaluation of operating wells” | |
| Studiepoeng: 30 | |
| Emneord: Risikovurdering, brønnsikkerhet, lekkasjesannsynlighet, konsekvensvurdering, komponentanalyse, visualisering av risikobilde | Sidetall: 78 + vedlegg/annet: 0 Stavanger, 15.juni / 2011 dato/år |

Forord

Denne oppgaven, ”Metodikk for risikovurdering av brønner i drift”, er skrevet som avslutning på Masterstudiet Risikostyring, spesialisering innen Offshore Sikkerhet, ved Universitet i Stavanger. Oppgaven er skrevet våren 2011 i samarbeid med oljeselskapet ConocoPhillips.

Jeg vil takke Jan Erik Vinnem, professor II ved Teknisk Naturvitenskaplig Fakultet på UiS, for god faglig veiledning.

Jeg vil takke Malene Sandøy, risikoingeniør i ConocoPhillips sitt Risikostyringsteam, for veldig bra samarbeid og veiledning i oppgaven. Malene har lært meg utrolig mye, og jeg er veldig takknemlig for den tiden hun har brukt med meg på oppgaven.

Jeg vil takke Capgemini og Pål Navestad i ConocoPhillips, som har tilrettelagt for at jeg skulle få ta denne mastergraden. De har gitt meg stor fleksibilitet i studietiden, og jeg er utrolig takknemlig for dette.

| | |
|--|----|
| Forord..... | 2 |
| 1. Innledning | 4 |
| 1.1. Regelverkskrav og interne krav til brønnbarriere og brønnkomponenter..... | 4 |
| 1.2. Prosess for vurdering av brønnintegritet og prioritering av brønner i ConocoPhillips..... | 5 |
| 1.3. Formål med oppgaven..... | 7 |
| 2. Metodikk for risikovurdering av brønner i drift | 8 |
| 2.1. Perspektiver på risiko – (A, C, U)..... | 8 |
| 2.2. Modellering og beregning av lekkasjesannsynlighet | 11 |
| 2.3. Sensitivitetsanalyse på bruk av historiske erfaringsdata og subjektive vurderinger i analysen..... | 20 |
| 2.4. Resultater for ulike brønntyper og typiske feil og svakheter | 27 |
| 2.4.1. Produserende brønn | 27 |
| 2.4.2. Brønn på gassløft med ASV eller ASCV | 30 |
| 2.4.3. Vanninjeksjonsbrønn | 32 |
| 2.5. Visualisering og formidling av resultat..... | 34 |
| 3. Videreutvikling av metodikk for risikovurdering av brønnintegritet | 37 |
| 3.1. Kritikalitet av brønnkomponenter..... | 37 |
| 3.2. Modellering i ulike lekkasjerater | 43 |
| 3.3. Sanntidsoppdatering av brønnkomponenters status | 45 |
| 3.4. Risikovurdering som også reflekterer konsekvens | 51 |
| 3.4.1. Risikovurdering som reflekterer konsekvens og lekkasjesannsynlighet | 51 |
| 3.4.2. Risikovurdering som reflekterer konsekvens og lekkasjesannsynlighet for ulike lekkasjerater | 59 |
| 3.5. Visualisering og presentasjon av risikobilde | 63 |
| 3.5.1. Presentasjon av sannsynlighet for lekkasje fordelt på lekkasjekilder | 63 |
| 3.5.2. Presentasjon av feil som indikasjon på risiko | 65 |
| 3.6. Diskusjon av foreslåtte forbedringer og metoder..... | 69 |
| 3.7. Videre arbeid..... | 72 |
| 4. Konklusjon | 73 |
| 5. Referanser | 74 |
| A.1 Appendiks – Barrieretegninger av utvalgte brønner | 75 |
| A.2 Appendiks – Bidrag til risiko | 78 |

1. Innledning

1.1. Regelverkskrav og interne krav til brønnbarriere og brønnkomponenter

ConocoPhillips har drevet med petroleumsvirksomhet på norsk sokkel i nøyaktig 40 år. På Ekofisk-feltet har oljen blitt pumpet opp og bidratt til å sysselsette tusenvis av personer på de ulike plattformene som er knyttet til dette feltet. Men hydrokarbonutvinning innebærer risiko, og for å ivareta sikkerheten til personell, stilles strenge krav til sikkerhet fra myndighetene.

I Styringsforskriften; § 5 Barrierer står det [1]:

Det skal etableres barrierer som

- a) reduserer sannsynligheten for at feil og fare- og ulykkessituasjoner utvikler seg,*
- b) begrenser mulige skader og ulemper.*

Der det er nødvendig med flere barrierer, skal det være tilstrekkelig uavhengighet mellom barrierene.

Operatøren eller den som står for driften av en innretning eller et landanlegg, skal fastsette de strategiene og prinsippene som skal legges til grunn for utforming, bruk og vedlikehold av barrierer, slik at barrierenes funksjon blir ivaretatt gjennom hele innretningens eller landanleggets levetid.

Det skal være kjent hvilke barrierer som er etablert og hvilken funksjon de skal ivareta, samt hvilke krav til ytelse som er satt til de tekniske, operasjonelle eller organisatoriske elementene som er nødvendige for at den enkelte barrieren skal være effektiv.

Det skal være kjent hvilke barrierer som er ute av funksjon eller er svekket.

Den ansvarlige skal sette i verk nødvendige tiltak for å rette opp eller kompensere for manglende eller svekkede barrierer.

I Innretningsforskriften; § 48 Brønnbarrierer står det [1]:

Brønnbarrierer skal utformes slik at brønnintegriteten sikres og barrierefunksjonene ivaretas i brønnens levetid.

Brønnbarrierer skal utformes slik at utilsiktet innstrømning til brønnen og utstrømning til det ytre miljøet hindres, og slik at de ikke hindrer brønnaktiviteter.

Ved midlertidig og permanent forlating av en brønn skal barrierene utformes slik at de ivaretar brønnintegriteten for den lengste tiden brønnen forventes forlatt.

Ved plugging av brønner skal føringsrørene kunne kuttet uten å skade omgivelsene.

Brønnbarrierene skal utformes slik at ytelsen kan verifiseres.

For brønner i drift er interne krav og retningslinjer beskrevet i Brønnbarrieremanual for Produksjon og Injeksjon [2].

1.2. Prosess for vurdering av brønnintegritet og prioritering av brønner i ConocoPhillips

I ConocoPhillips har Brønnintegritet et overordnet ansvar for forvaltning av brønnbarriereelementene [2]. Brønnintegritet har et overordnet ansvar for:

- Å ivareta ConocoPhillips sitt behov for spisskompetanse innen integritet av brønnbarrierer og bidra til at det er tilfredsstillende kunnskap om brønnbarriere integritet hos aktuelle avdelinger
- At ConocoPhillips ivaretar sitt ansvar for brønnbarrierenes integritet i henhold til gjeldende lover, forskrifter og Norsok standard D-010 [3]
- At ConocoPhillips har tilfredsstillende retningslinjer, systematikk og verktøy for oppfølging av brønnbarrierers integritet, herunder vedlikehold av dette dokumentet
- Se til at de operative enhetene (plattformene) ivaretar sitt ansvar for å forvalte brønnbarrierene på en tilfredsstillende måte i henhold til dette dokumentet
- Pålegge plattformene å sette i verk nødvendige tiltak for å opprettholde forsvarlig integritet i spesifikke brønner når dette er nødvendig og eventuelt kreve brønner nedstengt.

Dette innebærer at avdelingen skal etablere vedlikeholdsprogram (PM-program) for det enkelte barriereelementet og godkjenne eventuelle endringer i dette. På sin side er plattformsjef (Offshore Installation Manager – OIM), som brønneiers stedlige representant, ansvarlig for å gjennomføre PM-programmet og de barriererelaterte tiltakene som instrueres av brønnintegritet. Ved svikt i primærbarrieren vil brønnens integritet avhenge av sekundærbarrieren alene og ved svikt i sekundærbarrieren vil denne avhenge av primærbarrieren alene. Svikt i nedihulls barriereelementer som utvikler seg gradvis over tid, kan være vanskelig å oppdage på et tidlig stadium. Det er derfor viktig at PM-programmet er slik lagt opp at svikt i nedihulls barriereelementer kan oppdages før de er krevende å korrigere. Generelt benyttes en Z3 notifikasjon ved avvik i et barriereelement. Avviket trenger ikke være knyttet til en mulig lekkasje. Ved bruk av Z3 notifikasjon bør det og vurderes om vedlikeholdsprogrammet (PM) for barriereelementet bør endres. Z3 kan stenges når den nye PM er etablert på en måte som eliminerer avviket. ZB notifikasjon benyttes ved bekreftet svikt i et barriereelement. Hvilke tiltak som skal settes og når, vil avhenge av kombinasjonen av barriererelaterte notifikasjoner på brønnen og hvordan disse påvirker total risiko. Endring av PM kan også ha utgangspunkt i en ZB, etterfulgt av en Z3.

Brønnintegritet har spesiell kompetanse på hvordan ulike former for svikt i barriereelementer kan forebygges, oppdages, utvikles og korrigeres. Ved tvil om barriereelementenes evne til å fungere tilfredsstillende over tid, skal det gjennomføres og dokumenteres en analyse av total risiko for personell, miljø og anlegg i samråd med brønnintegritet og i henhold til NSBU-WO-102-N, Risk assessment.

ConocoPhillips har et system for forvaltning av barrierer og ulike kategorier utstyr på plattformene, og SAP utgjør hovedelementet i dette systemet. Et webbasert online system er etablert for å få oversikt over integritetssituasjonen i alle brønner operert av selskapet. Informasjon om dette er samlet og vises i en portal kalt WIMS, "Well Integrity Management System". Portalen blir holdt oppdatert gjennom koblinger til andre online systemer, som for eksempel SAP, og driftes av avdelingen Brønnintegritet.

Et krav som stilles fra Petroleumstilsynet (Ptil), er at det en gang i året skal sendes inn fra operatør en tilstandsrapport om enhver brønn som er i drift eller midlertidig stengt. Dette er et krav som skal sikre at det ikke blir tatt unødvendig stor risiko når en opererer fra plattformene i Nordsjøen. Ansvarlig for at denne rapporten oversendes er Brønnintegritet. I tillegg til årlig tilstandsrapport som sendes til Ptil, utfører ConocoPhillips en halvårlig risikovurdering av alle brønnene som er i drift

Risikostyring med kunnskap om total risiko for plattformene, og kunnskap om risikoanalyse, bidrar med input for å bedre beslutningsgrunnlaget for hvilke brønner som skal prioriteres for vedlikehold. I denne sammenhengen er det utviklet en modell for å analysere risikoen forbundet med brønner i drift. WIRA (well integrity risk assessment) er et program utviklet av ConocoPhillips for å vurdere risiko forbundet med brønner i drift. I WIRA er brønner modellert ved hjelp av feiltrær der topphendelsen er lekkasje på plattformen og feiltreet viser alle kombinasjoner av feil som kan føre til lekkasje på plattformen. Programmet beregner sannsynlighet for lekkasje på plattformen fra hver brønn på en plattform. WIRA er basert på historiske feildata, ConocoPhillips sine egne test- og reparasjonsdata, og kunnskap om komponenter som vil kunne avvike fra den historiske feilfrekvensen. Med denne prosessen sikrer dermed ConocoPhillips å imøtekomme myndighetenes krav til forvaltning og oppfølging av brønnbarrierer, og vil på en bedre måte ha mulighet til å ivareta en sikker drift på en oljeplattform med brønner som utgjør en risiko.

1.3. Formål med oppgaven

Per i dag er det rundt 270 brønner som opereres av ConocoPhillips på norsk sokkel, og det er omfattende og tidkrevende å gjennomføre risikovurderinger av disse brønnene. Formålet med denne oppgaven er å identifisere muligheter for å redusere arbeidsomfanget av risikovurderinger av brønner. Fokuset er Risikostyrings innspill til halvårlige brønngjennomganger, som er en vurdering av lekkasjesannsynlighet for hver brønn ved hjelp av WIRA.

Dagens metodikk for risikovurdering av brønner i drift blir i første omgang beskrevet for å skape en forståelse av hva som er på plass i dag. Videre vil oppgaven se kritisk på dagens metodikk med tanke på å identifisere forbedringer og effektivisere analysen.

Første del av rapporten, kapittel 2, beskriver nåværende metode for risikoanalyse. Eksempler på analyser som er blitt utført presenteres og evalueres. Datagrunnlag for analysen blir sett nærmere på, og sensitivitetsanalyser for brønnskomponenter gjennomføres slik at kritiske komponenter i feiltremodellen blir identifisert. Er det slik at den modellen som ConocoPhillips benytter vil reflektere hvilke barriereelement som er de mest kritiske?

I neste del av rapporten, kapittel 3, diskuteres og evalueres alternative metoder for å forbedre den eksisterende analysen. En metode for å utføre kritikalitetsanalyse for komponenter på en brønn vil bli presentert. I neste delkapittel vil muligheten for å bruke automatiserte brønndata for å effektivisere analysearbeidet bli beskrevet. Vil det være mulig å identifisere de mest kritiske brønnene på et tidligere stadium i prosessen? Til slutt i kapitlet vil risikovurdering som reflekterer konsekvens bli presentert med to ulike metoder. Det blir først presentert en metode for å vurdere konsekvens av en mulig lekkasje, før dette brukes i metoder for risikovurdering. Hvordan resultater fra analysene kan bli formidlet bedre, vil også bli presentert med noen forslag til dette. Hvordan kan resultat fra risikovurdering bli visualisert for å skape en bedre forståelse av situasjonen?

Hovedmålene med oppgaven er å bidra til at analyseresultatene brukes i større grad, å redusere arbeidsomfanget forbundet med å gjennomføre en analyse, og å videreutvikle analysemodellen til å også inkludere konsekvens av lekkasje.

2. Metodikk for risikovurdering av brønner i drift

2.1. Perspektiver på risiko – (A, C, U)

For å forstå analyseresultatene er det viktig å vite hvilket perspektiv på risiko som legges til grunn. De siste tiårene har det kommet flere definisjoner på risiko. De fleste av disse er basert på sannsynligheter, og noen få av de er presentert under.

- Risiko er det same som forventet tap (Willis 2007)
- Risiko er definert som et sett med scenarier, s_i , der hvert scenario har en sannsynlighet, p_i , og en konsekvens, c_i (Kaplan and Garrick 1981, Kaplan 1991)
- Risiko er det samme som en (todimensjonal) kombinasjon av hendelser og konsekvenser og tilhørende usikkerhet (Aven 2007a, 2010) [4]

For å definere risiko er det nødvendig å forstå hva som menes med sannsynlighet. I utgangspunktet er det to måter å betrakte sannsynlighet på. Den første vil være å se på sannsynlighet som en tilnærming av relativ frekvens. Det vil si at en tenker på sannsynlighet for å være utfallet dersom hendelsen hadde blitt simulert uendelig mange ganger. Den underliggende sannsynligheten er ukjent, og er blitt estimert i risikoanalysen. I risikobeskrivelser benytter en P_f for å beskrive denne sannsynligheten. Med andre ord så vil en være avhengig av gode data over lang tid for å få en presis og korrekt sannsynlighet for å beskrive den reelle situasjonen.

Den andre måten å betrakte sannsynligheten på er å se på det som en subjektiv sannsynlighet. Det vil si at en tenker at det er knyttet en viss usikkerhet til hendelser og hva utfallet vil bli, dersom en tenker at den som utfører analysen har bakgrunnskunnskap som denne benytter for å sette en sannsynlighet. Denne bakgrunnskunnskapen blir betraktet som en subjektiv sannsynlighet og en bruker P_K for å angi denne sannsynligheten. I stedet for å benytte subjektiv sannsynlighet, er denne måten også kalt for kunnskapsbasert sannsynlighet, det vil si at analytikeren bruker kunnskap om mulig hendelser og konsekvens for å sette en sannsynlighet.

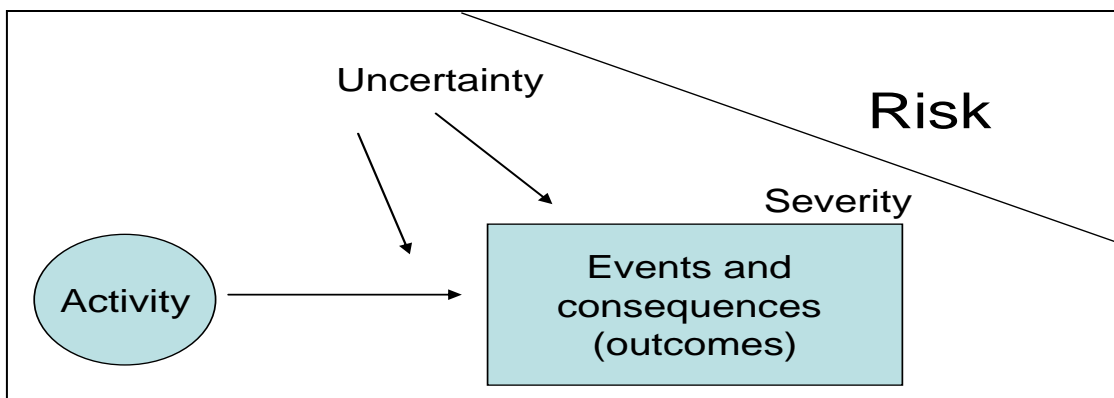
Med utgangspunkt i disse betraktningene på sannsynlighet er det mulig å sette opp noen perspektiver på hva risiko er.

Den første refereres til som (A, C, P_f)-perspektivet, der en benytter den frekvensbaserte sannsynligheten. En ser på en aktivitet og at denne kan føre til en hendelse A, med noen konsekvenser C. Tilhørende hendelsen og konsekvensene blir sannsynligheter tilknyttet og betraktet som frekvensbaserte. Eksempel på dette er knyttet til lekkasje fra en oljeplattform. Ved å knytte sannsynligheten opp til tidligere hendelser, og som en frekvens av dette over tid, vil en få en frekvensbasert sannsynlighet. Ofte stilte spørsmål i en risikoanalyse er hvilke hendelser som kan inntreffe, hva er konsekvensene av disse hendelsene og hvilke sannsynligheter P_f kan knyttes til disse antagelsene? Dette leder til

et nytt perspektiv på risiko (A, C, P_f^* , K) der P_f^* er et estimat av P_f og K er den bakgrunnskunnskapen som analysen er basert på. I og med at en benytter et estimat er en nødt til å beskrive usikkerheten som ligger i estimatet. Dersom en benytter kunnskapsbaserte sannsynligheter P for å uttrykke usikkerhet om P_f , vil en ende opp med følgende beskrivelse av risiko: (A, C, P_f^* , $P(P_f)$, K), hvor K nå er kunnskap om den estimerte P_f^* og sannsynlighetsfordelingen som P er basert på. Med andre ord så vil den som utfører analysen lage et estimat P_f^* av P_f , og så vil denne uttrykke usikkerheten U om P_f ved å bruke subjektive sannsynligheter $P(P_f)$. Sannsynligheten er dermed avhengig av bakgrunnskunnskapen som analytikerens har, og denne kan være basert på reelle data eller ekspertvurderinger.

Det andre perspektivet er det såkalte (A, C, P) perspektivet, som benytter subjektive sannsynligheter. En risikovurdering basert på (A, C, P)-perspektivet ser på en aktivitet og hvilke hendelser A og konsekvenser C denne kan medføre, og benytter subjektive sannsynligheter for å uttrykke usikkerheten til A og C. Fokus er på observerbare størrelser (A, C) som vil, dersom aktiviteten iverksettes, anta en framtidig (sann) verdi og dermed kunne bli kjent. De observerbare størrelsene (A, C) predikeres, og usikkerhet til hvilken verdi de observerbare størrelsene vil anta uttrykkes ved hjelp av sannsynligheter (P). Sannsynlighetene (P) er basert på bakgrunnskunnskap K, og dermed kan risikoen beskrives som (A, C, P, K).

En sannsynlighet vil ikke alltid inkludere alle aspekter som det er ønskelig å reflektere og er ikke alltid tilstrekkelig for å gi en god risikobeskrivelse. Sannsynligheten (P) er basert på en rekke antagelser, og den er avhengig av bakgrunnskunnskap som kan være feil eller mindre god. Usikkerhet er ofte gjemt i bakgrunnskunnskapen, og ved å kun fokusere på sannsynligheten P, kan faktorer som kan gi et uventet utfall ikke komme fram. Eksempel på dette er at kunnskap om forhold som ikke er relevante for den virkelige situasjonen benyttes. Derfor er det viktig å se bak sannsynlighetene, og ved å vurdere usikkerheten som mer fundamental enn å kun betrakte sannsynligheten, kan usikkerhet erstatte sannsynlighet i definisjonen på risiko. Dette leder til (A, C, U)-perspektivet, som er en ide om å betrakte risiko som kombinasjonen av hendelser(A), konsekvenser(C) og usikkerheten som er knyttet til disse (Aven 2010) [4]. Følgende illustrasjon kan brukes for å beskrive definisjonen.



Figur 2.1.1: Illustrasjon av risikodefinitjon basert på (A, C, U)-perspektivet

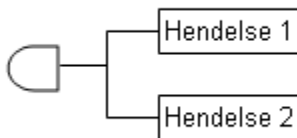
Illustrasjonen viser at dersom en aktivitet utføres kan ulike uønskede hendelser inntreffe som følge av aktiviteten, og det er vanskelig å vite om en hendelse vil inntreffe og hva konsekvensen i så tilfelle vil bli. Perspektivet kan også bli formulert som usikkerhet om og voldsomheten av konsekvensene til en aktivitet som har en høy menneskelig verdi. (Aven og Renn 2009a). Det vil være nødvendig å se på mer enn sannsynligheter for å uttrykke risiko, og dette er basert på den situasjonen om at det vil være fare for å ha dårlig kunnskap om hendelser og utfall, i tillegg til at sannsynligheter er basert på subjektive meninger som kan være forskjellige mellom ulike personer som vil utføre en risikoanalyse. (A, C, U)-perspektivet vil på en bedre måte forklare at risiko handler om bakgrunnskunnskap og hvem som utfører analysen. Dette leder til (A, C, U, P, K)-definisjonen på risiko, der P er en kunnskapsbasert sannsynlighet basert på kunnskapen K.

Risikoanalysen som gjøres for brønner i drift i ConocoPhillips legger til grunn (A, C, U)-perspektivet til risiko. Resultatet fra risikovurderingen av brønner i drift, 'årlig sannsynlighet for lekkasje fra en brønn til omgivelsene', uttrykker analysegruppens usikkerhet til om det vil inntreffe en lekkasje fra den bestemte brønnen i løpet av det neste året. Sannsynligheten for lekkasje er ikke en frekvensbasert sannsynlighet, men en subjektiv sannsynlighet som uttrykker usikkerhet.

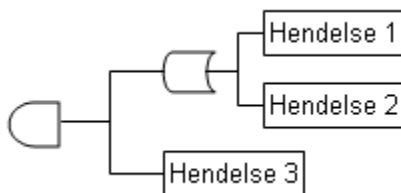
2.2. Modellering og beregning av lekkasjesannsynlighet

I en risikoanalyse utført for å vurdere risikoen forbundet med brønnen vil det være et mål å kunne si noe om potensiell konsekvens og sannsynligheten for at dette vil skje i fremtiden. Det er aldri lett å kunne fastslå dette, og det vil være knyttet stor usikkerhet til om det analysen kommer fram til faktisk stemmer. Derfor er det viktig at en risikoanalyse kan være med på å gi en indikasjon, og på en måte kan informere om hvilke utfordringer og konsekvenser en feil i en brønn kan forårsake. Et verktøy som derfor kan brukes i en slik risikosammenheng er en feiltreanalyse (FTA). Dette vil være å betrakte det som en detaljert risiko analyse, der en går ned i spesifikke detaljer rundt en brønn, og hvilke barrierekomponenter som kan feile og dermed bidra til lekkasje til omgivelsene.

Et feiltre er et logisk diagram som viser sammenhengen mellom potensielle kritiske hendelser i et system, og årsakene til disse hendelsene. Et feiltre illustrerer de ulike kombinasjonene av feil og andre hendelser som kan føre til en bestemt kritisk feil. Sammenhengen mellom feil knyttes ved hjelp av de logiske portene OG/ELLER. Feiltreet er lett å forklare for andre som ikke har erfaring med feiltreanalyse. Figur 2.2.1 viser et feiltre med to hendelser som må inntreffe for at topphendelsen skal inntreffe. Figur 2.2.2 viser et feiltre der hendelse 3 må inntreffe samtidig med enten hendelse 1 eller 2.



Figur 2.2.1: Feiltre med 2 hendelser som må inntreffe samtidig for å få en topphendelse



Figur 2.2.2: Feiltre med 3 hendelser, der hendelse 3 må inntreffe samtidig som enten hendelse 1 eller 2 må inntreffe for å få en topphendelse

Som forklart er feiltreanalyse en analyse av identifiserbare hendelser som kan føre til en topphendelse. På denne måten får man illustrert hvilke tilstander systemet kan være i, og hvordan kombinasjonen av feil kan føre til en topphendelse. Dette vil si at alle hendelser som kan føre til en feil i et system settes sammen i et tre for å synliggjøre hvilken risiko hver enkelt bidrar med til det totale risikobildet. Ved å sette på feilsannsynlighet til hver hendelse, kan den totale sannsynligheten for at systemet skal komme i denne tilstanden beregnes [5].

ConocoPhillips har utviklet feiltremodeller for å kvantifisere risikoen forbundet med å få en lekkasje fra en brønn til omgivelsene. Feiltremodellen synliggjør hvordan de ulike komponentene henger sammen, og hvilke komponenter som må feile samtidig for å få en lekkasje til omgivelsene.

Ved utvikling av feiltremodeller for brønner, er det viktig med god kunnskap om hvordan brønnen er bygget opp. Hver brønn har en brønnbarrieretegning, som er en illustrasjon av brønnens oppbygging, og disse er i ConocoPhillips blitt opprettet og vedlikeholdt slik at de til enhver tid skal reflektere brønnens status med tanke på komponenter som er installert.

I ConocoPhillips finnes det ulike typer brønner, og designet til alle brønnene er slik at det som minimum skal være to barrierer mot reservoaret. Gjeldende krav for ConocoPhillips er utarbeidet i Brønnbarrieremanualen[2]. Brønnbarrierene på Ekofiskfeltet sine plattformbrønner har mange felles trekk ved at brønnene over tid har hatt relativt ensartet design. Enkelte barriereelementer vil variere avhengig av brønncategori (producent, injektor, gassløft osv.).

Barriereelementene som inngår i primær og sekundær barrieresløyfe er som følger:

Primære:

- Fôringsrør/liner, inkl. liner topp tetning
- Sement
- Tubing
- Produksjonspakning
- DHSV – Downhole Safety Valve

Sekundære:

- Brønnhode med foringsrørsoppheng, ringromsventiler etc.
- Tubing oppheng med tetning
- Julette med brønnløpsventiler (MMV – Manual Master Valve, HMV – Hydraulic Master Valve og vingventiler etc.)

I tillegg vil den enkelte brønn kunne ha barriereelementer for bestemte formål, så som:

- Barriereelementer for gassløft:
 - GLV – Gas Lift Valve
 - ASCV - Annulus Safety Check valve
 - GL ESDV – Gas Lift Emergency Shutdown Valve
- ASV – Annulus Safety Valve (ikke definert som barriere element av ConocoPhillips)
- CIV – Chemical Injection Valve
- WIV – Water Injection Valve
- Andre midlertidige mekaniske plugg
- Midlertidige væske/kjemikalie baserte plugg

Barrieretegningene skal som minimum inneholde følgende informasjon [2]:

- Alle barriereelementer (inkludert væsker og sement) i primær og sekundær barrieresløyfe
- Alle ventiler etc. som det passerer væske/gass igjennom
- Alle fôringsrør (inkludert linere og deres oppheng)
- Type og tetthet på væsker med barrierefunksjon
- Dybder på ovennevnte utstyr/elementer
- Volumer i tubing (totalt volum og volum over DHSV) og ringrom
- Maksimalt tillatte operasjonstrykk
- Juletre konfigurasjon
- Resultat av tester/verifikasjoner på barriereelementene

Eksempel på barrieretegninger ligger presentert i Appendiks A. Ved å ta utgangspunkt i brønnbarrieretegningen er det mulig å få en forståelse for hvilke komponenter som må feile for at en skal få en strømming av hydrokarboner ut av brønnen, og som potensielt kan være en fare for omgivelsene. Det er svikt i de ulike barrierekomponentene som gjør at en kan snakke om en feil i systemet, og som videre vil utgjøre en risiko.

De ulike barriereelementene kan ha ulike feilmoder. For eksempel kan en ventil som vanligvis er åpen både feile ved at den ikke lukker og ved at den ikke lukker helt, det vil si lekker i stengt posisjon. De ulike feilmodene som er inkludert i analysen er følgende:

LEAK – lekkasje (Engelsk: Leakage)

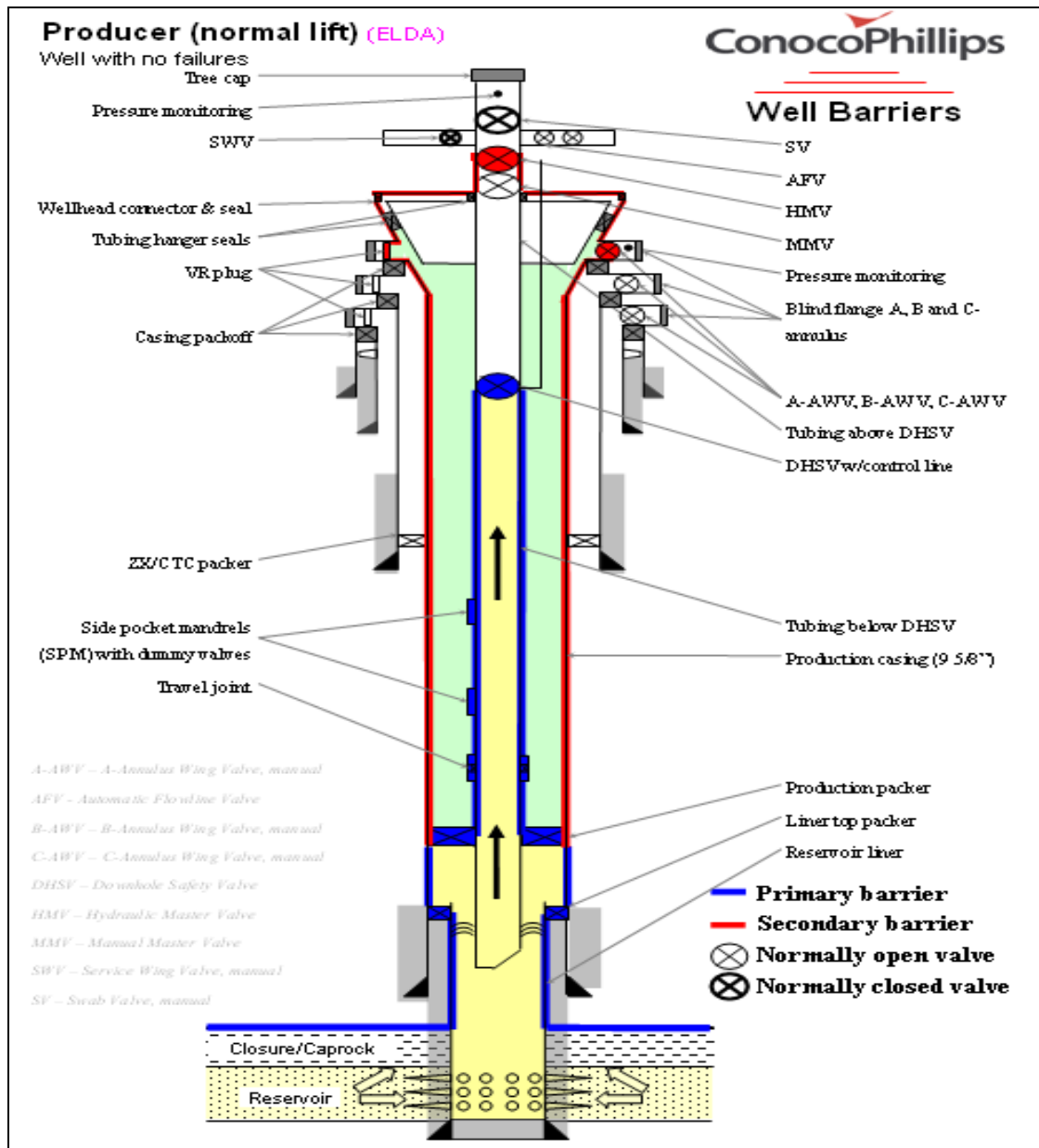
EXT – Ekstern lekkasje (External leakage)

FTC – Feiler å lukke (Failure to close)

LCP – lekkasje i lukket posisjon (Leakage in closed position)

CCF – Fellesfeil (Common cause failure)

Figur 2.2.3 viser komponentene som er modellert i feiltreet for en produsent(uten gassløft):



Figur 2.2.3: Illustrasjon Brønnbarrieretegning for produsent på ELDA

For å forklare feiltremodellen tar vi utgangspunkt i at det er finnes hydrokarboner i ringrom C, og at det er en potensiell fare ved lekkasje av dette. Hvordan dette avgjøres kommer en tilbake til senere, da vil en også se at det ikke alltid er nødvendig å inkludere feiltremodell for de ulike ringrom. Ringrom C er det ytterste rommet i brønnen, dersom vi teller til 3 fra produksjonsrøret(tubing) og utover. Tubingen er røret som frakter reservoirstrømmen opp på plattformen, og er røret som er midt i brønnen på tegningen.

Figur 2.2.3 viser at det ikke er så mange barrierer som hindrer ukontrollert strømning av hydrokarboner fra ringrom C. Antallet barrierer eller elementer er totalt 6, men enkelte av

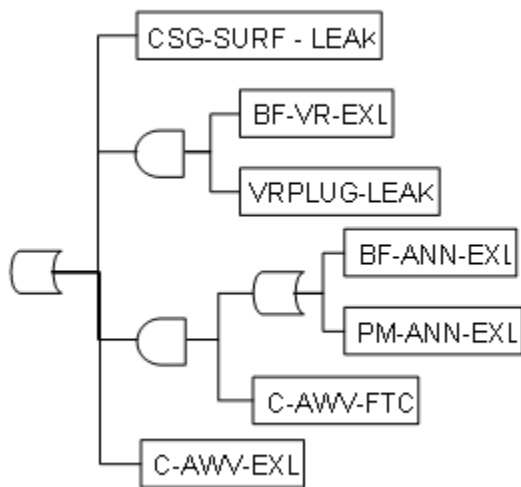
elementene er uten sikring, dvs. at hvis det elementet feiler, så vil dette føre til en lekkasje av hydrokarboner til omgivelsene. De 6 elementene som er med for å sikre at hydrokarbonene forblir i brønnen er:

- C annulus wing valve: C-AWV
- Surface casing: CSG-SURF
- Blind flange annulus C outside transmitter: BF-ANN-C
- Blind flange outside of VR plug annulus C: BF-VR-ANNC
- Pressure transmitter annulus: PM-ANN-C
- VR plug annulus C: VRPLUG-ANNC

Det er kun annulus ving ventilen, C-AWV, som kan feile på mer enn en måte, den kan både feile og lukke, samtidig som den kan ha en ekstern lekkasje. I feiltreet er de ulike komponentene gjengitt med en forkortelse av navnet for komponenten. Denne forkortelsen er brukt for å spare plass, og ved å konkatunere denne med feilmoden vil dette gi en bra beskrivelse av tilstanden til komponenten.

For C-AWV blir derfor de ulike tilstandene, C-AWV – FTC og C-AWV – EXL. Surface casing kan ha en intern lekkasje, og derfor blir tilstanden CSG-SURF – LEAK. VR plug kan ha intern lekkasje, tilstand for denne blir VRPLUG-ANNC – LEAK. Pressure transmitter annulus kan ha en ekstern lekkasje, denne vil derfor få tilstanden PM-ANN-C – EXL. Begge de to blind flange vil også kunne feile ved en ekstern lekkasje, og tilstandene blir henholdsvis BF-ANN-C – EXL og BF-VR-ANNC – EXL.

Feiltreet for ringrom C er vist i figur 2.2.4.



Figur 2.2.4: Feiltre som representerer ringrom C, og som viser mulige lekkasjeveier

Feiltreet viser at en ekstern lekkasje i C-AWV, C-AWV-EXL, vil føre til topphendelsen ”lekkasje til omgivelsene fra ringrom C” direkte. Dette er illustrert i barrieretegningen, der C-AWV er plassert som et eget element mellom ringrom C og omgivelsene. Dersom C-AWV ikke lukker, C-AWV-FTC, må PM-ANN eller BF-ANN lekke, og dette er

modellert i feiltreet med en OG-port mellom C-AWV-FTC og elementene PM-ANN – EXL og BF-ANN – EXL. CSG-SURF er tegnet inn i barrierekartet, og den viser at dersom denne lekker så vil lekkasjen gå ut til omgivelsene, derfor er denne tegnet inn i feiltreet for seg selv. De siste to elementene er som to barrierer for hverandre, og det er slik at en lekkasje i VRPLUG må skje samtidig med at det er en ekstern lekkasje i BF-VR for å få en lekkasje til omgivelsene. Dette er illustrert med en OG-port mellom de to tilstandene.

For å reflektere at noen kombinasjoner av feil kan gi større lekkasjer enn andre, er lekkasjesannsynlighet fordelt på ulike initielle lekkasjerater. Det gjøres en vurdering for hver feilmode om hva sannsynligheten er for at denne vil resultere i stor, middels eller liten lekkasjerate. Følgende mål er brukt for initielle lekkasjerater:

Liten – 0,005 – 1 kg/s

Middels – 1 – 10 kg/s

Stor – 10 kg/s

I stedet for å operere med en lekkasjerate, defineres nå tre størrelser, Liten, Middels og Stor. Dersom en komponent ikke kan gi en definert lekkasje, blir sannsynligheten for denne satt til 0. For eksempel så vil DHSV-FTC alltid gi en stor lekkasje, i og med at hullet i ventilen vil da være så stort at denne vil slippe ut mer enn 10 kg/s ved vanlig trykk i brønnen. Derfor settes sannsynligheten for å få stor lekkasje til 1, mens middels og liten lekkasje settes til 0.

Modellering i ulike initielle lekkasjerater krever en større innsats for å sette disse fordelingene, og fører også til en komplisering når en skal gjøre beregningene. Mer om modellering i ulike lekkasjerater vil bli sett nærmere på i kapittel 3.2.

Den totale sannsynligheten for lekkasje er summen av bidragene som disse ulike fordelingene gir. For å beregne sannsynligheten for lekkasje i et feiltre, gjøres dette ved å finne alle kuttmengdene i treet. En kuttmengde er de ulike sett med hendelser som må inntreffe for at topphendelsen skal inntreffe, i dette tilfellet for å få en lekkasje til topside.

Ved å ta utgangspunkt i feiltreet for ringrom C som illustrert lenger oppe, kan følgende kuttmengder settes opp:

- 1) C-AWV – EXL – S (stor lekkasje)
- 2) C-AWV – EXL – M (medium lekkasje)
- 3) C-AWV – EXL – L (liten lekkasje)
- 4) CSG-SURF – LEAK – S
- 5) CSG-SURF – LEAK – M
- 6) CSG-SURF – LEAK – L
- 7) C-AWV – FTC – S ; BF-ANN – EXL – S
- 8) C-AWV – FTC – S ; BF-ANN – EXL – M
- 9) C-AWV – FTC – S ; BF-ANN – EXL – L
- 10) C-AWV – FTC – S ; PM-ANN – EXL – M

- 11) VRPLUG – LEAK – S ; BF-VR – EXL – S
- 12) VRPLUG – LEAK – S ; BF-VR – EXL – M
- 13) VRPLUG – LEAK – S ; BF-VR – EXL – L

Lekkasje av hydrokarboner fra ringrom C kan skje på 13 ulike måter, der kuttmengdene illustrerer hvilke komponenter som må feile, og størrelse på lekkasje som dette gir. Dersom en komponent har liten lekkasje, vil ikke dette kunne føre til en større lekkasje.

Sannsynligheten for lekkasje beregnes ved å multiplisere feilsannsynligheten for at den første komponenten feiler multiplisert med utilgjengeligheten til de andre komponentene i samme kuttmengde. Utilgjengeligheten til en komponent vil være sannsynligheten for at en komponent er i en feilstatus på et gitt tidspunkt. Formelen for utilgjengelighet er ulik for ulike typer komponenter.

Komponentene i feiltrærne er kategorisert i ulike typer komponenter for å reflektere hvordan feil oppdages, og hvordan dette lar seg reparere [6]. Det er disse egenskapene som bestemmer hva utilgjengeligheten av komponenten blir. Disse ulike komponenttypene er:

- On demand

For denne type komponenter er det ikke noen måte å teste om komponenten har feilet eller ikke. Feil vil først oppdages når komponenten eventuelt skal brukes. Derfor har ikke disse komponentene noen feilsannsynlighet, og utilgjengeligheten settes manuelt. En slik type komponent er ikke aktivert gjennom normal aktivitet, men vil bare bli brukt når det er bruk for denne. Dette betyr at slike komponenter eller ventiler vil få satt sin utilgjengelighet ut fra om den kan klare å utføre sin funksjon når det er bruk for denne. Et eksempel på en slik komponent er en ventil som kan stenges ved at en operatør manuelt stenger ventilen.

- Testintervall

Denne type komponenter er mulige å teste, og inngår normalt i et vedlikeholdsprogram for testing av at funksjonaliteten til komponenten virker. Det vil dermed være mulig å oppdage feil på komponenten før en feil oppstår. Det er i midlertidig ikke mulig å oppdage feil med komponenten før den testes, og det er dette som skiller den fra neste type, nemlig de som er gå under kategorien Repairable. Formelen for utilgjengeligheten til komponenter kategorisert som Testintervall er:

$$U = \frac{MTTR^*}{MTTR^* + \left(\frac{1}{\lambda}\right)}$$

$$, \text{ der } MTTR^* = MTTR + \frac{\tau}{2}$$

λ : Feilsannsynlighet til komponent per tidsenhet

MTTR: Gjennomsnittlig tid det tar å reparere komponenten
 τ : Testintervall for komponenten

- Repairable

Feil av disse komponentene oppdages når de inntreffer, og komponenten blir da reparert. Etter at komponenten er blitt reparert er denne å regne som så god som ny. Formelen som benyttes for denne type komponenter er:

$$U = \frac{MTTR}{MTTR + \left(\frac{1}{\lambda}\right)}$$

λ : Feilsannsynlighet til komponent per tidsenhet
MTTR: Gjennomsnittlig tid det tar å reparere komponenten

- Non-repairable

Feil av disse komponentene oppdages når de inntreffer, men lar seg ikke reparere.

$$U = 1 - e^{-\lambda}$$

λ : Feilsannsynlighet til komponent per tidsenhet

Etter å ha beskrevet hvordan utilgjengeligheten til komponenter fastsettes, ble det i stedet nevnt at sannsynligheten for lekkasje beregnes med disse verdiene og feilsannsynligheten for hver kuttmengde. Sannsynligheten for lekkasje i et kuttsett blir regnet ut på følgende måte:

$$P(\text{lekkasje}) = \sum_{j=1}^n \lambda_j \prod_{i \neq j}^n U_i$$

n : antall komponenter i kuttmengde
 λ_j : feilsannsynlighet til komponent j i kuttmengden
 U_i : utilgjengelighet til komponent i i kuttmengden

Den totale sannsynligheten for lekkasje topside blir dermed summen av alle de enkelte delresultatene som kommer fra å beregne sannsynligheten for hvert enkelt kuttsett som feiltreet genererer

Et feiltre er dermed utviklet for hver brønntype, det vil si at det er et feiltre som reflekterer følgende brønntyper:

- Produsent
- Vanninjektor
- Produsent på gassløft m/ASV installert
- Produsent på gassløft m/ASCV installert

I analysen av en brønn, velges brønntype og feiltremodellen for denne brønntypen benyttes. Dersom det er noe i designet til denne brønnen som avviker fra standard brønntype, så vil dette reflekteres ved å endre på verdiene til komponentene som er i brønnen. For eksempel så vil en ekstra casing i brønn bli reflektert med en halvering i feilsannsynlighet for surface casing.

Feiltrær er også utviklet for de ulike ringrommene, og disse vil bare bli inkludert dersom det er påvist gass her som vurderes å utgjøre en risiko. Kriteriet for å inkludere ringrom er satt til at det må være påvist mer enn 100 kg gass eller være påvist en lekkasjerate på mer enn 15 scf/min inn i ringrommet for å inkludere dette feiltreet.

2.3. Sensitivitetsanalyse på bruk av historiske erfaringsdata og subjektive vurderinger i analysen

I risikoanalysen som gjøres i ConocoPhillips er det komponentenes egenskaper som avgjør verdiene som settes for feilsannsynlighet, utilgjengelighet og komponenttype. I dette kapittelet vil det komme en beskrivelse til hvilke data som benyttes i analysen, og det vil bli gjort en test på hvor sensitiv de ulike komponentene er for endring i ulike parametere. Ved å utføre en slik sensitivitetsanalyse vil det være mulig å påpeke hvilke barrierekomponenter som er viktige i selve analysen som gjøres. Dette kan videre brukes til å avgjøre om dagens metode resultater virker rimelige, og om det er mulig å redusere tid som benyttes for å sette verdier på komponenter som ikke er så sensitive.

WellMaster[7] er en database som inneholder utstyr og historiske data for brønnekompleseringer. Databasen inneholder data fra ulike operatører, og gjør det mulig å innhente gode erfaringsdata for ulikt brønnutstyr. I tillegg er det laget et verktøy som brukes for å innsamle data, gjøre analyser og for å ta ut rapporter. Det er Exprosoft, et firma i Trondheim, som står bak utviklingen og vedlikehold av WellMaster. Fordelen med å hente data fra en slik felles database, er at kvaliteten på data som dermed benyttes er veldig god. Det å bruke data som inneholder historikk fra over 29000 brønnår, gjør at påliteligheten til dataene er gode.

Når det kommer til selve bruken av WellMaster i ConocoPhillips sine analyser, er dette blitt godt benyttet for risikovurderingen. Det er likevel et minus med å benytte en slik database per i dag, og det er at nye endringer som skjer i WellMaster ikke blir reflektert i ConocoPhillips sine data uten at det gjøres en jobb med å oppdatere disse dataene. Data som ligger i ConocoPhillips sin database er fra 2008, og det er siden den gang kommet en ny versjon med data i WellMaster, noe som betyr at det må legges inn dette for enkelte komponenter der det finnes endringer i verdiene.

Data som hentes fra WellMaster forteller noe om påliteligheten til en feilfri komponent, det vil si en komponent som ikke avviker fra en normal komponent og dermed kan betraktes som optimal. For komponenter som det er kjente svakheter med, og som derfor bør ha andre verdier enn det som ligger i WellMaster, er det gjort justeringer av data. For eksempel vil det være fornuftig å endre på testintervallet for en ventil dersom det foretas hyppigere tester enn det som er standard vedlikehold. Det er også slik at en kjent svakhet med en ventil eller komponent vil øke feilsannsynligheten, og derfor settes denne høyere enn det som hentes ut fra WellMaster. På denne måten sikrer analytikerne at hver brønn blir representert på en god måte.

I analysen modelleres en brønn ut fra standardbrønn, og en spesifikk brønn kan ha et design som avviker fra denne standard brønnen. For eksempel kan en brønn ha en ekstra casing bygget inn. Da har man i analysen reflektert dette med å halvere feilsannsynligheten til surface casingen, på denne måten vil en få reflektert at det er mindre sannsynlighet for lekkasje til omgivelsene med å ha en ekstra casing i brønnen.

For å få en bedre forståelse av feiltremodellene og for å lettere kunne vurdere om resultatene er rimelige er det i denne oppgaven utført sensitivitetsanalyse av feiltremodellene. Det er benyttet to ulike metoder for å utføre sensitivitetsanalyse, Fussel-Vesely og Birnbaum's Measure.

Fussel-Vesely metoden [8] for måling av viktigheten til en komponent er gitt ved sannsynligheten for at minst en av kuttmengdene som inneholder komponenten har feilet ved tidspunktet, samtidig som at systemet har feilet ved samme tidspunkt. Formelen for Fussel-Vesely er gitt ved:

$$IMP_{FV} = \frac{\sum U_{KM}}{\sum U_A}$$

U_A = Utilgjengeligheten til alle kuttmengdene i systemet.

U_{KM} = Utilgjengeligheten til kuttmengdene som inneholder komponenten, hvor utilgjengeligheten til en kuttmengde bestemmes av følgende formel:

$$U_{KM} = \prod_{i=1}^n U_{Ki}$$

, hvor K_i er komponent i og n er antall komponenter i kuttmengden

Med andre ord så vil endringer i utilgjengeligheten til en komponent med høy kritikalitet ha størst effekt på utilgjengeligheten til hele systemet.

En annen måte å måle en komponents viktighet er ved å bruke Birnbaum Measure. Denne metoden [8] representerer sensitiviteten til systemets utilgjengelighet med tanke på endringer som skjer med komponentens utilgjengelighet. Formelen for Birnbaum Measure er som følgende:

$$IMP_{BM} = \frac{\sum U_{KM}}{U_K}$$

U_{KM} = Utilgjengeligheten til kuttmengdene som inneholder komponenten

U_K = Utilgjengeligheten til komponenten

Sagt på en annen måte så vil denne metoden gi komponenter som er i kuttmengder med få andre komponenter høy kritikalitet. At komponenter som er i kuttmengder med få komponenter er viktige for resultatet virker rimelig, i og med at en kuttmengde med få komponenter også har få barrierer mot en lekkasje. Derfor vil det å endre feilrate,

testintervall etc. på slike komponenter få stor betydning for sannsynligheten for topphendelsen.

For å utføre sensitivitetsanalysen, er et analyseprogram kalt SAS Enterprise Guide [9] benyttet. Dette er et program som gjør det mulig å koble seg mot en database, skrive beregninger og til slutt få skrevet ut rapporter med resultat. Det vil i den neste delen av rapporten bli presentert noen resultater av sensitivitetsanalysen som er blitt gjort. Det er ikke mulig å presentere alle resultatene, og derfor er de 4-5 viktigste komponentene for noen brønntyper presentert. For å forenkle modellene, er det ikke tatt hensyn til lekkasjerate. Det vil si at det ikke skiller på liten, medium eller stor lekkasjerate. Dette er en forenkling fra analysen som ellers er gjort, og senere i oppgaven sees det på om dette er en forenkling som også kan bli benyttet i selve risikovurderingen.

Sensitivitetsanalysen for en produsent uten gassløft presenteres først. Det er modellert at det ikke er gass i noen av ringrommene, det vil si at den potensielt bare kan lekke fra tubing. Resultatene for Fussel-Vesely metoden er presentert i tabell 2.3.1. Tabellen inneholder komponent med beskrivelse, feilsannsynlighet og utilgjengelighet benyttet i analysen. Resultatet fra sensitivitetsanalysen er vist i kolonnen IMP, som er forklaring for sensitivitetsverdien til komponenten. Kolonnen IMP % vil si hvor stor del av hele systemets IMP den valgte komponenten utgjør. I og med at tabellen bare inneholder 5 av rundt 40 komponenter vil ikke summen av IMP % bli 100.

| Komponent | Beskrivelse | Feilsannsynlighet | Utilgjengelighet | IMP | IMP % | Rank |
|------------|------------------------|-------------------|------------------|------|-------|------|
| DHSV - FTC | Downhole safety valve | 1.10E-6 | 3.10E-3 | 0.49 | 19.3 | 1 |
| HMV - EXL | Hydraulic master valve | 7.82E-8 | 1.35E | 0.35 | 13.7 | 2 |
| MMV - EXL | Manual master valve | 7.82E-8 | 1.31E-5 | 0.35 | 13.7 | 2 |
| SV - LCP | Swab valve | 5.40E-7 | 2.45E-3 | 0.32 | 12.5 | 4 |
| DHSV - LCP | Downhole safety valve | 7.10E-7 | 2.02E-3 | 0.32 | 12.5 | 5 |

Tabell 2.3.1 – Fussel-Vesely resultat for produsent uten gassløft

Tabellen viser at det er DHSV som i feilmodus FTC er den mest kritiske komponenten. Er denne ventilen i feilmodus LCP er den også viktig med tanke på kritikalitet. Ved å tenke seg brønnbarrieretegningen for en brønn som ikke er på gassløft, så er det ikke urimelig at det er DHSV og HMV/MMV som er de mest kritiske.

Tabell 2.3.2 viser resultatet fra sensitivitetsanalysen for samme type brønn, men der Birnbaum Measure er benyttet som metode.

| Komponent | Beskrivelse | Feilsannsynlighet | Utilgjengelighet | IMP | IMP % | Rank |
|----------------|--|-------------------|------------------|---------|-------|------|
| HMV - EXL | Hydraulic master valve | 7.82E-8 | 1.31E-5 | 5.22E-3 | 39.2 | 1 |
| MMV - EXL | Manual master valve | 7.82E-8 | 1.31E-5 | 5.22E-3 | 39.2 | 1 |
| A-AWV - EXL | A annulus wing valve | 7.82E-8 | 1.31E-5 | 8.23E-4 | 6.2 | 3 |
| BF-ANN-A - EXL | Blind flange ann A outside transmitter | 3.99E-8 | 6.70E-6 | 8.14E-4 | 6.1 | 4 |
| PMANN-A - EXL | Pressure transmitter A ann wo/gas lift | 1.00E-7 | 1.68E-5 | 8.05E-4 | 6.0 | 5 |

Tabell 2.3.2 – Birnbaum Measure resultat for produsent uten gassløft

Birnbaum Measure gir et litt annet resultat enn Fussel-Vesely, i og med at den ikke peker på DHSV som en av de mest kritiske komponentene. Dette kan ha en sammenheng med at denne komponenten inngår i veldig mange kuttmengder, samtidig som disse kuttmengdene også består av mange komponenter. Dermed vil ikke endring i DHSV sin feilrate eller testintervall, parametere som bestemmer utilgjengeligheten, være av så stor betydning som for eksempel ekstern lekkasje fra HMV og MMV. En nærmere analyse viser at DHSV-FTC og DHSV-LCP inngår i 30 ulike kuttmengder hver, av totalt 106 kuttmengder.

For en brønn uten gassløft, der det er påvist gass i ringrom C, er resultatene presentert i tabell 2.3.3. Analysen er kjørt med å benytte feiltreet for ringrom C, presentert i kapittel 2.2. Dermed er ikke feiltreet for lekkasje fra reservoaret inkludert i analysen.

| Komponent | Beskrivelse | Feilsannsynlighet | Utilgjengelighet | IMP | IMP % | Rank |
|-----------------|------------------------------|-------------------|------------------|-------|-------|------|
| CSG-SURF - LEAK | Surface casing | 3.29E-7 | 2.88E-3 | 0.987 | 97.9 | 1 |
| C-AWV - FTC | C annulus wing valve | . | 1 | 0.008 | 0.8 | 2 |
| PM-ANN - EXL | Pressure transmitter annulus | 1.00E-7 | 1.68E-5 | 0.006 | 0.6 | 3 |
| C-AWV - EXL | C annulus wing valve | 7.82E-8 | 1.31E-5 | 0.005 | 0.4 | 4 |

Tabell 2.3.3 – Fussel-Vesely resultat for produsent uten gassløft, gass i ringrom C

Fussel-Vesely metoden for produsent uten gassløft med gass i ringrom C, gir at det er Surface casing som er den viktigste komponenten. Grunnen til dette kan være at det ikke er mer en 5 kuttmengder for denne type feiltre (se nedenfor).

C-AWV - EXL
 C-AWV - FTC -> BF-ANN-C - EXL
 C-AWV - FTC -> PM-ANN - EXL
 CSG-SURF – LEAK
 VRPLUG – LEAK -> BF-VR – EXL

Det at Surface casingen både står alene i en kuttmengde og har høy utilgjengelighet gjør at dette bidrar til viktigheten for denne komponenten.

Resultatet for produsent uten gassløft med gass i ringrom C er presentert i tabell 2.3.4.

| Komponent | Beskrivelse | Feilsannsynlighet | Utilgjengelighet | IMP | IMP % | Rank |
|-----------------|--|-------------------|------------------|-----|-------|------|
| CSG-SURF - LEAK | Surface casing | 3.29E-7 | 2.88E-3 | 1 | 25.0 | 1 |
| PM-ANN - EXL | Pressure transmitter annulus | 1.00E-7 | 1.68E-5 | 1 | 25.0 | 1 |
| C-AWV - EXL | C annulus wing valve | 7.82E-8 | 1.31E-5 | 1 | 25.0 | 1 |
| BF-ANN-C - EXL | Blind flange ann C outside transmitter | 3.99E-8 | 6.70E-6 | 1 | 25.0 | 1 |

Tabell 2.3.4 – Birnbaum Measure resultat for produsent uten gassløft, gass i ringrom C

Birnbaum Measure tar hensyn til antall kuttmengder og antall komponenter i hver kuttmengde. Av de 5 kuttmengdene for feiltre for ringrom C, er det i utgangspunktet 4 kuttmengder som bare består av en komponent hver. Dette er fordi AWV-FTC sin utilgjengelighet er satt til 1 for å reflektere at denne manuelle ventilen ikke kan stenge ved en gasslekkasje.

Tabell 2.3.4 viser at det er disse 4 komponentene som er mest kritiske i ringrom C med Birnbaum Measure og at resultatet er likt for disse komponentene, dvs. de er like viktige.

For en brønn som er på gassløft, med ASCV installert, er resultatet med Fussel-Vesely presentert i tabell 2.3.5. Det er viktig å påpeke at det er gass i ringrom A som følge av at brønnen er på gassløft, og dette er inkludert i feiltremodellen.

| Komponent | Beskrivelse | Feilsannsynlighet | Utilgjengelighet | IMP | IMP % | Rank |
|-----------------|-----------------------------|-------------------|------------------|------|-------|------|
| A-AWV - EXL | A annulus wing valve | 7.82E-8 | 1.31E-5 | 0.68 | 52.6 | 1 |
| WHCONN - EXL | Wellhead connector seal | 3.30E-7 | 2.89E-3 | 0.27 | 20.7 | 2 |
| THSHSEAL - LEAK | Tubing hanger shoulder seal | 2.00E-7 | 1.75E-3 | 0.27 | 20.6 | 3 |
| PRODCSG - LEAK | Production casing | 4.10E-7 | 3.59E-3 | 0.01 | 1.1 | 4 |
| GLV - LEAK | Gas lift valve | 2.90E-6 | 8.23E-3 | 0.01 | 0.6 | 5 |

Tabell 2.3.5 – Fussel-Vesely resultat for produsent på gassløft, ASCV installert

Resultatet viser at det er vingventilen i ringrom A, A-AWV, som er den viktigste komponenten, med WHCONN og THSHSEAL som to andre viktige komponenter, og det virker rimelig at lekkasje fra ringrommet bidrar mest.

I tabell 2.3.6 er resultatet for produsent på gassløft med ASCV når Birnbaum Measure er benyttet presentert.

| Komponent | Beskrivelse | Feilsannsynlighet | Utilgjengelighet | IMP | IMP % | Rank |
|---------------|------------------------------|-------------------|------------------|--------|-------|------|
| A-AWV - EXL | A annulus wing valve | 7.82E-8 | 1.31E-5 | 1 | 96.7 | 1 |
| GLES DV - EXL | ESDV valve on gas lift line | 7.82E-8 | 1.31E-5 | 6.9E-3 | 0.7 | 2 |
| HMV - EXL | Hydraulic master valve | 7.82E-8 | 1.31E-5 | 5.2E-3 | 0.5 | 3 |
| MMV - EXL | Manual master valve | 7.82E-8 | 1.31E-5 | 5.2E-3 | 0.5 | 3 |
| PM-ANN - EXL | Pressure transmitter annulus | 1.00E-7 | 1.68E-5 | 3.7E-3 | 0.4 | 5 |

Tabell 2.3.6 – Birnbaum Measure resultat for produsent på gassløft, ASCV installert

Også med Birnbaum Measure er det A-AWV som er den mest kritiske komponenten, mens her er også GLES DV, HMV og MMV er viktige komponenter.

Sensitivitetsanalysen som er gjort gir en bedre forståelse av modellene og resultatene virker rimelige. En sensitivitetsanalyse er nyttig å gjennomføre for å få et godt bilde på hvilke komponenter som er viktige i forhold til resultatet av risikovurderingen. Noen komponenter vil gjøre et større utslag på resultatet dersom en endrer på parametrene for disse komponentene, og dette er nyttig informasjon. Resultat av en sensitivitetsanalyse kan avgjøre hvilke komponenter som det er viktig å bruke tid på å justere feilsannsynlighet og utilgjengelighet for. Sensitivitetsanalyse kan bidra til at risikovurderingen kan gjøres mer effektiv. Sensitivitetsanalysen som er gjort, vil kunne være grunnlag for en diskusjon senere i denne rapporten, der muligheten for å gjøre en forenklet risikovurdering vurderes.

2.4. Resultater for ulike brønntyper og typiske feil og svakheter

Dette kapittelet vil ta for seg resultatet av sist analyse for noen utvalgte brønner. Analysen er gjennomført i desember 2010, og ELDA er valgt som plattform for analysen. Det er blitt plukket ut brønner av ulike brønntyper for å få en bredere forståelse av ulike risikovurderinger som er blitt gjort, og hvilke antagelser som ligger til grunn for analysen. Brønnbarrieretegningene er å finne i Appendiks A, og dette er utgangspunkt for feiltrær som er brukt i analysen.

2.4.1. Produserende brønn

Som en brønn som produserer uten gassløft, er brønnen 2/7A-27 blitt valgt. Dette er en brønn som har hatt problemer over lang tid, og på analysetidspunktet er denne brønnen stengt inn, dvs at den ikke produserer. Følgende er kommentert i rapporten fra analysen:

| |
|---|
| Shut in (closed AFV). Punched tubing. Wireline retrievable DHSV. Plug in tubing (closed DHSV). Gas in annulus A, B and C. |
|---|

Brønnen er innestengt, og dette er modellert med at AFV er lukket. For å reflektere at brønnen er innestengt er feilsannsynligheten og utilgjengelighet satt til 0 for feilmodusen FTC, noe tabell 2.4.1.1 viser. Det er satt inn en plugg i brønnen, og dette gjenspeiles med at DHSV er blitt stengt. Det er videre ikke sementert 200 m ovenfor produksjonspakning, og dermed er PRODCSG – LEAK sin feilsannsynlighet for stor lekkasje blitt justert opp. Til slutt er det påvist at det lekker i Tubing, og dermed er TUBBELOW – FTC reflektert med at det er lekkasje i denne komponenten. Det er gass i alle 3 ringrom, A B og C ringrommet. Derfor vil modellen som brukes i analysen inkludere feiltre for ringrom A, B og C.

Dersom analysen kjøres for en brønn som ikke har gass i noen ringrom, vil resultatet se ut som følger:

0. Prod WOGL 1.02E-05

Figur 2.4.1.1 – Årlig sannsynlighet for lekkasje fra en brønn uten gassløft

Dette viser at det vil være 1.02E-05 sannsynlighet for å få en lekkasje topside det neste året. I og med at det er gass i ringrom A, B og C, blir dette inkludert i analysen. Følgende komponenter har fått justert sine verdier på feilsannsynlighet/utilgjengelighet på grunn av kjente feil og svakheter i brønnen. Tabell 2.4.1.1 inneholder komponent, samt feilsannsynlighet og utilgjengelighet for en normal komponent. For hver lekkasjerate er

den endrede brønnsesifikke feilsannsynligheten og utilgjengeligheten oppgitt, med en kommentar som forklarer årsaken til justeringen som er gjort.

| Komp. | Lekk .Rate | Feilsanns. – normal | Utilgjeng. - normal | Feilsanns. – brønnses. | Utilgjeng. – brønnses. | Komm. |
|-----------------|------------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------|---|
| AFV – FTC | Stor | 2.20E-06 | 5.16E-03 | 0 | 0 | Shut in (closed AFV). |
| DHSV – FTC | Stor | 1.10E-06 | 3.14E-03 | 0 | 0 | Wireline retrievable DHSV. Plug in tubing. |
| DHSV – LCP | Liten | 7.10E-07 | 2.03E-03 | 1.16E-05 | 3.21E-02 | Wireline retrieveable DHSV |
| PRODCSG – LEAK | Liten | 5.60E-08 | 4.90E-04 | 5.60E-08 | 4.90E-04 | Not cemented 200 m above production packer. |
| | Medium | 2.80E-08 | 2.45E-04 | 2.80E-08 | 2.45E-04 | |
| | Stor | 1.96E-07 | 1.72E-03 | 1.96E-05 | 1.58E-01 | |
| TUBBELOW – LEAK | Liten | 1.78E-07 | 1.20E-04 | 0 | 0 | Punched tubing. |
| | Medium | 8.91E-08 | 5.99E-05 | 0 | 0 | |
| | Stor | 6.24E-07 | 4.19E-04 | 0 | 1 | |

Tabell 2.4.1.1 – Oversikt over komponenter som avviker fra standard verdi – 2/7A-27

Med disse verdiene som grunnlag, og inkludert feiltre for ringrom A, B og C, blir sannsynligheten for lekkasje pr. år $1.14E-02$. Rød søyle viser sannsynligheten for stor lekkasjerate, gul er for medium lekkasjerate og grå søyle viser sannsynligheten for liten lekkasjerate.



Figur 2.4.1.2 – Årlig sannsynlighet for lekkasje fra 2/7A-27

Resultatet er fordelt på følgende lekkasjerater og kilde til lekkasje i tabell 2.4.1.2:

Detail of analysis for 2/7A-27 - dependent on leak source and rate

| <i>Leak Source</i> | <i>Small leakrate</i> | <i>Medium leakrate</i> | <i>Large leakrate</i> |
|--------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Annulus A | 9.96E-04 | 1.22E-03 | 3.96E-05 |
| Annulus B | 8.81E-04 | 1.07E-03 | 6.36E-05 |
| Annulus C | 1.42E-03 | 1.33E-03 | 2.04E-03 |
| Reservoir | 1.05E-03 | 1.22E-03 | 3.96E-05 |

Tabell 2.4.1.2 – Detaljert resultat fra analyse for 2/7A-27

Tabell 2.4.1.2 viser at det er størst sannsynlighet for å få en lekkasje fra ringrom C, men det er også relativt stor sannsynlighet for å få lekkasje fra reservoaret. Denne analysen viser at siden det er blitt justert verdier på komponenter som er av høy kritikalitet, DHSV og TUBBELOW, så vil dette påvirke resultatet, ref forrige kapittel om sensitivitetsanalyse av brønnkomponenter. Sannsynligheten for å få en lekkasje er nede i E-03 fra reservoaret, og dette er en forverring fra en normal brønn som ville ha endt opp med et resultat på E-05.

2.4.2. Brønn på gassløft med ASV eller ASCV

Brønnen 2/7A-11 er en brønn som produserer med gassløft. Den har installert en ASCV, som erstatning for en ASV som har feilet. På samme måte som brønnen 2/7A-27, er dette en brønn som er innestengt på grunn av store problemer med brønnen. Det er blant annet påvist gass i alle ringrom, og dette er derfor inkludert i analysen.

En normal gassløftbrønn med ASCV installert vil ha følgende resultat for lekkasjesannsynlighet det neste året.

0. Prod WGL (ASCV)  7.23E-04

Figur 2.4.2.1 – Årlig sannsynlighet for lekkasje fra en brønn med gassløft

I analysen er det blitt notert følgende om brønnen:

Not cemented 200 m above production packer. Leak in tubing. Shut in (closed AFV). Gas in A, B and C.

Tabell 2.4.2.1 viser hvilke komponent og feilmodus som avviker fra standard data i WellMaster.

| Komp. | Lekk.Rate | Feilsanns. – normal | Utilgjeng. - normal | Feilsanns. – brønnspes. | Utilgjeng. – brønnspes. | Komm. |
|----------------|-----------|---------------------|---------------------|-------------------------|-------------------------|---|
| AFV – FTC | Stor | 2.20E-06 | 5.16E-03 | 0 | 0 | Shut in (closed AFV). |
| DHSV – FTC | Stor | 1.10E-06 | 3.14E-03 | 0 | 0 | Wireline retrieveable DHSV. Plug in well (reflected as closed DHSV) |
| DHSV – LCP | Liten | 7.10E-07 | 2.03E-03 | 1.16E-05 | 3.21E-02 | Wireline retrieveable DHSV. |
| PRODCSG – LEAK | Liten | 8.20E-08 | 7.18E-04 | 8.20E-08 | 7.18E-04 | Not cemented 200 m above production packer. |
| | Medium | 4.10E-08 | 3.59E-04 | 4.10E-08 | 3.59E-04 | |
| | Stor | 2.87E-07 | 2.51E-03 | 2.87E-05 | 2.22E-01 | |

| | | | | | | |
|--------------------|------------|----------|-----------|----------|----------|--------------------|
| TUBBELOW – LEAK | Liten | 1.78E-07 | 1.204E-04 | 0 | 1 | Leak in tubing. |
| | Medi um | 8.91E-08 | 5.99E-05 | 8.91E-08 | 5.99E-05 | |
| | Stor | 6.24E-07 | 4.19E-04 | 6.24E-07 | 4.19E-04 | |

Tabell 2.4.2.1 – Oversikt over komponenter som avviker fra standard verdi – 2/7A-11

Med de justerte verdiene som følge av de kjente feil og svakhetene som er i brønnen, blir resultatet som følger.



Figur 2.4.2.2 – Årlig sannsynlighet for lekkasje fra 2/7A-11

Dette resultatet er fordelt på følgende lekkasjerater og kilde til lekkasje som vist i tabell 2.4.2.2.

Detail of analysis for 2/7A-11 - dependent on leak source and rate

| Leak Source | Small leakrate | Medium leakrate | Large leakrate |
|-------------|----------------|-----------------|----------------|
| Annulus A | 7.80E-04 | 3.57E-04 | 3.19E-05 |
| Annulus B | 8.81E-04 | 1.07E-03 | 6.36E-05 |
| Annulus C | 1.42E-03 | 1.33E-03 | 2.04E-03 |
| Reservoir | 1.23E-03 | 6.35E-07 | 4.91E-08 |

Tabell 2.4.2.2 – Detaljert resultat fra analyse for 2/7A-11

Som for 2/7A-27 er det igjen et bidrag fra ringrom C som gjør at sannsynligheten for lekkasje går opp fra en normal på E-04 til nå nesten E-02 (9.2E-03). Dette skyldes at bidraget fra ringrom C er stort, og med gass i dette ringrommet øker det sannsynligheten for lekkasje.

2.4.3. Vanninjeksjonsbrønn

2/7A-07 er en vanninjeksjonsbrønn. Denne brønnen har en feil i primærbarrieren og gass i ringrom B, noe kommentar i analysen viser:

One failure in primary barrier will most likely lead to injection into overburden (reflected as leak in production casing). Gas in B (small leak rate but some gas in B).

Det er likevel påvist litt gass i ringrom B, og dermed så blir feiltre for B ringrommet inkludert i analysen.

En normal og feilfri vanninjektor vil komme ut med følgende resultat:

0. WI 7.72E-06

Figur 2.4.3.1 – Årlig sannsynlighet for lekkasje fra en brønn med vanninjeksjon

Som nevnt i kommentaren fra analysen ovenfor er det mest sannsynlig at brudd i primær barrieren vil føre til injeksjon inn i formasjonen, og dette er blitt reflektert som en lekkasje i produksjonscasingen. Dette er presentert i tabell 2.4.3.1:

| Komp. | Lekk.Rate | Feilsanns. – normal | Utilgjeng. - normal | Feilsanns. – brønnses. | Utilgjeng. – brønnses. | Komm. |
|----------------|-----------|---------------------|---------------------|------------------------|------------------------|--|
| PRODCSG – LEAK | Liten | 5.60E-08 | 4.90E-04 | 5.60E-08 | 4.90E-04 | One failure in primary barrier will most likely lead to injection into overburden. |
| | Medium | 2.80E-08 | 2.45E-04 | 2.80E-08 | 2.45E-04 | |
| | Stor | 1.96E-07 | 1.72E-03 | 1.96E-05 | 1.58E-01 | |

Tabell 2.4.3.1 – Oversikt over komponenter som avviker fra standard verdi – 2/7A-07

Resultatet for analysen for 2/7A-07 blir dermed som følger:

2/7A-07 - WI  2.02E-03

Figur 2.4.3.2 – Årlig sannsynlighet for lekkasje fra 2/7A-07

Detaljene fra analysen er som vist i tabell 2.4.3.2:

Detail of analysis for 2/7A-07 - dependent on leak source and rate

| <i>Leak Source</i> | <i>Small leakrate</i> | <i>Medium leakrate</i> | <i>Large leakrate</i> |
|--------------------|-----------------------|------------------------|-----------------------|
| Annulus B | 8.81E-04 | 1.07E-03 | 6.36E-05 |
| Reservoir | 6.22E-06 | 2.29E-06 | 2.08E-07 |

Tabell 2.4.3.2 – Detaljert resultat fra analyse for 2/7A-07

Ut ifra resultatet er det mulig å lese at det er bidraget fra ringrom B som gjør at den totale sannsynlighet for lekkasje neste år ender opp på E-03. Sannsynligheten som kommer fra reservoaret bidrar ikke i noen stor grad, selv om verdien til komponentene er justert på grunn av feil. Dette kan forklares med bakgrunn i sensitivitetsanalysen som ble gjort i forrige kapittel hvor det ble det vist at PRODCSG ikke er av de mest kritiske komponentene, men faktisk havner denne nede på en plassering rundt 30 av 45 komponenter. Det er grunn til å vurdere om det å justere denne komponenten bidrar nok til å få reflektert faren for å injisere til formasjonen, og hvorvidt verdien er blitt justert nok i forhold til ønsket effekt.

2.5. Visualisering og formidling av resultat

Et viktig aspekt med å utføre risikoanalyser, er hvordan resultatene formidles og kommuniseres til andre som kan bruke dette resultatet i sitt videre arbeid. I dette kapittelet vil det bli presentert hvordan resultatene i dag blir brukt og kommunisert til ulike avdelinger innad i ConocoPhillips.

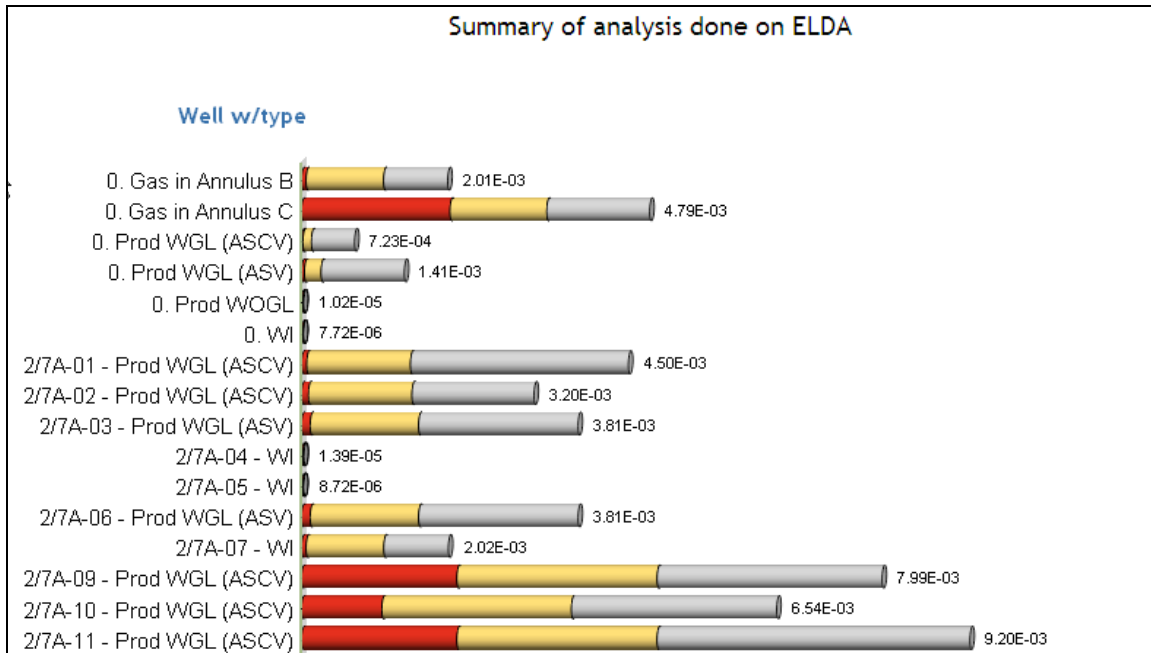
Brønnerisikoteamet som utfører analysene vil ved en ferdigkjørt analyse for en brønn i WIRA, bli presentert med resultatet av denne analysen. Figur 2.5.1 viser et eksempel på en rapport, der informasjon om analysedato, type brønn og status ved brønn og DHSV presenteres. Den totale sannsynligheten for lekkasje til topside vises, og med bakgrunn i denne verdien gjøres det en rangering av brønnene på plattformen. I dette eksempelet er det en brønn som har fått rangering 7. Kommentar til risiko ved brønnen ligger også i rapporten, i tillegg til at det er mulig å komme med anbefalinger til risikoreducerende tiltak.

| Summary of 2/7A-09 - assessment | | | | | | | | | | |
|--|-----------------|-----------------|-------------------|--------------------|---|---------------------|------------------------|--|----------------------------------|---------------|
| Assessment Date | Well ID | Well Type | Well Status | DHSV Type | Probability of leak to topside during next year | Risk Rank (1=worst) | WIF Forum Category | Risk Criticality Issues | Recommendation | |
| 09DEC2010 | 2/7A-09 | Prod WGL (ASCV) | Shut In | Tubing retrievable | 7.99E-03 | 7 | Yellow | Not cemented 200 m above production packer, Shut in (closed AFV). Gas in A, B and C annulus. | | |
| Detail of analysis for 2/7A-09 - dependent on leak source and rate | | | | | | | | | | |
| Leak Source | Small leakrate | Medium leakrate | Large leakrate | | | | | | | |
| Annulus A | 7.80E-04 | 3.57E-04 | 3.19E-05 | | | | | | | |
| Annulus B | 8.81E-04 | 1.07E-03 | 6.36E-05 | | | | | | | |
| Annulus C | 1.42E-03 | 1.33E-03 | 2.04E-03 | | | | | | | |
| Reservoir | 1.81E-05 | 1.39E-06 | 1.37E-07 | | | | | | | |
| Info about annulus/tubing gas for this assessment | | | | | | | | | | |
| Well Barrier | Annulus Content | Measure Date | Height Gas (Foot) | Pressure (PSI) | Temperature (Kelvin) | Mol weight (kg/mol) | Compressibility factor | Inner diam \ outer casing (inch) | Outer diam \ inner casing (inch) | Mass gas (kg) |
| Annulus B | Gas Lift | 17FEB2008 | 29 | 280 | 300 | 0.02 | 0.945 | 12.25 | 9.63 | 4.2 |
| Annulus C | Gas Lift | 17FEB2008 | 22 | 210 | 300 | 0.02 | 0.956 | 18.9 | 13.375 | 7.35 |

Figur 2.5.1 – Resultat av analyse på 2/7A-09

Under den øverste linjen, er det mer informasjon om hvor stor sannsynlighet det er for å få lekkasje fra ulike ringrom. Dersom ringrom er inkludert i analysen vil sannsynligheten for lekkasje fra ringrom fordelt på ulike lekkasjerater presenteres. Til slutt i denne rapporten presenteres målinger som er gjort for å beregne gassmengde i de ulike ringrom.

Resultatet for de ulike brønnene på en plattform presenteres også. Rapporten nedenfor viser øverste del av rapporten for oppsummering på ELDA. Øverst er årlig sannsynlighet for lekkasje fra ringrom B og C presentert for en brønn der ingen av komponentene har justert for feilsannsynlighet eller utilgjengelighet. De neste 4 søylene viser årlig sannsynlighet for ulike brønntyper for brønner som ikke har justert feilsannsynlighet eller utilgjengelighet. Under er resultatet for hver brønn fra A-01 til A-11. Ved denne type presentasjon er det mulig og sammenligne en spesifikk brønn med hvordan en feilfri brønn av denne typen skulle vært.



Figur 2.5.2 – Samlet resultat av analyse på ELDA

De ulike fargene i søylen angir lekkasjerate, der rød er sannsynligheten for stor lekkasje, gul for medium og grå er sannsynligheten for liten lekkasje. I og med at brønnnavnet er presentert sammen med brønntype blir det enkelt å identifisere denne brønnen med normalbrønnen som er presentert øverst i rapporten. Er det ønskelig med mer informasjon om en spesifikk brønn er det bare å klikke på en søyle, og et bilde med rapporten som ble presentert tidligere vil komme opp. På denne måten er det enkelt å kunne finne årsak til at resultatet er som det er. Det er også mulig å få opp oppsummeringsrapport i tekstlig form ved å hente opp følgende rapport.

| Assessment Date | Well ID | Well Type | Well Status | DHSV Type | Probability of leak to topside during next year | Risk Rank (1=worst) | WIF Forum Category | Risk Criticality Issues | Recommendation |
|-----------------|-------------------------|-----------------|-----------------|----------------------|---|---------------------|--------------------|--|----------------|
| 09DEC2010 | 2/7A-01 | Prod WGL (ASCV) | Prod WGL (ASCV) | Wireline retrievable | 4.50E-03 | 10 | Yellow | Wireline retrievable DHSV, A-AWV leaking internally, Gas in B (small leak rate but some gas in B), Not cemented 200 m above production packer, Extra casing. | |
| 09DEC2010 | 2/7A-02 | Prod WGL (ASCV) | Prod WGL (ASCV) | Tubing retrievable | 3.20E-03 | 18 | Orange | Gas in B (Leak rate below criteria, but some gas in B). Not cemented 200 m above production packer. | |
| 09DEC2010 | 2/7A-03 | Prod WGL (ASV) | Prod WGL (ASCV) | Tubing retrievable | 3.81E-03 | 14 | Yellow | Not cemented 200 m above production packer, Gas in B (small leak rate but some gas in B, possible communication with tubing). | |
| 09DEC2010 | 2/7A-04 | WI | WI | Tubing retrievable | 1.39E-05 | 27 | Orange | Secondary barrier can not withstand injection pressure, included as a leak in production casing. | |
| 09DEC2010 | 2/7A-05 | WI | WI | Tubing retrievable | 8.72E-06 | 29 | Orange | Not cemented 200 m above production packer. | |
| 09DEC2010 | 2/7A-06 | Prod WGL (ASV) | Prod WGL (ASV) | Tubing retrievable | 3.81E-03 | 14 | Yellow | Gas in B (small leak rate but some gas in B), Not cemented 200 m above production packer. | |
| 09DEC2010 | 2/7A-07 | WI | WI | Tubing retrievable | 2.02E-03 | 23 | Orange | One failure in primary barrier will most likely lead to injection into overburden (reflected as leak in production casing). Gas in B (small leak rate but some gas in B). | |
| 09DEC2010 | 2/7A-08 | Empty slot | Empty slot | | . | . | . | Cuttings reinjection well - not analysed. | |
| 09DEC2010 | 2/7A-09 | Prod WGL (ASCV) | Shut In | Tubing retrievable | 7.99E-03 | 7 | Yellow | Not cemented 200 m above production packer, Shut in (closed AFV). Gas in A, B and C annulus. | |
| 09DEC2010 | 2/7A-10 | Prod WGL (ASCV) | Prod WGL (ASCV) | Wireline retrievable | 6.54E-03 | 8 | Yellow | Extra casing, Increased DHSV failure probability due to wax), Not cemented 200 m above production packer, Gas in B (small leak rate but some gas in B), Gas in C (small leak rate but some gas). | |
| 09DEC2010 | 2/7A-11 | Prod WGL (ASCV) | Shut In | Wireline retrievable | 9.20E-03 | 2 | Orange | Not cemented 200 m above production packer. Leak in tubing. Shut in (closed AFV). Gas in A, B and C. | |

Figur 2.5.3 – Detaljerte resultater av analyse på ELDA

Dette gir en god oversikt over alle brønnene på en plattform, og det er mulig å sammenligne informasjonen mellom de ulike brønnene.

Disse ulike rapportene om resultat fra analyser er input til halvårlig brønngjennomgang, der risikonivået og integriteten til brønnene blir gjennomgått. For å enkelt kunne hente opp og bruke denne informasjonen som kommer fra brønnsikoteamet er det laget en portal som viser resultatene i form av de presenterte rapportene ovenfor. Et problem i dag er at det ikke er kommunisert til personer i brønnintegritetsteamet at disse rapportene er tilgjengelig, og dermed oppnås ikke ønsket effekt med å kunne bruke resultatene i de ulike møtene som avholdes.

Det ovennevnte problemet kan skyldes at det ikke foretas like hyppige analyser som er klar til hver brønngjennomgang, og dermed vil ikke rapportene som er mulige å hente opp ha en så stor betydning, da disse ikke vil gi et korrekt bilde av nåværende situasjon. Det må likevel nevnes at det finnes et godt system som gir flere av de nødvendige rapportene som det er nødvendig å ha, og at det dermed må gjøres en forbedring i prosessen slik at dette blir utnyttet.

3. Videreutvikling av metodikk for risikovurdering av brønnintegritet

ConocoPhillips har i dag et verktøy WIRA, som vil være med på å kunne si noe om risikoen forbundet med brønner i drift. WIRA beregner årlig sannsynlighet for lekkasje fra hver brønn til topside. Det å bruke feiltre for å dokumentere mulige lekkasjeveier ut av en brønn er en krevende prosess, som omfatter vedlikehold av brønnbarrieretegninger for å kunne reflektere brønnen best mulig.

Dette hovedkapittelet vil se nærmere på muligheten for å forbedre ulike deler av dagens metode. Svakheter med dagens metode diskuteres og forslag til hvordan risikogrupper i enda større grad kan få best mulig utbytte av den analysen som gjøres blir presentert. Kritikalitet av brønnkomponenter, modellering i ulike lekkasjerater, sanntidsoppdatering av brønnstatus vil diskuteres, og til slutt presenteres et forslag til hvordan konsekvens kan inkluderes i analysen.

3.1. Kritikalitet av brønnkomponenter

Dagens versjon av WIRA reflekterer godt hvilke brønner som det er størst risiko for å få en lekkasje fra. Sensitivitetsanalysen som ble utført i kapittel 2.3 viser at resultatene virker rimelige i forhold til hvilke komponenter som bidrar mest til å påvirke det totale resultatet. Ved å kunne kjøre slike analyser fra WIRA vil det være mulig å se om en komponent bidrar mye til det totale resultatet, og dette er også en viktig ting som vil indikere hvilke komponenter som bør ha høyest fokus. Er det en kjent feil med en komponent som kommer langt ned på listen over kritikalitet, er det ikke sikkert at det er nødvendig å justere denne komponenten, siden resultatet ikke påvirkes i like stor grad som om det var en komponent som hadde høy kritikalitet. I sammenheng med prioritering av vedlikehold vil det for de ulike brønnene og være interessant å vite noe om hvilke komponenter som det er feil med som ved en reparasjon vil forbedre risikoen mest. En feil komponent vil være en komponent som avviker fra en standard komponent, og dette kan muligens være input til det planlagte vedlikeholdsarbeidet som gjøres.

Etter en analyse, som har avdekket mulige problemer i en brønn, vil det være behov for å iverksette tiltak som kan redusere risikoen. Tiltak kan være mange, alt fra å stenge ned brønnen, foreslå reparasjon av komponenter, tillate lavere trykk i brønnen o.s.v. Et hjelpemiddel på veien til å fatte de rette beslutningene, ville være muligheten for å se effekten på risikobildet ved å reparere komponenter i en brønn. I kapittel 2.3 ble det vist hvordan en sensitivitetsanalyse avdekket hvilke komponenter som er mest kritiske i en brønntype. Dette kan være input til hvordan brønneier skal prioritere aktivitetene i en brønn slik at risikoen blir begrenset.

I dette kapitlet skal det bli vist en alternativ metode som vil vise effekten av å reparere en komponent i en brønn, og hvordan dette påvirker risikoen. Metoden som skal benyttes er kalt Improvement potential, og vil fortelle noe om hvor mye sannsynligheten for lekkasje forbedres ved å erstatte en defekt komponent med en som kan betraktes som ny. Improvement potential beregnes ved følgende formel:

$$IP_i = P_{i_{TOP}} - P_{TOP}$$

$P_{i_{TOP}}$ er sannsynligheten for lekkasje dersom komponent i er i en perfekt tilstand
 P_{TOP} er sannsynligheten for lekkasje dersom komponent i er i nåværende tilstand

Formelen over innebærer at en komponents forbedringspotensial er det samme som systemets feilsannsynlighet gitt at komponent i er i så god som ny tilstand, minus systemets feilsannsynlighet ved å ha den defekte komponenten som en del av systemet. Da vil den komponenten som reduserer sannsynligheten for topphendelsen mest være den komponenten som vil ha størst risikoreduserende effekt å reparere.

Denne måten å gjøre en analyse på kan siden utvides til å omfatte flere enn en komponent, det vil si hva effekten vil være dersom en reparerer flere ulike komponenter i samme brønn. Dette vil bli som ulike scenarier å regne, og på denne måten kan et forslag på hvordan man bør utbedre brønnen for at risikoen skal være så lav som mulig bli presentert.

Som et eksempel på hvordan en slik analyse kan se ut, er det gjort analyser på 2 brønner, de samme brønnene som ble brukt til å vise en analyse i kapittel 2.4. Ved å kjøre analysen manuelt i Enterprise Guide, EG, vil det være mulig å definere hvilke komponenter som skal modelleres som feilfri. Dette vil bety at det er mulig å lagre hver analyse, og dermed gjøre beregninger som viser hva Improvement potential blir for hver komponent som avviker fra de verdiene som er angitt som standard. Det er ikke bare feilsannsynligheten som trenger å avvike, men som en har sett tidligere kan det være mulig å endre på reparasjonstid, testintervall og utilgjengeligheten. Det er også mulig å endre på fordeling over lekkasjeratene.

Den første brønnen som det er gjort analyse på, er 2/7A-11. Dette er en produsent på gassløft med ASCV installert, og det er gass påvist i ringrom A, B og C. En normal analyse gjort i kapittel 2.4.2 viste at denne brønnen hadde følgende sannsynlighet for lekkasje, se tabell 3.1.1:

Detail of analysis for 2/7A-11 - dependent on leak source and rate

| Leak Source | Small leakrate | Medium leakrate | Large leakrate |
|-------------|----------------|-----------------|----------------|
| Annulus A | 7.80E-04 | 3.57E-04 | 3.19E-05 |
| Annulus B | 8.81E-04 | 1.07E-03 | 6.36E-05 |
| Annulus C | 1.42E-03 | 1.33E-03 | 2.04E-03 |
| Reservoir | 1.23E-03 | 6.35E-07 | 4.91E-08 |

Tabell 3.1.1 – Detaljert resultat av analyse på 2/7A-11

Den totale sannsynligheten for lekkasje ble dermed kalkulert til å være 9.2E-03 pr. år.

Følgende komponenter har fått verdier for feilsannsynlighet endret i forhold til standard verdier fra WellMaster databasen. Tabell 3.1.2 viser komponent og feilmodus med tilhørende feilsannsynlighet for normal tilstand, deretter hvordan disse komponentene har fått justert verdiene for den aktuelle brønnen. Dette er markert med at verdiene som er justert står med gul skrift i tabellen.

| | Normal | | | | Well Spes | | |
|---------------|----------|----------|----------|--|-----------|----------|----------|
| | Large | Medium | Small | | Large | Medium | Small |
| AFV_FTC | 2,20E-06 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| DHSV_LCP | 0 | 0 | 7,10E-07 | | 0 | 0 | 1,16E-05 |
| DHSV_FTC | 1,10E-06 | 0 | 0 | | 0 | 0 | 0 |
| PRODCSG_LEAK | 2,87E-07 | 4,10E-08 | 8,20E-08 | | 2,87E-05 | 4,10E-08 | 8,20E-08 |
| TUBBELOW_LEAK | 6,24E-07 | 8,91E-08 | 1,78E-07 | | 6,24E-07 | 8,91E-08 | 0* |

Tabell 3.1.2 – Tabell med komponenter som avviker fra standardverdi – 2/7A-11

0*: Utilgjengeligheten er satt til 1, dvs. at denne alltid feiler

Det vil dermed si at det må kjøres 5 ulike analyser for å se hvordan det vil påvirke resultatet å erstatte en komponent med en feilfri, det vil si å bruke verdiene for en normal komponent.

Ved å kjøre en slik serie med analyse, blir følgende resultat presentert i tabell 3.1.3:

| A.Scen. | Component FailMode | Current analysis | Normal component | Difference | Percent improvement | Rank |
|---------|--------------------|------------------|------------------|------------|---------------------|------|
| 0 | | 9,20E-03 | 9,20E-03 | 0 | | - |
| 1 | AFV_FTC | 9,20E-03 | 9,20E-03 | -7,00E-10 | 0,00 | 4 |
| 2 | DHSV_LCP | 9,20E-03 | 9,16E-03 | 4,56E-05 | 0,50 | 3 |
| 3 | DHSV_FTC | 9,20E-03 | 9,21E-03 | -4,75E-06 | -0,05 | 5 |
| 4 | PRODCSG_LEAK | 9,20E-03 | 8,28E-03 | 9,26E-04 | 10,07 | 2 |
| 5 | TUBBELOW_LEAK | 9,20E-03 | 8,03E-03 | 1,17E-03 | 12,70 | 1 |

Tabell 3.1.3 – Resultat ulike analysescenarier – 2/7A-11

Analysescenario 0 er den opprinnelige analysen for brønnen, der alle de nevnte komponentene er justert pga feil med dem. Deretter er analysescenario 1 analysen der AFV-FTC har blitt justert til å bruke de opprinnelige normale verdiene, og dette gjør at analysen vil gi en sannsynlighet som er $-7,00E-10$ verre enn tilfelle var med at den var justert. Det som er gjort med den, er at den er blitt modellert som at den er innestengt, og dermed er feilsannsynlighet satt til 0. Det er likevel svært liten forskjell på om denne brønnen reflekteres som innestengt eller ikke gjennom å justere AFV-FTC.

Som tabellen ovenfor viser så er det produksjons casing og tubing under DHSV som er de komponentene som lekker, og som vil ha størst potensial dersom disse blir reparert og kan modelleres med normale verdier. For komponenten PRODCSG-LEAK er det en forbedring på ca 10 %, og for TUBBELOW-LEAK er det et forbedringspotensial på ca 12 %.

Det som er viktig å legge merke til er at det er komponentene som lekker i brønnen som er de komponentene som vil forbedre risikoen størst dersom disse blir skiftet ut og erstattet slik at de ikke lenger lekker. Dette er slik virkeligheten er, og dette gir en god grunn til å akseptere analysen som ligger til grunn for 2/7A-11.

Den neste brønnen som det ble kjørt utvidet analyse for er 2/7-07, vanninjeksjonsbrønnen som lekker i produksjons casingen. Dette er gjenspeilet i analysen som at det for denne brønnen er større sannsynlighet for stor lekkasje, som vist i tabell 3.1.4 under.

| | Normal | | | Well Spes | | |
|--------------|----------|----------|----------|-----------|----------|----------|
| | Large | Medium | Small | Large | Medium | Small |
| PRODCSG_LEAK | 1,96E-07 | 2,80E-08 | 5,60E-08 | 1,96E-05 | 2,80E-08 | 5,60E-08 |

Tabell 3.1.4 – Tabell med komponenter som avviker fra standardverdi – 2/7A-07

En analyse av denne brønnen viser at det er $2,02E-03$ sannsynlighet for lekkasje topline, og dersom en kjører en analyse med PRODCASG_LEAK i normal tilstand, vil dette gi følgende resultat presentert i tabell 3.1.5:

| A.Scen. | Component FailMode | Current analysis | Normal component | Difference | Percent improvement | Rank |
|---------|--------------------|------------------|------------------|------------|---------------------|------|
| 0 | | 2,02E-03 | 2,02E-03 | 0 | | - |
| 1 | PRODCSG_LEAK | 2,02E-03 | 2,02E-03 | 1,00E-06 | 0,05 | 1 |

Tabell 3.1.5 – Resultat ulike analysescenarier – 2/7A-07

Analysen viser at det er et forbedringspotensial på 0,05 % dersom PRODCSG_LEAK hadde brukt verdier tilsvarende en optimal og feilfri komponent. I den detaljerte analysen i kapittel 2.3.3 viste det seg at det er påvist gass i ringrom B, og det er bidraget fra ringrom B som fører til sannsynligheten på 2,02E-03. Ved å se på barrieretegningen for en vanninjektor, ser en at produksjons casingen ikke er en del av ringrom B, dvs at bidraget ikke endres fra feiltreet for ringrom B ved å endre på PRODCSG_LEAK.

Kritikalitetsvurdering som nå er presentert og utprøvd på noen brønner, er en mulighet for risikoanalytikere til å sjekke om analysen som er gjort gjenspeiler virkeligheten. Det er slik at en utvidet analyse av en slik komponentvurdering vil gi et bilde av hvilke komponenter som vil bedre lekkasjesannsynligheten mest, og dermed også minske risikoen til brønnen. Dette er nyttig informasjon som videre kan formidles til eiere av brønn, og som vil kunne være med og fortelle noe om risikonivået i en brønn etter et vedlikeholdsarbeid og reparasjon er utført i brønnen. På denne måten vil en slik utvidet analyse kunne sies å være en metode som vil være med og beskrive forbedringspotensialet når det gjelder risikoen som brønnen vil ha. Det er ikke sikkert at det å reparere en bestemt komponent vil ha så mye å si for den totale sannsynligheten, slik som vist i eksempelet for 2/7A-07. Den brønnen vil ikke minske sin sannsynlighet med mer enn ca 1E-06, og dette kan sies å være minimalt. Risikoen til denne brønnen vil heller ligge i at det er påvist gass i ringrom B, og det er faren for en lekkasje i fra dette ringrommet som vil utgjøre en risiko for omgivelsene. Ved å få vekk denne gassen, ville ikke ringrom B ha blitt inkludert i analysen, og da ville bidraget ved å reparere produksjons casingen ha blitt større.

På samme måte som det er interesse for å si noe om komponenters bidrag i analysen med tanke på feilsannsynligheten, vil det også være behov for å se på andre parametere som testintervall og reparasjonstid, og hva dette vil si for risikoen til brønnen. Det høres naturlig ut at ved å korte ned på testintervallet til en komponent som kan testes, så vil dette føre til mindre sannsynlighet for lekkasje. Samtidig vil det å reparere en komponent raskere, på samme måte føre til en lavere sannsynlighet, i og med at komponenten vil ha en lavere utilgjengelighetsfaktor. Ved å innføre mulighet for å analysere sensitiviteten og endring i total lekkasjesannsynlighet på de andre faktorene også, så vil en kunne si hvilke testintervall som vil lønne seg for en komponent, slik at risikoen til brønnen blir lavest mulig. En slik utredning for analyse er ikke beskrevet her, men tanken er at det kan utføres på lignende måte som ved endring av feilsannsynlighet. Analysen må i stedet for å omhandle feilsannsynlighet/utilgjengelighet, presentere et resultat som viser endring i de andre parametere, og hvordan dette påvirker sannsynligheten.

Ved å gjøre en utvidet analyse, der alle komponenter og verdier kan justeres, vil brønneier være i stand til og avgjøre hvordan et problem i en brønn skal angripes. Det er likevel ikke nok å si noe om kun sannsynligheten, men konsekvens og potensiell lekkasjemengde er noe som også vil si noe om risikoen som en brønn utgjør.

3.2. Modellering i ulike lekkasjerater

I risikoanalysen som gjøres i ConocoPhillips er det tatt hensyn til lekkasjerater i modelleringen. Dette betyr at hver brønn får en sannsynlighet for å få en stor, middels eller liten lekkasje, der disse størrelsene som vist tidligere er bestemt ut fra gitte kriterier. Den totale sannsynligheten er summen av sannsynligheten for de ulike lekkasjeratene, og på denne måten presenteres en indikasjon på lekkasjeraten som potensielt kan oppstå.

Et ekstra aspekt med nåværende analyse er at det modelleres i ulike lekkasjerater, noe som også er tidkrevende. Fordelen med en slik modellering er at det avdekkes sannsynlighet for å få forskjellige lekkasjemengder, og det blir gjort klart hvilke feil som vil føre til de ulike lekkasjemengdene. Dette vil i stor grad være av en veldig viktig informasjon, men dette krever store ressurser da det er nødvendig å reflektere i hver komponent fordelingen for de ulike lekkasjeratene. Noen ventiler kan bare få liten lekkasje, da settes dette i WIRA. Der en ventil kan få flere lekkasjemengder, settes en fordeling mellom de ulike lekkasjeratene.

Det kan være interessant å se på om det er nødvendig å modellere i ulike lekkasjerater, og hvorvidt en komponent lekker eller ikke, og dermed få en sannsynlighet for lekkasje som resultat. Ved å endre algoritmen som brukes for beregning av lekkasjesannsynlighet til ikke å dele opp i ulike lekkasjemengder, vil en få følgende resultat presentert i tabell 3.2.1:

| Brønntype | Stor lekkasje | Medium lekkasje | Liten lekkasje | Total (gammel) | Total (alternativ) |
|------------------|----------------------|------------------------|-----------------------|-----------------------|---------------------------|
| Prod WGL (ASV) | 4,09E-05 | 2,29E-04 | 1,14E-03 | 1,41E-03 | 1,41E-03 |
| Prod WGL (ASCV) | 1,33E-05 | 1,17E-04 | 5,93E-04 | 7,23E-04 | 7,23E-04 |
| Prod WOGL | 1,88E-07 | 1,57E-06 | 8,43E-06 | 1,02E-05 | 1,02E-05 |
| WI | 1,46E-07 | 1,98E-06 | 5,59E-06 | 7,72E-06 | 7,72E-06 |
| WI WIV | - | - | 4,98E-03 | 4,98E-03 | N/A* |
| Gass i ringrom B | 6,36E-05 | 1,07E-03 | 8,81E-04 | 2,01E-03 | 2,01E-03 |
| Gass i ringrom C | 2,04E-03 | 1,33E-03 | 1,42E-03 | 4,79E-03 | 4,79E-03 |

Tabell 3.2.1 – Resultat av analyse for hver ulike brønntype

** For brønntypen WI WIV, er resultatet av alternativ beregning ikke tatt med, da det er påvist en feil i feiltremodellen som er benyttet for denne brønntypen.*

Hva kan en da si om det å beregne lekkasjesannsynligheten uten å ta hensyn til lekkasjerater? Ulempen med å dele opp i lekkasjerater er at det blir mange kuttmengder å jobbe med, og lekkasjesannsynlighetene må spesifiseres på lekkasjeratene. Uten å modellere i lekkasjerater ville det ført til færre kuttsatt i modellen, noe som gjør sannsynligheten for feil i modellen og beregningene mindre, men i og med at modellen og beregningene nå kjøres i et dataprogram, er ikke dette noe problem. Kuttmengdene blir satt opp automatisk, og programmet tar seg av disse beregningene. Videre så er det svært sjeldent at lekkasjesannsynlighetene for en komponent endrer seg. Dette virker som en engangsjobb å sette opp, og når det samtidig gjøres i en database, så vil det dermed være lett å vedlikeholde.

Fordelen med å modellere i lekkasjerater er at en får en indikasjon på sannsynlighet for en lekkasje som vil være over gitte kriterier. På denne måten kan man bli oppmerksom på hvilke potensielle farer som ligger i brønnen, og hvilke brønner som har større sannsynlighet for store lekkasjer. Det er ikke gitt at en brønn som totalt sett kommer ut med høy sannsynlighet i forhold til en annen brønn er den verste med tanke på risiko. Det kan være at denne brønnen nesten utelukkende vil gi lav lekkasjerate, og dermed er risikoen for storulykke begrenset i forhold til om den andre brønnen har større sannsynlighet for stor lekkasje. Å dele modellen inn i ulike lekkasjerater vil gi en indikasjon på hvilke brønner som det er høy risiko for å få en stor lekkasje fra. En annen fordel er at det vil bli reflektert på en bedre måte risikoen som er knyttet til ulike komponenter og hvilke bidrag dette gir til den totale sannsynligheten for lekkasje. Det er slik at en trykkmåler med en diameter på 0,5" vil gi en mindre lekkasjerate enn en ventil på 2,5" som står helt åpen. Dermed vil det å kunne angi lekkasjerate være med og gi en bedre beskrivelse av brønnens totale risikobilde.

Det modellen ikke sier noe om er hvordan lekkasjeraten faktisk vil være på et eventuelt ulykkestidspunkt. Lekkasjeraten sier bare noe om en tenkt strømming av hydrokarboner fra brønnen til omgivelsene. Faktisk lekkasjemengde vil også bli påvirket av trykk på ulykkestidspunktet, og dette er noe som per i dag ikke er modellert inn i analysen på en god måte. I kapittel 3.4 vil en diskutere måter å inkludere dette i modellen.

3.3. Sanntidsoppdatering av brønnkomponenters status

En svakhet med dagens system, WIRA, er at det krever at det blir kjørt en ny analyse for hver brønn i hver nye revisjon. Det er ikke slik at den tar vare på dataresultat fra forrige kjøring over til ny revisjon, og dette medfører en tidkrevende prosess. Noe som igjen gjør at det er vanskelig å kjøre full analyse på alle brønnene en gang i halvåret. Her hadde det vært interessant å se på om det er nødvendig med hele analyser for hver brønn i en brønngjennomgang, eller om det hadde vært mulig å få til en prosess som gjør at det er bare brønner som har hatt en svekkelse i systemet som krever en ny analyse. Har det ikke skjedd noe med brønnen siden forrige analyse, da er det heller ikke nødvendig å kjøre en ny analyse; resultatet vil bli det samme.

Det er også et problem at analytikerne er nødt til å hente ut rapporter på status for de ulike sikkerhetskritiske komponentene på egen hånd. Dette kan gjøres med å gå inn i SAP direkte, få informasjon i møter med brønningeniør eller på en annen måte. Det viktigste er uansett at de som skal utføre analysen er nødt til å innhente status på hver brønn manuelt i forkant av hver nye analyse som skal kjøres. Det er kun på denne måten at det er mulig å få reflektert tilstanden til en brønn slik at dette fanges opp i analysen.

Med utgangspunkt i at det i dag legges inn testresultat i SAP, er det fullt mulig å hente ut rapporter for hver enkelt brønn som viser siste testresultat, og dato for utførelse. Ved å kunne hente dette automatisk, vil det bli spart tid av de som skal gjøre risikoanalysen, og det er mulig å oppnå en mer effektiv prosess. Dette vil igjen bidra med at det er mulig å kunne bruke mer tid på andre kritiske oppgaver i analysen, som for eksempel å vurdere data for feilsannsynlighet til komponenter som er av høy kritikalitet. Et eksempel på en rapport som viser siste oppdaterte status på tester er vist i tabell 3.3.1. Rapporten er hentet fra Brønnintegritet sin portal, og er fullt mulig å linke inn til fra WIRA. På denne måten vil det være mulig å få en status om alle komponenter sin teststatus. Som eksempelet viser, så er det ikke godkjent en ANNULUS A og GLV test. Informasjon om tidspunkt for forrige aksepterte test, og eventuelt om det er planlagt en ny dato for test av komponenten, blir også presentert i tabellen under. Det som raskt kan leses ut av denne rapporten for 2/7A-11, er at det er en normal brønn som er på gassløft med ASCV installert, og at det i første omgang er feil med Annulus A og GLV. Dette kan indikere at det er kommunikasjon mellom ringrom og tubing, og at det er nødvendig å inkludere feiltre for ringrom A i selve analysen.

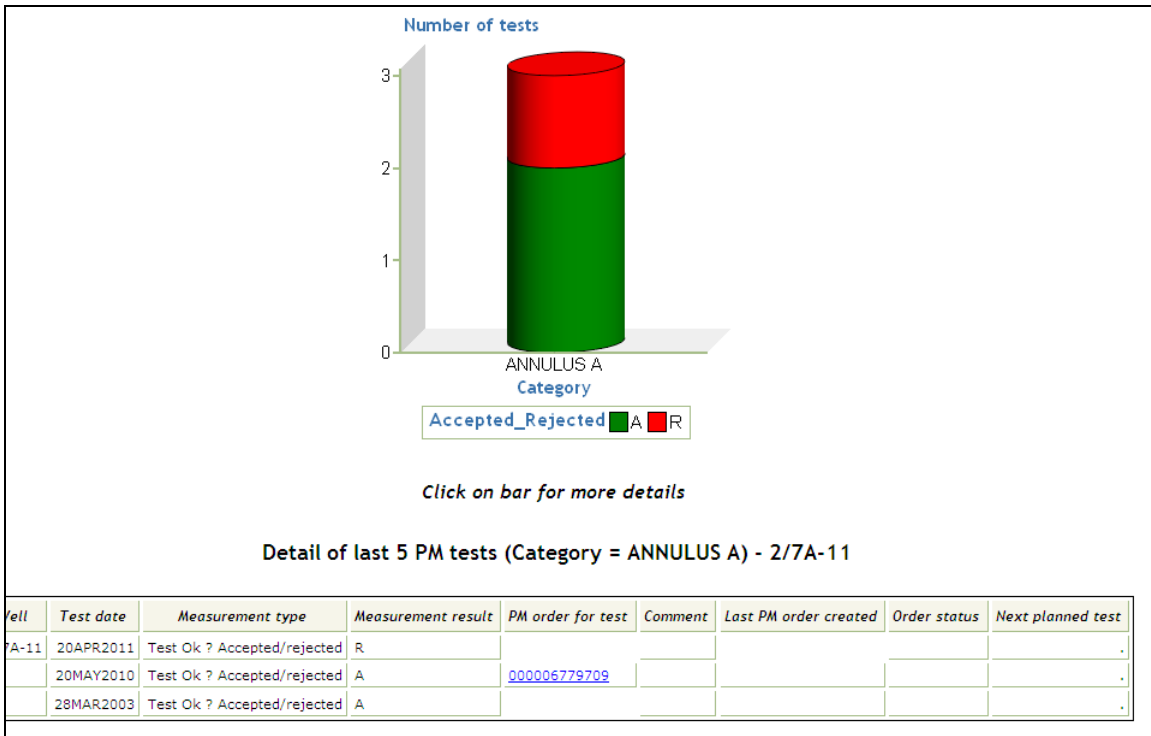
| 2/7A-11 - Last PM test | | | | | | |
|------------------------|-----------|----------------|------------------|--------------|-------------------------|-------------------|
| Well | Category | Last Test Date | Last Test Result | Test Comment | Last Accepted Test Date | Next Planned Test |
| 2/7A-11 | AFV | 05OCT2010 | 1 | ● | 05OCT2010 | . |
| 2/7A-11 | ANNULUS A | 20APR2011 | -1 | ● | 20MAY2010 | . |
| 2/7A-11 | ANNULUS B | 20APR2011 | 1 | ● | 20APR2011 | . |
| 2/7A-11 | ANNULUS C | 20APR2011 | 1 | ● | 20APR2011 | . |
| 2/7A-11 | ANNULUS D | 20APR2011 | 1 | ● | 20APR2011 | . |
| 2/7A-11 | ASCV | 11MAR2011 | 1 | ● | 11MAR2011 | . |
| 2/7A-11 | ASV | . | 0 | ● | . | . |
| 2/7A-11 | AWV A | 05OCT2010 | 1 | ● | 05OCT2010 | . |
| 2/7A-11 | AWV B | 05OCT2010 | 1 | ● | 05OCT2010 | . |
| 2/7A-11 | AWV C | 05OCT2010 | 1 | ● | 05OCT2010 | . |
| 2/7A-11 | AWV D | 05OCT2010 | 1 | ● | 05OCT2010 | . |
| 2/7A-11 | DHSV | 16MAR2010 | 1 | ● | 16MAR2010 | . |
| 2/7A-11 | GLV | 23AUG2010 | -1 | ● | 20MAY2010 | . |
| 2/7A-11 | MMV | 05OCT2010 | 1 | ● | 05OCT2010 | . |
| 2/7A-11 | PWV | 05OCT2010 | 1 | ● | 05OCT2010 | . |
| 2/7A-11 | SWAB | 05OCT2010 | 1 | ● | 05OCT2010 | . |
| 2/7A-11 | SWV | 05OCT2010 | 1 | ● | 05OCT2010 | . |
| 2/7A-11 | XMV | 05OCT2010 | 1 | ● | 05OCT2010 | . |

Tabell 3.3.1 – Vedlikeholdstester på 2/7A-11 hentet fra brønnintegritet sin SAS portal

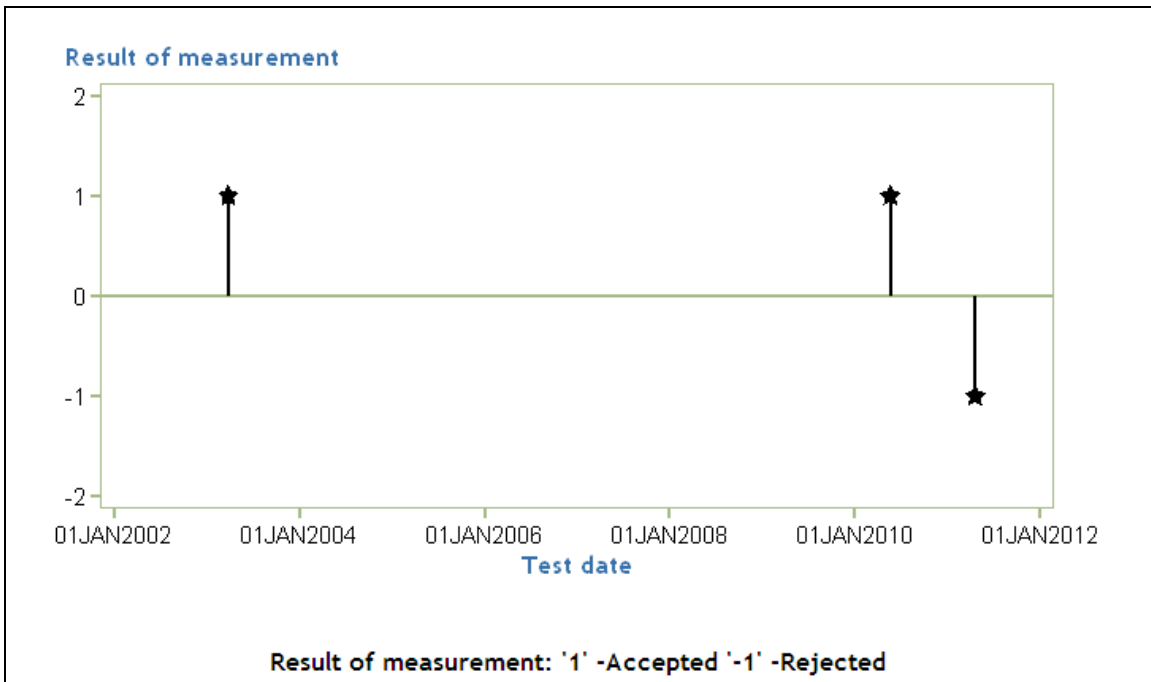
Som et tillegg til denne rapporten er det mulig å hente ut trend på status til komponent. Dette er vist i figur 3.3.1, og viser alle testene som er utført på denne komponenten, i dette tilfellet er det Annulus A test. Rapporten viser 3 tester totalt, der 2 grønne indikerer 2 aksepterte tester, og den siste som en avslått/avvist test. I en seksjon under søylen vises en tabell som inneholder litt mer informasjon om de ulike testene, og der det er mulig å linke seg inn i SAP og se på den aktuelle testen.

Den siste måten å se testene på er i et mer tidsperspektiv, der testene er plottet inn på tidsaksen, og resultatet for testen bestemmer positiv eller negativ punkt i grafen.

Eksempel på dette er vist i figur 3.3.2.



Figur 3.3.1 – Detaljert resultat av vedlikeholdstest av annulus A på 2/7A-11



Figur 3.3.2 – Historiske resultat av vedlikeholdstest på 2/7A-11

Ved å ha tilgang til slike rapporter, er det mulig å få en oppdatert status på sikkerhetskritiske komponenter som det er krav om å teste og vedlikeholde. Men for å slippe å hente opp de samme rapportene til hver analyse, vil det være interessant å se på endringer siden forrige analyse. Det vil si at det kan være mulig å få en rapport som viser hvilke komponenter som har et annet resultat siden forrige ventiltester ble utført. Nedenfor er et forslag til ny rapport presentert, utviklet i Enterprise Guide. Rapporten i tabell 3.3.2 viser, for hver brønn på ELDA, hvilke komponenttester som har et annet resultat siden forrige test.

| Last PM Test | | | | | | | |
|--------------|------------------|----------------------|-------------------------|-------------|--|----------------|------------------|
| WELL_ID | CATEGORY_TYPE_CD | FUNC_LOC_NM | Date of the Measurement | Test result | Measurement Document Text | Last test date | Last test result |
| 2/7A-01 | AWV A | BD/ELDA/87 901203 | 25SEP2010 | R | | 06SEP2009 | A |
| | PWV | BD/ELDA/87 901350 | 24SEP2010 | R | | 21SEP2009 | A |
| 2/7A-02 | ASV | BD/ELDA/91 ASV-7102 | 24FEB2011 | R | | 23AUG2010 | A |
| 2/7A-04 | ANNULUS A | BD/ELDA/61 5061 | 26SEP2010 | A | | 02APR2008 | R |
| | ANNULUS C | BD/ELDA/61 5061C | 26SEP2010 | A | | 02APR2008 | R |
| 2/7A-10 | GLV | BD/ELDA/87 GLV-05632 | 21DEC2010 | R | | 10JUL2010 | A |
| 2/7A-11 | ANNULUS A | BD/ELDA/61 5068 | 20APR2011 | R | | 20MAY2010 | A |
| | GLV | BD/ELDA/87 GLV-05633 | 23AUG2010 | R | | 20MAY2010 | A |
| 2/7A-16 | ASV | BD/ELDA/91 ASV-7116 | 16DEC2004 | R | ASV lekket 90,95 scf/min | 02JUN2004 | A |
| | SWAB | BD/ELDA/87 916342 | 01JAN2011 | R | Det bygde 301 psi på 10 min, not skrevet | | . |
| 2/7A-17 | ASV | BD/ELDA/91 ASV-7117 | 18JAN2011 | R | | | . |
| | GLV | BD/ELDA/87 GLV-05637 | 02JAN2011 | R | Målt med LMS, lekkrate 29,86 scfm | 15JAN2010 | A |
| 2/7A-18 | ANNULUS A | BD/ELDA/61 5075 | 30MAY2011 | R | | | . |
| | GLV | BD/ELDA/87 GLV-05638 | 27MAY2011 | R | | 24MAY2010 | A |
| 2/7A-19 | ANNULUS A | BD/ELDA/61 5076 | 30MAY2011 | R | | 10NOV2009 | A |
| | AWV B | BD/ELDA/87 919202 | 30MAY2011 | A | | 10NOV2009 | R |
| | MMV | BD/ELDA/87 919320 | 04FEB2011 | A | | 13NOV2010 | R |
| 2/7A-21 | SWAB | BD/ELDA/87 921342 | 15MAR2011 | R | | | . |
| | XMV | BD/ELDA/91 XMV-8521 | 15MAR2011 | R | | | . |
| 2/7A-22 | SWV | BD/ELDA/87 922341 | 21MAR2011 | A | | 15AUG2010 | R |
| 2/7A-24 | ANNULUS A | BD/ELDA/61 5081 | 06APR2007 | R | | 02OCT2006 | A |
| | ASV | BD/ELDA/91 ASV-7124 | 06APR2007 | R | | 02OCT2006 | A |
| 2/7A-25 | ANNULUS A | BD/ELDA/61 5082 | 06MAY2011 | A | | 16APR2011 | R |
| | ASCV | BD/ELDA/87 05553 | 22SEP2009 | A | ok test | 17MAR2008 | R |
| | MMV | BD/ELDA/87 925320 | 05APR2011 | R | skrevet notifikasjon på ventilen:4787691 | | . |
| 2/7A-26 | ASV | BD/ELDA/91 ASV-7126 | 06MAY2011 | R | | | . |
| 2/7A-28 | ANNULUS B | BD/ELDA/61 5085B | 29MAY2011 | R | komminikasjon.HASCV innstalert | 13JUL2010 | A |
| | AWV C | BD/ELDA/87 928201 | 29MAY2011 | R | ASCV instalert | | . |
| 2/7A-29 | ASV | BD/ELDA/91 ASV-7129 | 31DEC2007 | R | | 13JUL2007 | A |

Tabell 3.3.2 – Detaljert resultat av endringer i vedlikeholdstest på ELDA

Samme rapport kan gjøres enda enklere ved å be om alle tester gjort siden forrige risikoenalyse. På ELDA ble forrige risikoenalyse gjort i desember 2010, så ved å be om alle etter 1.desember 2010, blir rapporten som vist i tabell 3.3.3:

| Last PM Test | | | | | | | |
|--------------|------------------|----------------------|-------------------------|-------------|--|----------------|------------------|
| WELL_ID | CATEGORY_TYPE_CD | FUNC_LOC_NM | Date of the Measurement | Test result | Measurement Document Text | Last test date | Last test result |
| 2/7A-02 | ASV | BD/ELDA/91 ASV-7102 | 24FEB2011 | R | | 23AUG2010 | A |
| 2/7A-10 | GLV | BD/ELDA/87 GLV-05632 | 21DEC2010 | R | | 10JUL2010 | A |
| 2/7A-11 | ANNULUS A | BD/ELDA/61 5068 | 20APR2011 | R | | 20MAY2010 | A |
| 2/7A-16 | SWAB | BD/ELDA/87 916342 | 01JAN2011 | R | Det bygde 301 psi på 10 min, not skrevet | . | . |
| 2/7A-17 | ASV | BD/ELDA/91 ASV-7117 | 18JAN2011 | R | | . | . |
| | GLV | BD/ELDA/87 GLV-05637 | 02JAN2011 | R | Målt med LMS, lekkrate 29,86 scfm | 15JAN2010 | A |
| 2/7A-18 | ANNULUS A | BD/ELDA/61 5075 | 30MAY2011 | R | | . | . |
| | GLV | BD/ELDA/87 GLV-05638 | 27MAY2011 | R | | 24MAY2010 | A |
| 2/7A-19 | ANNULUS A | BD/ELDA/61 5076 | 30MAY2011 | R | | 10NOV2009 | A |
| | AWV B | BD/ELDA/87 919202 | 30MAY2011 | A | | 10NOV2009 | R |
| | MMV | BD/ELDA/87 919320 | 04FEB2011 | A | | 13NOV2010 | R |
| 2/7A-21 | SWAB | BD/ELDA/87 921342 | 15MAR2011 | R | | . | . |
| | XMV | BD/ELDA/91 XMV-8521 | 15MAR2011 | R | | . | . |
| 2/7A-22 | SWV | BD/ELDA/87 922341 | 21MAR2011 | A | | 15AUG2010 | R |
| 2/7A-25 | ANNULUS A | BD/ELDA/61 5082 | 06MAY2011 | A | | 16APR2011 | R |
| | MMV | BD/ELDA/87 925320 | 05APR2011 | R | skrevet notifikasjon på ventilen:4787691 | . | . |
| 2/7A-26 | ASV | BD/ELDA/91 ASV-7126 | 06MAY2011 | R | | . | . |
| 2/7A-28 | ANNULUS B | BD/ELDA/61 5085B | 29MAY2011 | R | komminikasjon.HASCV innstalert | 13JUL2010 | A |
| | AWV C | BD/ELDA/87 928201 | 29MAY2011 | R | ASCV instalert | . | . |

Tabell 3.3.3 – Detaljert resultat av endringer i vedlikeholdstest på ELDA siden forrige analysedato

Nå er alle komponenter som er blitt testet etter 1. desember 2010 og som har et annet resultat enn forrige test blitt listet opp i en liten rapport. Dette kan nå være input til analytiker som skal gjennomføre risikoanalysen, og indikere hvilke endringer som har skjedd siden forrige gang. Spørsmål som analytikerne da kan stille seg, er blant annet hva som skal gjøres med de brønnene som ikke er nevnt i rapporten. Dersom det ikke er skjedd noen endring i status på komponentene, da er det jo ikke hensiktsmessig å kjøre en ny analyse. Dersom resultatet fra forrige analyse blir kopiert med en kommentar om at ingen endring er skjedd i brønn siden forrige analyse, da er det mulig å effektivisere arbeidet betraktelig.

På samme måte vil rapporten indikere hvilke brønner og komponenter som bør vurderes å endre feilsannsynligheten på. Som eksempel viser det seg nå at MMV på brønn 2/7A-19 har fått akseptert sin test siden forrige test utført i november 2010. Dersom analytikeren går inn i WIRA og ser på denne komponenten, så viser det seg at denne har feilsannsynlighet som indikerer at det er problem med denne. Nå er det bare for analytikeren å sette dette tilbake til standard verdier fra testdato, og kjøre en ny analyse.

I etterkant av ventiltest der det er avdekket en feil, vil det bli opprettet en notifikasjon som skal beskrive en utbedring som er nødvendig. Dette gjøres med å opprette en ZB-notifikasjon dersom det er et barrierebrudd som er tilfellet. Det opprettes en Z3-notifikasjon om det er et avvik i brønnen som det må utbedres, og en M1-notifikasjon

dersom det er en jobb som må utføres for å bedre noe. På samme måte som ved ventiltester, kan det være mulig å hente ut nye notifikasjoner som er opprettet siden forrige analyse, og på denne måten gi en indikasjon på nye forhold som er skjedd med brønnen. Under i tabell 3.3.4 er et eksempel som lister opp alle åpne notifikasjoner av typen ZB og Z3 på dette tidspunktet. Det som er spesielt med dem er at de er åpnet siden 1. desember 2010.

| New notifications - after 01Dec2010 | | | | | | | | |
|-------------------------------------|------------------|------------------------|---------------------|--|-------------------|---------------------------|-------------------------------------|-------------------------------|
| Well id | CATEGORY_TYPE_CD | Functional location | Notification number | Short text | Notification type | Date notification created | Date for completion of notification | Notification Item Description |
| 2/7A-21 | DHSV | BD/ELDA/91 DHV-8421 | 000014332605 | Fors. utf. av 8057588 DHSV feilet A-21 | Z3 | 12APR2011 | . | |
| 2/7A-21 | DHSV | BD/ELDA/91 DHV-8421 | 000014260551 | DHSV feilet på A-21 | ZB | 27FEB2011 | . | |
| 2/7A-21 | XMV | BD/ELDA/91 XMV-8521 | 000014135076 | ZB - XMV lekker over kriterie A-21 | Z3 | 12DEC2010 | . | |
| 2/7A-25 | ANNULUS A | BD/ELDA/61 5082 | 000014128112 | Z3 - A-25 ref ZB 14068663 tbg-ann | Z3 | 07DEC2010 | . | |
| 2/7A-26 | ASV | BD/ELDA/91 ASV-7126 | 000014373518 | ZB:Ventil stengt ikke | ZB | 10MAY2011 | . | |
| 2/7A-29 | | BD/ELDA/010/61 0A29 | 000014240468 | P: Lekasje i flens D/s Kryss A-29 | ZB | 15FEB2011 | . | |
| 2/7A-29 | | BD/ELDA/010/61 0X29 | 000014306203 | Awik ZB 14240468, Lekk flensKryss A-29 | Z3 | 27MAR2011 | . | |

Tabell 3.3.4 – Detaljert resultat av nye notifikasjoner på ELDA (zb og z3)

Denne rapporten kan også utvides til å vise lukkede notifikasjoner etter 1. desember, og som dermed vil indikere at en forbedring er utført i brønnen. Dette er informasjon som det ofte kan være tungvint å hente ut, og som krever både tid og ressurser.

Det er blitt beskrevet noen enkle rapporter som det er mulig å inkludere i WIRA, slik at den som skal gjennomføre analysen kan få informasjon som vil påvirke prosessen til å bli mer effektiv. Alt kan ikke automatiseres, men ved noen enkle grep er det mulig at en status på endringer vil kunne være lett tilgjengelig fra WIRA. Dette vil igjen føre til en raskere og bedre analyse, og det er lettere og ha tiltro til resultatet som analysen vil gi.

3.4. Risikovurdering som også reflekterer konsekvens

3.4.1. Risikovurdering som reflekterer konsekvens og lekkasjesannsynlighet

Dagens metode beskriver ikke godt muligheten for ulike konsekvenser dersom en lekkasje inntreffer. Resultatet er gitt som sannsynlighet for lekkasje fordelt på ulike initielle lekkasjerater, men sier ikke noe om hvor mye som vil lekke ut. Konsekvensen av en lekkasje av en gassky på 1 kg kan være forskjellig fra en gassky på 100 kg, for eksempel vil sannsynligheten for antenning øke dramatisk ved økende gassky, og eksplosjonslastene vil også øke ved økende gassky.

Resultatene fra WIRA gis som sannsynligheten for å få en stor, medium og liten lekkasje, og gir dermed en indikasjon for konsekvensen dersom en lekkasje inntreffer. Det som ikke er reflektert i analysen er hvor mye gass som potensielt kan lekke ut, og dermed øke risikoen for en brønn. Er det nødvendig å si at en brønn har stor sannsynlighet for å få en lekkasje, dersom det er minimalt med gass som kan lekke ut? Og dersom det er potensielt mye gass i ringrom, hvordan vil risikoen bli reflektert dersom sannsynligheten for lekkasje er forskjellig?

For å gi en bedre beskrivelse av risiko for hver brønn bør konsekvens av lekkasje fra brønnen beskrives i tillegg til sannsynlighetsvurderingen. Strømningsraten eller utblåsningspotensialet av hydrokarboner fra reservoaret vil variere for ulike brønner. For brønner med hydrokarboner i ringrom er det viktig at mengde hydrokarboner som potensielt kan lekke ut vurderes. Det er også viktig at lekkasje fra reservoaret og lekkasje fra ringrom vurderes sammen. I denne oppgaven er det bare valgt å se på gass som kan lekke fra reservoaret og i fra ringrommet. Dette er en forenkling som er gjort i og med at det er størst fare forbundet med lekkasje av gass.

For brønner med gass i ringrom må mengde hydrokarboner/gass som kan lekke ut angis. Brønner på gassløft har ringrom A fylt av gass og mengden gass er kjent. For brønner som har utilsiktet gass i ringrom vil mengde hydrokarboner/gass være usikker, men kan estimeres basert på målinger som sier noe om hvor langt nede i ringrommet væskespeilet ligger, og fra avblødninger der det angis hvor lang tid det tar å blø ned trykket i ringrommet. Tabell 3.4.1 viser mengde gass i ringrom på utvalgte brønner på 2/7A. 2/7A-01, 18 og 28 er brønner med gassløftringrom, dermed er det angitt at det alltid vil være fylt med gass i ringrommet. Maks antall kg er benyttet og for disse brønnene vil det være omkring 12 000 kg gass.

| Brønn | Ringrom A - kg | Ringrom B - kg | Ringrom C - kg |
|---------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 2/7A-01 | 12 000 | 29 | 0 |
| 2/7A-04 | 0 | 53 | 0 |
| 2/7A-07 | 0 | 9 | 0 |
| 2/7A-18 | 12 000 | 205 | 0 |
| 2/7A-28 | 12 000 | 2393 | 0 |

Tabell 3.4.1.1 – Påvist gassmengde i utvalgte ringrom

Utblåsningspotensialet i en brønn kan beregnes i simuleringsprogrammet WellFlow, og angis i antall millioner standard kubikkfot per dag. Initiell lekkasjerate angis i kg/s i WIRA og for å regne MMSCFD om til kg/s, benyttes følgende formel:

$$1\text{MMSCFD} = \frac{MW}{72,2826\text{kg/s}}$$

der MW = molekylvekten i kg/kmol til gassen som det skal beregnes lekkasjeraten for.

Et eksempel på dette er gjort ved å få utblåsningspotensialet fra WellFlow for 5 brønner på Eldfisk Alfa. Disse resultatene er gjengitt i tabellen nedenfor, med molekylvekt og omregning til kg/s også i tabellen. Det har ikke vært mulig å få tak i en korrekt og eksakt molekylvekt, derfor er det blitt benyttet en verdi på 18 kg/kmol, som ikke er urimelig da tettheten til gass i reservoaret ligger på rundt 0,8, og dermed tilsvarer dette en molekylvekt på ca 18. Utblåsningsrate i kg/s for noen utvalgte brønner på 2/7A er angitt i fjerde kolonne i tabell 3.4.2. Merk at dette angir utblåsningsrate dersom fluid strømmer fritt fra reservoaret uten å bli begrenset av utstyr i brønnen, som for eksempel ventiler som stenger delvis. Til slutt er det blitt gjort en omregning til hva dette vil tilsvare i gassmasse som lekker ut etter en time. Med tanke på personellrisiko er utblåsningsraten og total mengde den første timen viktigst fordi etter en time skal personell ha rømt til sikkert område på plattformen og hvis nødvendig ha evakuert plattformen. Det vil også være rett å anta at gassen vil kunne ha tilnærmet lik lekkasjerate den første timen, slik at det er mulig å regne ut tilnærmet mengde gass i kg. Total mengde hydrokarboner som lekker ut i løpet av den første timen er angitt i tabell 3.4.2 femte kolonne.

| Brønn | MMSCFD | MV (kg/kmol) | kg/s | kg (1time) |
|---------|--------|-----------------|------|------------|
| 2/7A-01 | 0,8 | 18 | 0,20 | 717 |
| 2/7A-18 | 0,9 | 18 | 0,22 | 806 |
| 2/7A-26 | 0,5 | 18 | 0,13 | 448 |
| 2/7A-28 | 2,7 | 18 | 0,67 | 2420 |
| 2/7A-30 | 3,0 | 18 | 0,75 | 2689 |

Tabell 3.4.1.2 – Gassmengde som potensielt kan lekke fra reservoar første time

Resultatene viser at det kan være vanskelig å få en stor lekkasjerate fra reservoaret. Det viser også at total mengde hydrokarboner fra en utblåsning vil være i samme størrelsesorden som lekkasjer fra gassløftringrom og andre ringrom.

Ved å benytte sannsynlighet for lekkasje neste år og multiplisere dette med mengde gass som kan lekke ut, vil resultatet være et anslag på mengde gass som vil lekke ut fra en brønn på et år. Mengde gass per år kunne bli brukt som et mål på risiko, men vil nødvendigvis ikke være et godt mål på personellrisiko. Dette reflekterer ikke risiko på en god måte, i og med at det ikke nødvendigvis er slik at risikoen er proporsjonal med mengde gass som lekker ut. Ved små mengder gass som lekker ut, er det også lavere sannsynlighet for antennelse og lavere konsekvens dersom en antennelse skjer. Dermed vil et anslag på mengde gass som potensielt kan lekke ut i løpet av et år ikke si så mye om personellrisiko. For å få et bedre mål på personellrisiko vil det være nødvendig å innføre grupper på vurdering av konsekvens, slik at det er mulig å skille på ulike kategorier av konsekvens.

Ved å bruke resultatene av gassvolum i reservoar og ringrom, kan dette overføres til en rangering fra 1-5, der 1 vil være lavest konsekvens. Det er gjort en vurdering om at 100 kg er en grense som skiller mellom hendelser som helt sikkert vil holde seg i området og hendelser som kan true brann- og eksplosjonsskinner. Det er vanlig å kreve at prosesselementer skal ha trykkavlastning dersom massen gass overstiger 300 kg, så derfor er denne vurdert som en god grense for neste nivå. Når det gjelder vanninjeksjonsbrønner, så vil det fra disse brønnene ikke være mulig å simulere et utblåsningspotensial. Likevel må det antas at det vil være mulig at det kan komme gass fra reservoaret dersom brønnen skulle få en lekkasje. Dermed vurderes denne som en konsekvens i kategori 2, der dette ikke blir vektet som det mest alvorlige tilfellet, men likevel ikke som den med lavest konsekvensen. Det er uansett behov for å vurdere om dette er en god nok refleksjon av vanninjeksjonsbrønner og vurdering av konsekvens fra reservoaret. De høyeste kategoriene vil være mest interessante for miljørisiko og økonomisk risiko (tap av plattform)

Basert på estimert mengde gass som kan lekke ut fra hver brønn kan brønnen bli kategorisert fra 1-5, der 5 er høyest konsekvenspotensial. For en vurdering av kategoriene som benyttes, kan følgende beskrivelser bli brukt på de ulike kategoriene.

- 1: Hendelse som kan true personell i omgivelsene
- 2: Mulighet for eksplosjon som kan true personell i omgivelser
- 3: Hendelse som kan true andre områder
- 4 og 5: Hendelse som kan true plattformen

| Konsekvensvurdering | | | | | |
|---------------------|----------------------------------|------------|-----------------|--------|--|
| | | | Gassmengde (kg) | | |
| 0 -100 | 100 – 300 og WI(reservoar) | 300 - 1000 | 1000- 5000 | > 5000 | |
| 1 | 2 | 3 | 4 | 5 | |

Tabell 3.4.1.3 – Risikomatrix for konsekvensvurdering – gass fra ulike lekkasjekilder

Med utgangspunkt i foreslått tabell 3.4.1.3, er det dermed mulig å gjøre en konsekvensvurdering av utvalgte brønner på Eldfisk Alfa. Tabell 3.4.1.4 under viser resultatet for hver brønn som er benyttet i analysen. Tabellen viser brønn, mengde gass i lekkasjekilde, og overført hva dette gir av konsekvensvurdering. Som tabellen viser er det slik at brønnene som har gass i ringrom A, som følge av at disse brønnene er på gassløft, er de brønnene med størs konsekvenspotensial. 12 000 kg gass i ringrom A fører til konsekvensvurdering 5. 2/7A-18 vurderes til konsekvens 2 i ringrom B, på grunn av 205 kg gass i ringrommet. 2/7A-28 får en verre konsekvensvurdering siden det er beregnet en gassmengde på over 2300 kg i dette ringrom. Dette fører til konsekvensvurdering 4. Ingen av brønnene har påvist gass i ringrom C, og dermed er ikke disse vurdert slik at lekkasje kan gi noen konsekvens, angitt som 0 i tabellen.

| Brønn | Reservoar – kg | Kons. | Ringrom A - kg | Kons. | Ringrom B - kg | Kons. | Ringrom C - kg | Kons. |
|---------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|-------------------|-------|
| 2/7A-01 | 717 | 3 | 12 000 | 5 | 29 | 1 | 0 | 0 |
| 2/7A-04 | WI | 2 | 0 | 0 | 53 | 1 | 0 | 0 |
| 2/7A-07 | WI | 2 | 0 | 0 | 9 | 1 | 0 | 0 |
| 2/7A-18 | 806 | 3 | 12 000 | 5 | 205 | 2 | 0 | 0 |
| 2/7A-28 | 2420 | 4 | 12 000 | 5 | 2393 | 4 | 0 | 0 |

Tabell 3.4.1.4 – Resultat konsekvensvurdering av ringrom som lekkasjekilde

Disse resultatene viser at reservoar kan gi store konsekvenser ved en lekkasje, noe som er rimelig å anta dersom en utblåsning skulle skje. Det ser også ut til at vanninjeksjonsbrønner vil ha en lavere konsekvens fra reservoar enn andre typer brønner. Det vil også være riktig å anta dette. Det er blitt beskrevet at det vil komme vann gjennom brønnen, men at det potensielt kan være litt gass blandet med vann. Dermed ignoreres ikke konsekvensen fra vanninjektorer. I eksempelet er det inkludert gassløftbrønner, og det er slik at gassløft-ringrom blir vurdert til verste konsekvens, noe som er riktig å anta i og med at dette ringrommet vil være fylt opp med gass. Det er i midlertidig mer variert vurdering av konsekvens dersom det skjer en lekkasje i ringrom B. Her vil mengde gass variere i større grad, og dette vil få betydning for hvordan konsekvensen blir vurdert.

Det er rimelig at en utblåsning fra en brønn er sammenlignbar med en lekkasje fra et ringrom i en annen brønn, siden begge deler er hydrokarbonlekkasje som kan antenne og gi en mulig brann/eksplosjon. En utblåsning eller lekkasje fra et ringrom vil i begge tilfellene, som konsekvensvurderingen har vist, være i samme størrelsesorden innenfor den første timen, og dette er også noe som er viktig å bruke som argument for at det er mulig å anta at en utblåsning fra en brønn er sammenlignbar med en lekkasje fra et ringrom.

Kombinert med vurderingen av sannsynlighet for lekkasje kan denne konsekvensvurderingen bli brukt for å kunne vurdere personellrisiko forbundet med en brønn. Dette kan muligens gi et enda klarere risikobilde mellom de ulike brønnene og installasjoner. Det vil bli presentert et forslag til metode for forenklet risikorangering av brønner i drift.

Konsekvens av lekkasje fra hver brønn er reflektert som konsekvenskategorier 1-5. For å si noe om risikoen forbundet med en brønn kan konsekvenskategori kombineres med sannsynlighet for lekkasje. Nedenfor i tabell 3.4.1.5 er matrisen som er foreslått brukt for å vurdere risikoen fra de ulike lekkasjekildene. Det er foreslått en skala for absolutt sannsynlighet for lekkasje ut ifra å benytte hele skalaen som resultatene ligger i. Dermed vil en lekkasjesannsynlighet som er større enn E-03 pr. år havne på nederste linje, noe som indikerer at dette er den verste sannsynligheten som vurderes. Alle sannsynligheter som er mindre enn E-06 pr. år vil bli betraktet som den beste sannsynligheten for lekkasje som vurderes. Det er i midlertidig viktig å understreke at skalaen som benyttes kan være annerledes, men dette er et forslag til hvordan det på en god måte er mulig å reflektere risiko forbundet til ulik lekkasjemengde.

Risikomatriksen for risikovurdering er foreslått slik:

| | | Konsekvensvurdering | | | | |
|---------------------------|--------------------|----------------------------|----------|----------|----------|----------|
| | | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| | < E-06 | 1 | 2 | 3 | 4 | 5 |
| P (lekkasje/år) | E-05 - E-06 | 2 | 4 | 6 | 8 | 10 |
| | E-04 - E-05 | 3 | 6 | 9 | 12 | 15 |
| | E-03 - E-04 | 4 | 8 | 12 | 16 | 20 |
| | > E-03 | 5 | 10 | 15 | 20 | 25 |

Tabell 3.4.1.5 – Matrise for risikovurdering fra bestemt lekkasjekilde

Matrisen vil gi en vurdering av risiko mellom 1 og 25, og dette gjelder for en bestemt lekkasjekilde. Det vil si at det må gjøres en vurdering for reservoar, i tillegg for hvert enkelt ringrom dersom det her er påvist gass som kan lekke.

| Brønn | Lekkasjekilde | Sannsynlighet lekkasje / år | Konsekvens | Risiko |
|---------|---------------|-----------------------------|------------|-----------|
| 2/7A-01 | Reservoar | 1,32E-04 | 3 | 9 |
| | Annulus A | 1,17E-03 | 5 | 20 |
| | Annulus B | 2,01E-03 | 1 | 4 |
| 2/7A-04 | Reservoar | 1,39E-05 | 2 | 4 |
| | Annulus B | 2,01E-03 | 1 | 4 |
| 2/7A-07 | Reservoar | 8,72E-06 | 2 | 2 |
| | Annulus B | 2,01E-03 | 1 | 4 |
| 2/7A-18 | Reservoar | 7,97E-06 | 3 | 3 |
| | Annulus A | 1,41E-03 | 5 | 20 |
| | Annulus B | 2,01E-03 | 2 | 8 |
| 2/7A-28 | Reservoar | 2,38E-05 | 4 | 8 |
| | Annulus A | 1,50E-03 | 5 | 20 |
| | Annulus B | 7,95E-04 | 4 | 12 |

Tabell 3.4.1.6 – Risikovurdering for ulike brønner – fra bestemt lekkasjekilde

Tabell 3.4.1.6 viser risikovurdering fra hver enkelt lekkasjekilde for ulike brønner. Som tabellen viser, så er det gassløftbrønnene med maksimum med gass i annulus A, som er den kilden som det er knyttet størst risiko til. Dette indikerer videre at det er sannsynligheten for lekkasje i ringrom som dominerer risikobildet. Dette må sies å stemme med virkeligheten, da det er større sannsynlighet for lekkasje fra ringrom enn fra reservoaret og gassmengden er sammenlignbar. Det er videre interessant å se på hva resultatet blir for brønnen 2/7A-04, der risikoen ender opp med 4 både fra reservoar og ringrom B. Grunnen til dette er rimelig å anta og stemme, i og med at det er mer gass i fra reservoaret enn fra ringrom B som kan lekke, ref tabell 3.4.1.4. Det er likevel lavere sannsynlighet for lekkasje fra reservoaret enn tilfellet er for lekkasje fra ringrom B, ref. tabell 3.4.1.6, og dette vil føre til en lik vurdering av risiko, nemlig 4.

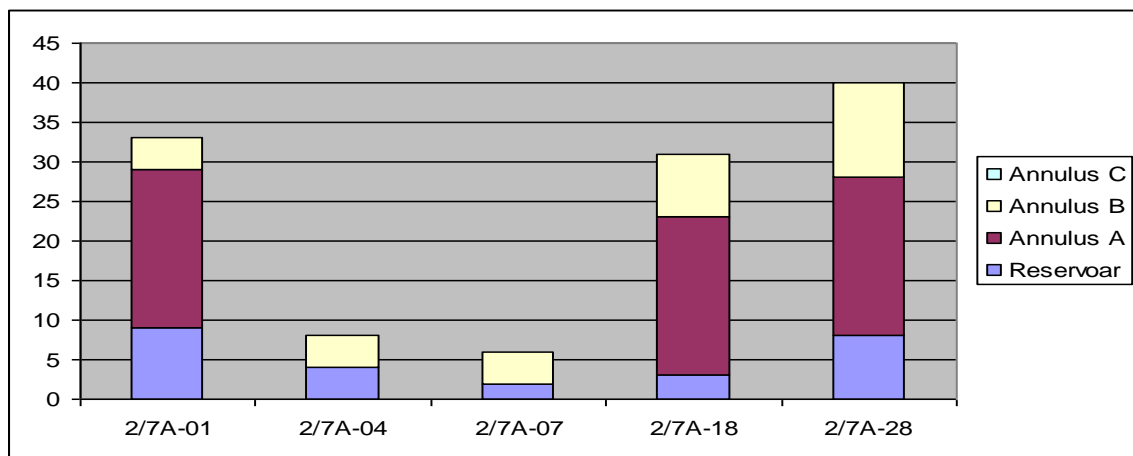
Ved å se nærmere på hva risikovurderingen 3 for reservoaret i brønn 2/7A-18 betyr, vil dette i første omgang indikere at konsekvensen ved en hendelse kan være at det kan true andre områder. Dette fordi konsekvensen er vurdert til kategori 3. Sannsynligheten for at dette skal skje er i midlertidig ikke så veldig høy, og dette fører dermed til risiko 3. Gjøres det sammenligning med samme tilfelle i brønn 2/7A-01, som har risikovurdering 9 og akkurat samme konsekvensvurdering, skyldes denne økte risikovurderingen at det er en større sannsynlighet for lekkasje fra reservoaret i fra brønn 2/7A-01. Det er ikke sikkert at det er slik at brønn 2/7A-01 er 3 ganger verre enn 2/7A-01, men som presentert senere, vil det være mulig å bruke disse verdiene for å rangere brønnene etter den risikovurderingen som er gjort. For det er helt riktig at risikoen knyttet til reservoaret i 2/7A-01 er større enn tilsvarende risiko knyttet til 2/7A-18, på bakgrunn av punktene nevnt ovenfor.

For å få til en total risikovurdering for en brønn, er det nå mulig å summere bidragene fra de ulike lekkasjekildene, slik at en ender opp med en total risikovurdering for brønn. Dette vil gi et tall som er vanskelig å fortolke, men som kan brukes til å rangere brønnene etter risikonivå.

| Brønn | Reservoar | Annulus A | Annulus B | Annulus C | Total Risikovurdering |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|
| 2/7A-01 | 9 | 20 | 4 | 0 | 33 |
| 2/7A-04 | 4 | 0 | 4 | 0 | 8 |
| 2/7A-07 | 2 | 0 | 4 | 0 | 6 |
| 2/7A-18 | 3 | 20 | 8 | 0 | 31 |
| 2/7A-28 | 8 | 20 | 12 | 0 | 40 |

Tabell 3.4.1.7 – Total risikovurdering for ulike brønner

Med utgangspunkt i tabell 3.4.1.7 kan det lages en graf som viser risikovurdering gjort for hver brønn. Det er mulig å bruke de ulike resultatene fra lekkasjekilder som indikasjoner for hvor det er bidrag til risiko fra. På denne måten for en frem hvilke lekkasjekilder i en brønn det er knyttet størst risiko til. Figur 3.4.1.1 viser resultatene fra risikovurderingen.



Figur 3.4.1.1 – Bidrag av risiko fra lekkasjekilder for ulike brønner

Som grafen viser, så vil 2/7A-28 være den brønnen som har størst risiko knyttet til seg. Det er et større potensial i reservoaret til 2/7A-28, samtidig som det er påvist mer gass i ringrom B enn i noen av de andre brønnene. Dermed er dette faktorer som gjør at risikoen blir vurdert til størst på 2/7A-28 i forhold til de andre brønnene. Vanninjeksjonsbrønnene kommer ut med lavest risiko, og dette skyldes i stor grad at det ikke er påvist gass i ringrom A, noe som betyr at det ikke inkluderes som et bidrag til risikovurderingen. Mellom vanninjeksjonsbrønnene 2/7A-04 og 2/7A-07 skiller det litt i forhold til at det er litt større risiko knyttet til reservoar, noe som skyldes en høyere sannsynlighet for

lekkasje fra 2/7A-04. Dermed vil risikovurderingen ta høyde for denne forskjellen, og disse brønnene vil bli rangert forskjellig.

Det er videre viktig å understreke at en tolkning av resultat fra risikovurdering vil kreve en forståelse av at det kommuniseres hva som menes med de ulike konsekvenskategoriene, og at dette sammen med lekkasjesannsynlighet er med og avgjør risikoen. Det er ikke nok med en presentasjon av figur 3.4.2.1, men det er nødvendig med en detaljert oppsummering lik den i tabell 3.4.1.6 for å kunne tolke det resultatet som presenteres.

Som nevnt ovenfor, vil det være interessant å bruke verdiene fra risikovurderingen til en rangering av brønnene. Dette vises i tabellen under, der det er blitt gjort en sammenligning med resultatet fra analyse som er gjort ved kun å se på total sannsynlighet for lekkasje fra de samme brønnene.

| Rank | Lekkasjesannsynlighet | Risikovurdering |
|------|-----------------------|-----------------|
| 1 | 2/7A-18 | 2/7A-28 |
| 2 | 2/7A-01 | 2/7A-01 |
| 3 | 2/7A-28 | 2/7A-18 |
| 4 | 2/7A-04 og 2/7A-07 | 2/7A-04 |
| 5 | | 2/7A-07 |

Tabell 3.4.1.8 – Risikorangering på to ulike metoder

Det som er interessant å se av rangeringen er at det er 2/7A-28 i den foreslåtte risikovurderingen som er rangert øverst. I motsetning til kun å rangere basert på sannsynlighet, har det å inkludere konsekvens ført til en annen rangering. Dette stemmer også med hvordan situasjonen er mellom gassløftbrønnene som havner øverst i rangeringen. Alle har gass i gassløftringrommet, og dermed er risikoen knyttet til dette ringrommet relativ lik siden det er også omtrent like stor sannsynlighet for lekkasje fra ringrom A. Det er risikoen knyttet til reservoar og ringrom B som endrer på rangeringen. Ved å kun se på lekkasjesannsynlighet var det mindre sannsynlighet for lekkasje fra ringrom B for 2/7A-28. Det var samme sannsynlighet for lekkasje fra ringrom B mellom de to andre brønnene. Av figur 3.4.1.1 er det mulig å se at det er større risiko knyttet til ringrom B i A-28, og dette skyldes at det er verre konsekvens vurdert for det ringrommet. Det er også viktig å få fram at en slik risikovurdering som inkluderer konsekvens, vil klare å rangere brønner som ender opp med samme lekkasjesannsynlighet på en bedre måte enn tilfellet er i dag.

3.4.2. Risikovurdering som reflekterer konsekvens og lekkasjesannsynlighet for ulike lekkasjerater

Metoden i forrige kapittel benyttet total lekkasjesannsynlighet. Når risiko skal bli vurdert, er det rimelig å anta at ulike lekkasjerater vil kunne bidra til forskjellige konsekvenser, og dermed også risikoen. En liten lekkasjerate vil ha lavere sannsynlighet for antenning, og dermed vil dette kunne være med og gi en lavere risiko. I den forrige metoden ble total lekkasjesannsynlighet brukt, men det er mulig å utvide denne til å inkludere risikobidrag fra ulike lekkasjerater. Dette kan gjøres ved å vekte de ulike lekkasjeratene for å reflektere at det er større risiko ved en stor lekkasje enn ved en liten lekkasjerate. Denne vurderingen er tatt med utgangspunkt i at risikoanalyser (QRA) ofte viser det er større risiko forbundet med store lekkasjerater, ref. "Utdrag fra foredrag Geir E. Frafjord, Ptil, seminar 25.-26.05.11 "Brann- og eksplosjonssikring i petroleumsvirksomheten". Tabellen under viser et typisk risikobilde og sammenhengen mellom lekkasjerate og bidrag til risiko. Ved å vekte liten lekkasje til 1, medium til 2 og stor til 7, vil tabell 3.4.2.5 under vise hvordan dette bidrar i metoden som her er foreslått. I det videre arbeidet vil det bli foreslått å se nærmere på denne vektingen av risikovurdering for de ulike lekkasjeratene.

| Lekkasjerate | Bidrag til risiko | Faktor foreslått | Bidrag til risiko i metode |
|----------------------|-------------------|------------------|----------------------------|
| Liten (0,1 – 1 kg/s) | 1 – 10 % | 1 | 1/10 = 10 % |
| Medium (1 – 10 kg/s) | 10 – 30 % | 2 | 2/10 = 20 % |
| Stor (> 10 kg/s) | 50 – 80 % | 7 | 7/10 = 70 % |

Tabell 3.4.2.5 – Vurdering av bidrag til risiko fra ulike lekkasjerater

Følgende formel benyttes for å beregne risiko fra en lekkasjekilde:

$$\text{Risiko} = \frac{\text{risiko liten lekkasje} \cdot 1 + \text{risiko medium lekkasje} \cdot 2 + \text{risiko stor lekkasje} \cdot 7}{10}$$

Dermed oppnås et resultat som får reflektert at en risiko fra stor lekkasje vil bidra mer til den totale risikoen. Et eksempel er tatt ved å vurdere risikoen for reservoar i brønn 2/7A-01. Det er samme konsekvensvurdering for de ulike lekkasjeratene som blir brukt for å vurdere risiko fra de ulike lekkasjekildene. Tabell 3.4.2.6 viser resultatet:

| Brønn | Reservoar | Sannsynlighet lekkasje / år | Konsekvens | Risiko |
|---------|-----------|-----------------------------|------------|----------|
| 2/7A-01 | Liten | 1,19E-04 | 3 | 9 |
| | Medium | 1,20E-05 | 3 | 6 |
| | Stor | 1,38E-06 | 3 | 3 |

Tabell 3.4.2.6 – Risikovurdering lekkasjerater reservoar 2/7A-01

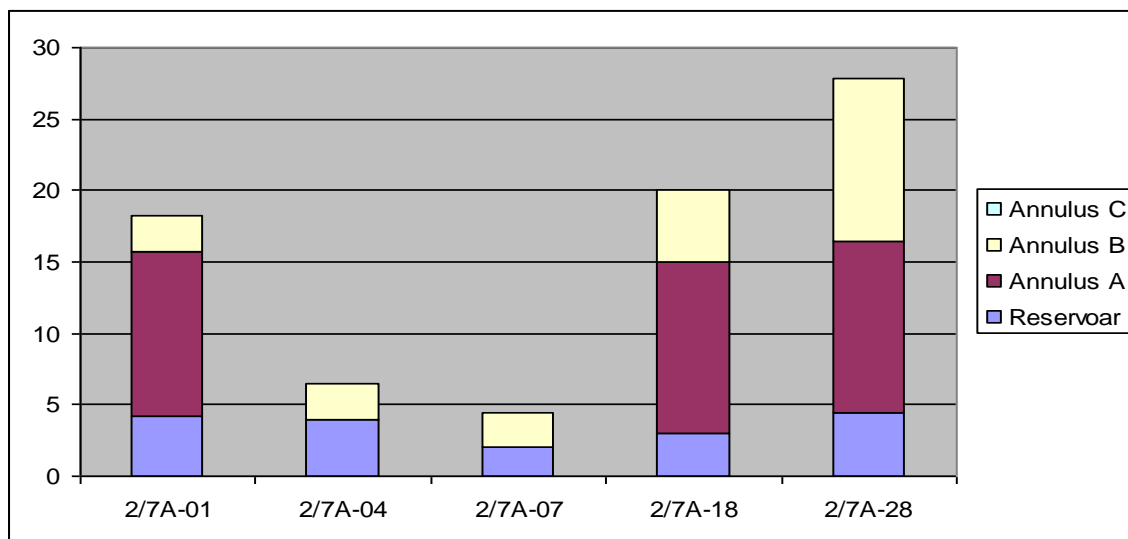
$$\text{Risiko} = \frac{(9*1) + (6*2) + (3*7)}{10} = 4,2$$

Det å ta hensyn til lekkasjerater vil føre til at den totale risikoen i større grad vil gjenspeile risikoen forbundet med å ha en stor lekkasjerate. I og med at det er de store lekkasjeratene som bidrar til økt risiko, vil det være fornuftig å operere med en slik tilnærming. Dersom denne vurderingen nå blir utført for alle brønnene i det forrige eksempelet, vil dette gi følgende tabell:

| Brønn | Reservoar | Annulus A | Annulus B | Annulus C | Total Risikovurdering |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------------------|
| 2/7A-01 | 4,2 | 11,5 | 2,5 | 0 | 18,2 |
| 2/7A-04 | 4 | 0 | 2,5 | 0 | 6,5 |
| 2/7A-07 | 2 | 0 | 2,5 | 0 | 4,5 |
| 2/7A-18 | 3 | 12 | 5 | 0 | 20 |
| 2/7A-28 | 4,4 | 12 | 11,5 | 0 | 27,5 |

Tabell 3.4.2.7 – Risikovurdering lekkasjerater reservoar 2/7A-01

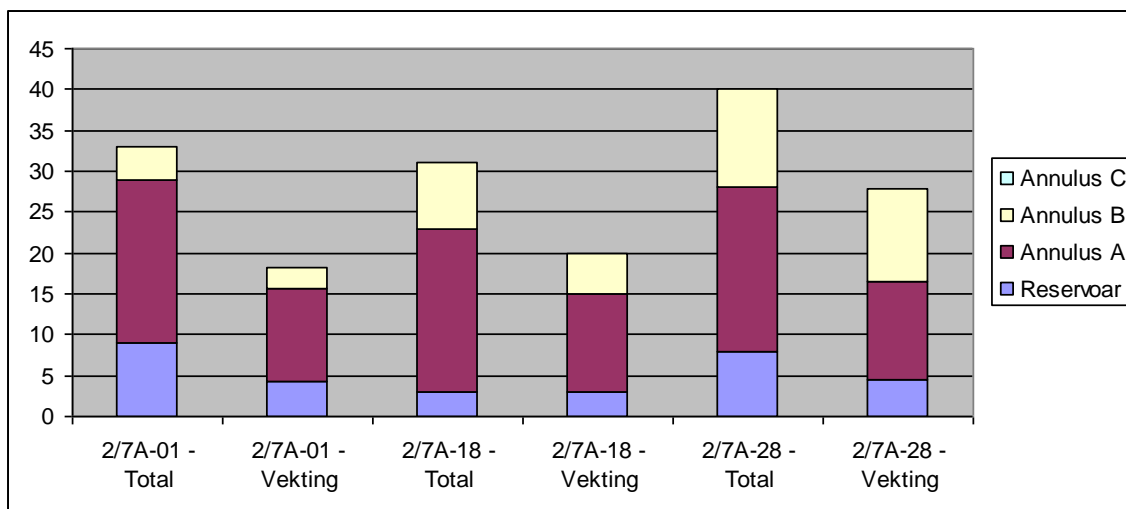
Som tabell 3.4.2.7 viser, så vil risikotallet gå ned, i og med at bidraget til liten lekkasje vil redusere risikonivået med hensyn på antagelsen om at dette bare bidrar med 10 % til risiko. Dersom dette resultatet blir plottet i en graf, vil det bli seende slik ut, vist i figur 3.4.2.2:



Figur 3.4.2.2 – Bidrag av risiko fra lekkasjekilder for ulike brønner

Nå er det mulig å se at 2/7A-18 har høyere risiko enn 2/7A-01, og dette skyldes at det er større sannsynlighet for stor og medium lekkasje enn en liten lekkasjerate fra 2/7A-18. Denne metoden reflekterer dette bedre, og dermed klarer denne å oppnå at risikobilde gjenspeiler dette i bedre grad enn da total lekkasjesannsynlighet var det eneste som ble vurdert.

Figur 3.4.2.3 under viser en sammenligning mellom de to metodene for risikovurdering. Den viser klart at risikobildet, ved å innføre vektning av lekkasjerater og dens bidrag til risiko, vil bli redusert i forhold til resultatet som ble gitt ved å benytte total lekkasjesannsynlighet. Dette henger sammen med at det er størst sannsynlighet for små lekkasjer fra reservoaret, og dette bidraget reduseres betraktelig ved å vekte de ulike lekkasjemengdene. På denne måten vil risiko knyttet til stor lekkasjemengde få et økt bidrag i den totale risikovurderingen fra en lekkasjekilde.



Figur 3.4.2.3 – Sammenligning av risiko ved total lekkasjesannsynlighet og vekting

På samme måte som vist i forrige kapittel kan det nå gjøres en risikorangering med bakgrunn i denne analysen. I tabell 3.4.2.8 er den samme rangeringen som er gjort tidligere vist, i tillegg er det inkludert en kolonne som viser rangering basert på vekting av lekkasjemengder.

| Rank | Lekkasjesannsynlighet | Risikovurdering – total lekkasjemengde | Risikovurdering – vekting av lekkasjemengder |
|------|-----------------------|--|--|
| 1 | 2/7A-18 | 2/7A-28 | 2/7A-28 |
| 2 | 2/7A-01 | 2/7A-01 | 2/7A-18 |
| 3 | 2/7A-28 | 2/7A-18 | 2/7A-01 |
| 4 | 2/7A-04 og 2/7A-07 | 2/7A-04 | 2/7A-04 |
| 5 | | 2/7A-07 | 2/7A-07 |

Tabell 3.4.2.8 – Risikorangering

Risikorangeringen i tabell 3.4.2.8 viser at det er en endring i rangeringen mellom A-01 og A-18 når disse to måtene å vurdere risikoen på sammenlignes. Dette er forklart med at 2/7A-18 har større sannsynlighet for stor lekkasjerate, sammenlignet med 2/7A-01. Med denne måten å vekte lekkasjerater vil risiko knyttet til stor lekkasjerate gi et større bidrag til risikoen enn små lekkasjerater.

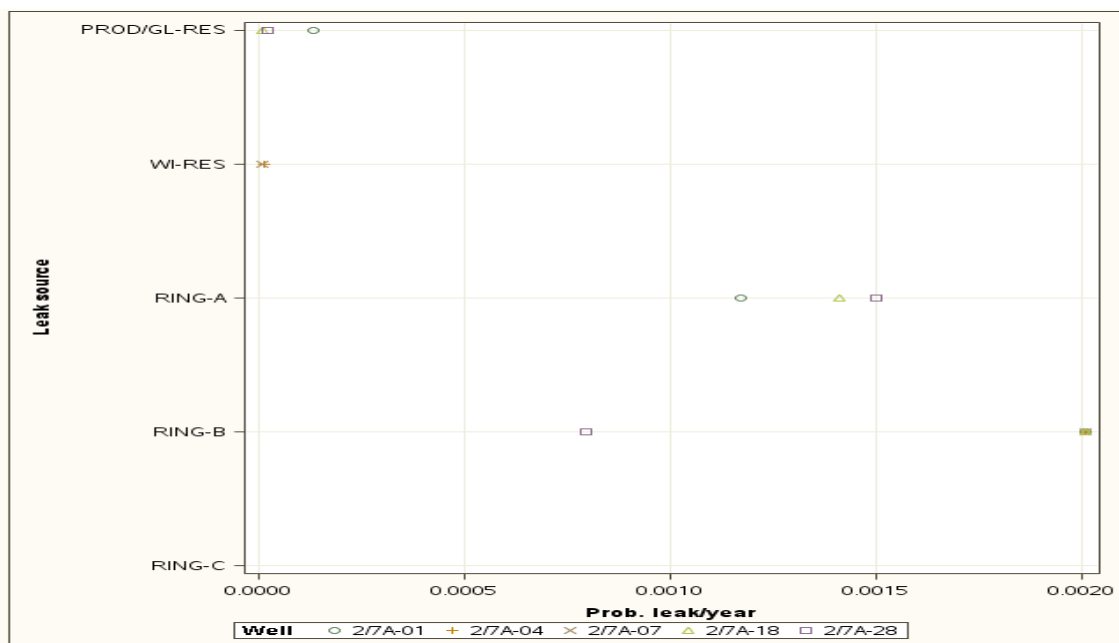
3.5. Visualisering og presentasjon av risikobilde

Resultatene fra WIRA presenteres nå som sannsynligheter for lekkasje neste år, fordelt på lekkasjerater. Det er muligheter for å gi en bedre forståelse av de ulike resultatene ved å benytte alternative presentasjonsmetoder av resultater.

I dette kapitlet skal det bli gjort et forsøk på å presentere alternative metoder for å vurdere risikoen til brønnene på tvers av hverandre, uavhengig av brønnstype og felt. Det vil si at det skal være ønskelig med en fremvisning som gjør det mulig å vurdere brønnene opp mot hverandre, slik at det er mulig å si noe om de verste og beste brønnene.

3.5.1. Presentasjon av sannsynlighet for lekkasje fordelt på lekkasjekilder

Den første metoden er å ta utgangspunkt i lekkasjesannsynligheten som er beregnet fra WIRA, og plote resultatene i samme matrise, der aksene er lekkasjekilde og sannsynlighet for lekkasje. Det som blir oppnådd her, er at alle brønnene som har samme lekkasjekilde havner på samme linje, der de som har størst sannsynlighet for lekkasje vil havne lengst til høyre på aksene. Dermed vil det være lett og identifisere hvilke brønner det er størst sannsynlighet for å få lekkasje fra, og dette er dermed de brønnene som det må brukes størst oppmerksomhet om.



Figur 3.5.1.1 – Matriseplott – lekkasjekilde og lekkasjesannsynlighet

Ovenfor er et plott som viser lekkasjekilde og lekkasjesannsynlighet for noen utvalgte brønner på Eldfisk Alfa. Brønnene som er valgt med resultat fra analyse utført i WIRA er listet opp i tabell 3.5.1.1.

| Brønn | Brønntype | Reservoar | Ringrom A | Ringrom B | Ringrom C |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 2/7A-07 | WI | 8,72E-06 | | 2,01E-03 | |
| 2/7A-04 | WI | 1,39E-05 | | 2,01E-03 | |
| 2/7A-01 | GL-ASCV | 1,32E-04 | 1,17E-03 | 2,01E-03 | |
| 2/7A-28 | GL-ASCV | 2,38E-05 | 1,50E-03 | 7,95E-04 | |
| 2/7A-18 | GL-ASV | 7,97E-06 | 1,41E-03 | 2,01E-03 | |

Tabell 3.5.1.1 – Datagrunnlag for matriseplott

Som matriseplottet viser, så havner alle brønnene bortsett fra 2/7A-28 på samme resultat når en ser på sannsynlighet for lekkasje fra annulus B. 2/7A-28 brønnen har en mye lavere sannsynlighet for lekkasje enn de andre brønnene på grunn av installert HSAS som et risikoreducerende tiltak. Når det gjelder risikoen for lekkasje fra ringrom A, er det kun gassløftbrønnene som har denne risikoen i eksempelet, og her er det 2/7A-28 som har størst risiko. Dersom det er blir tatt utgangspunkt i at det er samme konsekvens innenfor de ulike gruppene, er dette dermed en god indikasjon på hvilke brønner som det er størst risiko forbundet med. Vanninjeksjonsbrønnene havner langt nede på skalaen, men i og med at disse også har lekkasje og påvist gass i ringrom B, vil disse få en større risiko. Men sett i forhold til gassløftbrønnene, som også har gass påvist i ringrom B, skiller 2/7A-01 seg ut i og med at denne har større sannsynlighet for lekkasje fra reservoaret enn de to andre gassløftbrønnene. Samtidig har også disse gassløftbrønnene som nevnt en risiko forbundet med gass i ringrom A, og dette er med og påvirker vurderingen. Dermed vil resultatet gi en god indikasjon på hvilke brønner som det vil være størst risiko med, og dette ved å gjøre et enkelt plott av sannsynlighetene i en matrise som vist. I eksempelet er resultatet vist for 5 brønner, men det er ikke noe i veien med å utvide plottet til hele plattformen, eller for alle brønnene på feltet.

Det som er en fordel med illustrasjonen i et matriseplott, er at det på en enkel måte viser hvilke brønner som har størst sannsynlighet for lekkasje. Dette er kanskje en forenklet metode for risikovurdering, og i og med at en gjør en vurdering av initiell lekkasjerate og reflekter feil i en brønn, vil dette på mange måter være en god nok tilnærming. Med dette matriseplottet er det et forslag til en forenklet risikovurdering, og illustrasjon av brønnene satt opp mot hverandre.

En ulempe med metoden er at den ikke kvantifiserer konsekvens i noen stor grad, bortsett fra at det sier at det er en mulighet for lekkasje av gass fra ringrom dersom dette er påvist. Men den legger til rette for at beslutningstaker selv skal vekte konsekvensene forbundet med ulike kilder. Det er heller ikke gjort noen form for illustrering av lekkasjerate som vil oppstå, da det er total sannsynlighet som er blitt presentert i matrisen. Dermed vil det ikke være mulig å se hvilke brønner som vil kunne ha stor sannsynlighet for de ulike lekkasjene.

3.5.2. Presentasjon av feil som indikasjon på risiko

Nåværende metode for risikoanalyse beregner sannsynligheten for ulike lekkasjerater skal inntreffe. Det vil si at en brønn med alvorlige feil vil ha en større sannsynlighet for lekkasje enn en annen brønn som ikke har så alvorlige feil. Dette blir ofte presentert i resultatet som søyler som skiller på ulike lekkasjerater, og med den totale lekkasjesannsynligheten som angir lengde på søylen. Dermed er det mulig å sammenligne sannsynlighetene mellom brønnene. En faktor som kompliserer sammenligningen av brønner er at ulike brønntyper har ulike lekkasjesannsynlighet, for eksempel vil en brønn på gassløft ha høyere sannsynlighet for lekkasje sammenlignet med en produsent uten gassløft. For å bedre reflektere hvor stor del av risikoen som det er mulig å gjøre noe med kan det vær nyttig å se på hvor mye større en lekkasjesannsynlighet er på grunn av feil og mangler i en brønn. Dette er det mulig å beregne, i og med at det i dag gjøres analyser av feilfrie brønner, og beregninger av dette gjøres for de ulike lekkasjekildene. Det vil dermed være mulig å sammenligne resultatet for en brønn opp mot en standard brønn som det ikke er noen feil med.

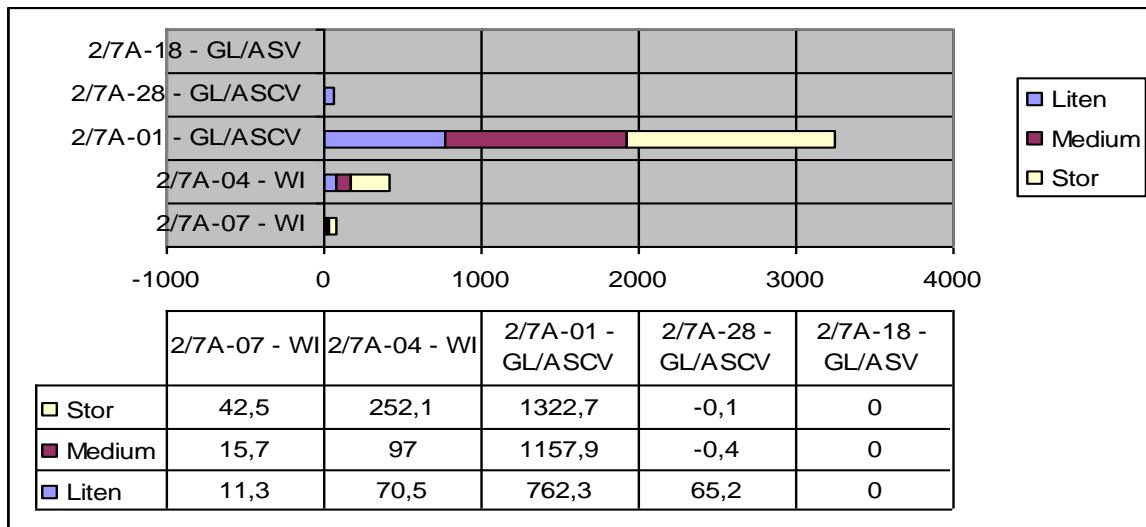
Nedenfor er det presentert et resultat som viser 5 ulike brønner og endring i lekkasjesannsynlighet for de ulike lekkasjeratene. Det er også skilt på lekkasjekilde, der det er påvist gass i ringrom, og dette er dermed tatt med i analysen:

| Brønn | Lekkasjekilde | Liten lekk.rate (%) | Medium lekk.rate (%) | Stor lekk.rate (%) |
|-------------------|---------------|---------------------|----------------------|--------------------|
| 2/7A-07 - WI | RES | 11,3 | 15,7 | 42,5 |
| 2/7A-07 | ANN-B | 0 | 0 | 0 |
| 2/7A-04 - WI | RES | 70,5 | 97,0 | 252,1 |
| 2/7A-04 | ANN-B | 0 | 0 | 0 |
| 2/7A-01 - GL/ASCV | RES | 762,3 | 1157,9 | 1322,7 |
| 2/7A-01 | ANN-A | 34,7 | 207,8 | 141,7 |
| 2/7A-01 | ANN-B | 0 | 0 | 0 |
| 2/7A-28 - GL/ASCV | RES | 65,2 | -0,4 | -0,1 |
| 2/7A-28 | ANN-A | 136,6 | -2,6 | 0 |
| 2/7A-28 | ANN-B | -30,9 | -87,3 | -20,9 |
| 2/7A-18 - GL/ASV | RES | 0 | 0 | 0 |
| 2/7A-18 | ANN-A | 0 | 0 | 0 |
| 2/7A-18 | ANN-B | 0 | 0 | 0 |

Tabell 3.5.2.1 – Endring i lekkasjesannsynlighet fra en standard brønn

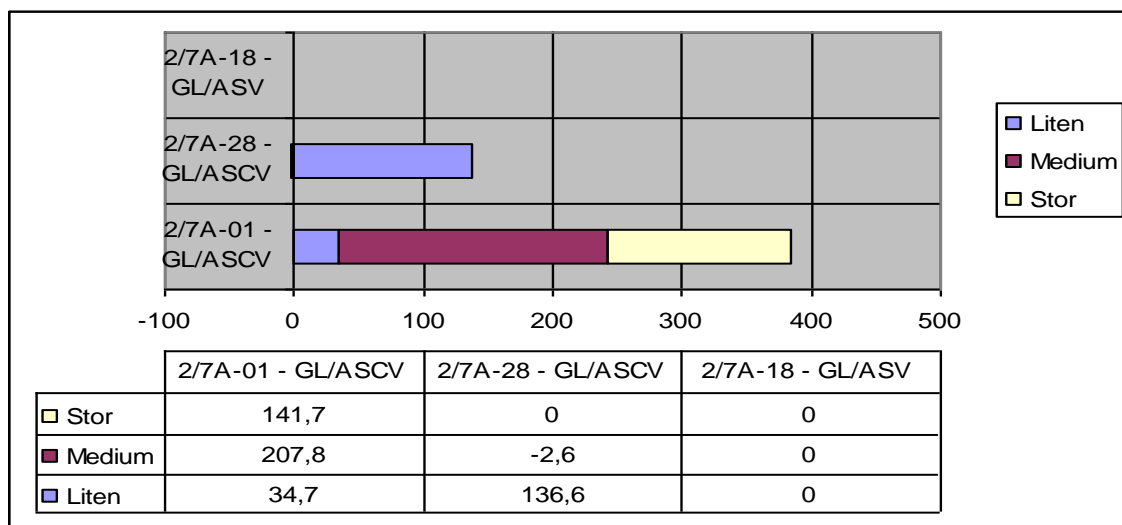
Ved å bruke resultatet fra tabell 3.5.2.1 er det mulig å plote dette inn i en grafisk fremstilling. Det er for eksempel mulig å lage et histogram som plottes endringer i

sannsynligheter som de forskjellige lekkasjeratene fra en lekkasjekilde kan gi. For endring i sannsynlighet for lekkasje fra reservoaret kan et plott se slik ut:



Figur 3.5.2.1 – Matriseplott – Endring i lekkasjesannsynlighet for ulike brønner fra reservoar

Plottet viser godt at det er 2/7A-01 som er den brønnen som har mest økt sannsynlighet for lekkasje fra reservoaret, uansett lekkasjerate. Blant vanninjeksjonsbrønnene er det 2/7A-04 som er den med størst økning. I tabell 3.5.2.1 ble det vist at det er inkludert ringrom A i analysen der brønnene er på gassløft, og når dette blir plottet i et lignende histogram, blir det som følgende:



Figur 3.5.2.2 – Matriseplott – Endring i lekkasjesannsynlighet for ulike brønner fra ringrom A

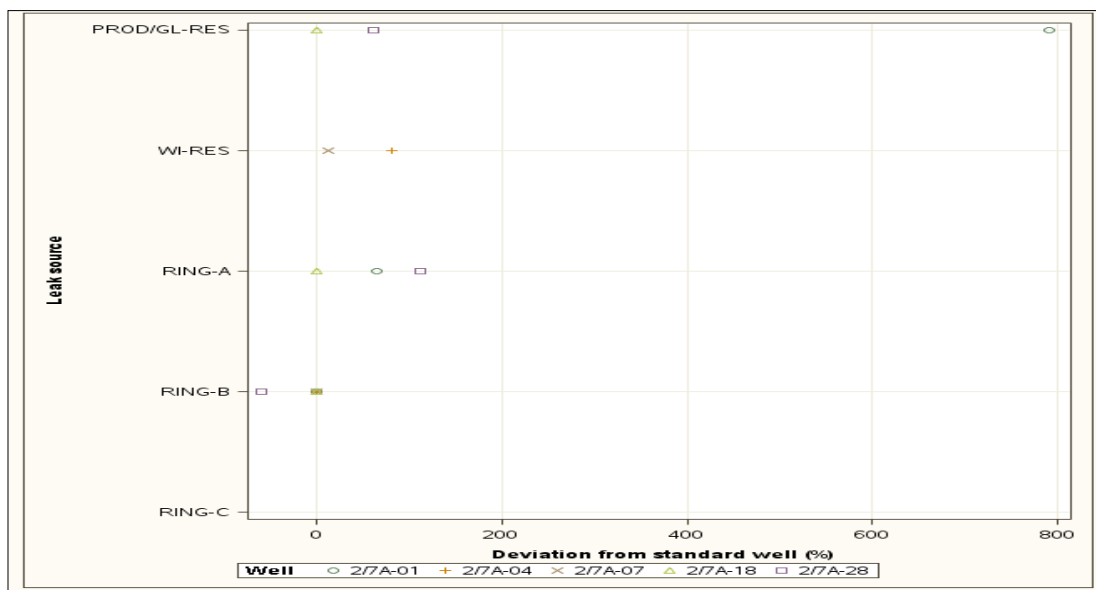
Igjen viser resultatet at det er 2/7A-01 som er den brønnen med størst økning i feil fra en standard brønn. 2/7A-18 hadde ingen økning, det vil si at denne brønnen er som en feilfri normal gassløftbrønn. Den siste brønnen 2/7A-28 har størst økning i sannsynlighet for liten lekkasje, og faktisk en forbedring og lavere sannsynlighet for medium og stor lekkasje.

Resultatene ovenfor er en mulighet for hvordan det vil være mulig å reflektere feil i en brønn. Dette er gjort tidligere med nåværende metode, men dette er bare en annen måte å presentere resultatet på. En annen måte å fremstille avvik fra en standard brønn på, er å bruke et matriseplott som lignende ble gjort i forrige forslag til å presentere risiko. Ved å gruppere lekkasjekilde og plote brønnene inn i en matrise for avvik i fra en standard brønn, vil det være mulig å identifisere hvilke brønner hvor det er størst avvik fra en standard brønn. En tabell under viser endring i total sannsynlighet i prosent fra en normal brønn, for akkurat de samme brønnene som i forrige eksempel:

| Brønn | Brønntype | Reservoar | Ringrom A | Ringrom B | Ringrom C |
|---------|-----------|-----------|-----------|-----------|-----------|
| 2/7A-07 | WI | 13,0 | | 0,0 | |
| 2/7A-04 | WI | 80,7 | | 0,0 | |
| 2/7A-01 | GL-ASCV | 791,3 | 65,1 | 0,0 | |
| 2/7A-28 | GL-ASCV | 60,6 | 111,3 | -60,5 | |
| 2/7A-18 | GL-ASV | 0,0 | 0,0 | 0,0 | |

Tabell 3.5.2.2 – Datagrunnlag for matriseplott

Med grunnlag i tabell 3.5.2.2 ovenfor er det nå mulig å lage et matriseplott som vist i figur 3.5.2.3 under:



Figur 3.5.2.3 – Matriseplott – lekkasjekilde og endring i lekkasjesannsynlighet

Som matriseplottet viser så er det størst avvik i lekkasjesannsynlighet fra reservoaret i brønn 2/7A-28. Ved å plotte andre brønner av samme type, viser resultatet hvilke brønner som det er størst avvik i, og det er dermed mulig å gjøre en risikorangeing på bakgrunn av denne informasjonen.

3.6. Diskusjon av foreslåtte forbedringer og metoder

Det er blitt pekt på svakheter og mulige forbedringer til metoden for risikovurdering av brønner i drift. Med bedre så menes det at det skal være mer effektivt å kjøre analyser, og at resultat som presenteres vil kunne være enda lettere å tolke enn det som er tilfellet i dag. Ved å oppsummere de foreslåtte forslagene til forbedringer og metoder, vil det helt klart være mulig å implementere de fleste som et tiltak for å få en bedre risikovurdering av brønner i drift. Risikovurdering som også reflekterer konsekvens vil være en forbedring til dagens risikoanalyse som vil vurdere personellrisiko på en enda bedre måte.

Det første som ble gjennomgått, var en grundig kritikalitetsanalyse av komponentene i en brønn. Det ble foreslått å bruke Improvement potential til å beregne effekten av å erstatte en komponent med en feilfri komponent, slik at effekten dette har på lekkasjesannsynligheten er mulig å bli identifisert. Denne grundige metoden mangler i dag i ConocoPhillips sitt analysearbeid. Ved å få en automatisert rapport som gjør denne analysen av kritikalitet, vil personell i risikovurderingsmøter være klar over hvilke brønner som har størst potensial med tanke på reparasjon og utskifting av brønnskompener. Et argument for å gjøre denne reparasjonen vil kunne være at det vil bedre sikkerheten og senke risikoen mot å få en lekkasje fra brønnen. Et annet argument for å innføre slike rapporter på kritikalitet er at det ikke kreves noe manuelt arbeid for å få til en slik analyse. Så lenge en lekkasjesannsynlighetsberegning er kjørt på en brønn, er det mulig å implementere kritikalitetsanalysen til å kjøre i etterkant av lekkasjeberegningen. Dermed vil ikke dette påvirke noe av arbeidet som gjøres i dag. Resultatet er en bedre sluttrapport i etterkant av en analyse er kjørt i WIRA.

Det ble videre kjørt analyse uten å ta hensyn til ulike lekkasjerater. Det som er en fordel med en slik analyse, er at den er mindre arbeidskrevende, i og med at det ikke er nødvendig å vurdere lekkasjefordeling på hver komponent. Men det som ikke er bra med kun å kjøre en analyse som gir en total lekkasjesannsynlighet er det aspektet med at en mister de ulike lekkasjeratene som en konsekvensvurdering. Det gjøres jo en form for konsekvensvurdering når en i dag får et resultat som viser hvilke sannsynligheter det er for å få ulike lekkasjerater, og dermed også en viss indikasjon for hvilke brønner som har størst risiko for en stor lekkasje. I og med at dagens analyser utføres i et dataprogram, WIRA, er det ikke noe problem å kjøre analyser som også tar hensyn til lekkasjerater. Et argument for å fjerne dette er at det tar ekstra lang tid å kjøre analysen, noe også forsøket med og kun ta hensyn til total lekkasjesannsynlighet viste. Det er ikke så krevende å kjøre med en lekkasjerate, men det er dermed foreslått å endre på WIRA slik at det er mulig å kjøre analysene på natta. Ved å klargjøre en brønn for analyse, kan denne kjøringen gå neste natt, slik at analyseresultatet er klart om morgenen. Dermed sparer analytikerne tid med at de ikke trenger å sitte og vente på resultatet på dagtid. Dette er også noe som har vært litt irritasjon i dagens WIRA, og med en automatisering av når analysene skal kjøres, er det mulig å bli mer effektiv med tanke på risikoanalysene. Forslaget er dermed å fortsette å gjøre analyseberegningene med å skille på ulike lekkasjerater, men at disse

analysene kan bli mulig å kjøre som en automatisert kjøring. Det skal ikke tas vekk muligheten ved å kjøre det manuelt, men ved å ha en ytterligere mulighet til kjøring på kveld/natt, vil dette kunne være med og effektivisere arbeidet.

Det er også blitt presentert muligheter for å presentere sannsynligheter på en annen måte i WIRA. I kapittel 3.5 ble det foreslått to metoder for hvordan det bedre kan visualiseres hva sannsynligheten for lekkasje fra de ulike lekkasjekilder er. Dette bidrar til enda bedre forståelse av analysearbeidet som gjøres, ved at resultat blir presentert på ulike måter. Den første metoden vil presentere lekkasjesannsynlighet for de ulike lekkasjekildene. Ved å plote de ulike brønnene som hører til en gruppe, vil dette få fram hvilke brønner som relativt til andre brønner av samme type har størst sannsynlighet for lekkasje. Dermed vil en sammenligning mellom brønnene bli lettere å gjennomføre, og det å rangere brønnene på tvers av installasjoner er en mulighet. Dette matriseplottet er anbefalt å innføre slik at det blir bedre visualisert hvordan de ulike brønnene skiller seg fra hverandre med tanke på lekkasjesannsynlighet.

Den andre metoden for bedre visualisering av risikobildet, var å bruke avvik fra en standard brønn for lekkasje til å forklare risiko. Dette er en ny metode som tar utgangspunkt i allerede eksisterende analyser, men gjør en beregning for å identifisere hvilke brønner som skiller seg mest ut fra en standard brønn. Ved å benytte et lignende matriseplott som i forrige anbefaling, vil det være mulig å identifisere og om mulig klassifisere problembørner med store avvik. Et slikt matriseplott vil være en forbedret måte å visualisere feil og et risikobilde av brønners sikkerhet.

En annen forbedring som potensielt vil kunne effektivisere analysearbeidet, er å få bedre rapporter i forkant av analysearbeidet som vil kunne indikere noe om feil og mangler ved en brønn. Det vil si at det ble vurdert å få en bedre oppdatering av brønnkomponenters status og tester siden forrige analyse som ble kjørt. Fordelen med slike rapporter er utelukkende at en oppnår et mer effektivt arbeid, med at endringer som har skjedd ved en brønn siden forrige analyse vil bli gitt i en rapport som kommer automatisk. Dette sparer analytikerne for tid og arbeid med å måtte hente inn slike opplysninger via andre personer og kanaler. Det er også slik at det ikke er nødvendig å bruke tid på å gjøre en analyse på en brønn som det ikke har skjedd endringer i siden forrige analyse. På den måten sikrer analytikerne at tiden vil bli brukt på brønner som det er påvist en feil med siden siste analyse. Likevel er en ulempe med slike rapporter knyttet til usikkerheten i data som vises i rapportene. Er alle endringer ført inn i SAP, slik at det korrekte bildet blir rapportert? SAP er et offisielt verktøy der alle notifikasjoner og tester skal registreres, dermed skal det likevel være mulig å få oppdatert informasjon så fort et arbeid på en brønn utføres. Derfor er det å få rapporter i forkant av en analyse som viser endringer siden forrige analyse et nytt forbedringstiltak som enkelt kan implementeres som en del av WIRA.

Konsekvensvurdering av lekkasje ble så belyst med en metode for å forbedre dagens analyse. I og med at lekkasjerate ikke sier nok om konsekvens siden det ikke inkluderer gassmengde som potensielt kan lekke ut, vil dette være en forbedring som i fremtiden kan være med og gi en bedre risikovurdering. Metoden som er foreslått ved å bruke

utblåsningspotensial fra simuleringer i WellFlow, gjør det mulig å hente data automatisk til en konsekvensvurdering. Det som er utfordringen er å sette opp en skala som skal skille mellom de ulike kategoriene og angi konsekvensen. Den foreslåtte skalaen er i midlertidig satt opp med utgangspunkt i resultatene som analysene har avdekket, og det er en tabell som bruker samme skala uansett om det er snakk om konsekvensvurdering fra ringrom eller reservoaret. På denne måten er metoden vurdert som bra ved at det ikke blir benyttet ulike skalaer for de ulike lekkasjekildene. To forslag til forenklet risikovurdering ble foreslått, og den siste metoden ville inkludere vektning av lekkasjemengders bidrag til risiko. Felles for begge metodene er at de bruker konsekvensvurdering som en parameter, og ved å innføre en slik risikovurdering vil resultatet si mer om personellrisiko enn dagens metode. En skala for total lekkasjesannsynlighet brukes i risikomatrixen, og det er mulig å vurdere om denne skalaen er god nok. Likevel er det ikke noen tvil om at eksemplene som ble presentert viste at det var mulig å fange opp potensiell konsekvens på en bedre måte enn det dagens risikoanalyse gjør. Det ble både vist at det er mulig å kunne skille bedre på vanninjeksjonsbrønner som kom likt ut ved dagens metode, og det ble vist at avvik i en brønn faktisk bidrar til en økt personellrisiko. Den første metoden som ble presentert, den som brukte total lekkasjesannsynlighet, er en anbefalt metode for implementering. Denne metoden fører til en bedre beskrivelse av risiko, i og med at den nå inkluderer konsekvens som en del av vurderingen. Ved å bruke denne metoden for risikovurdering vil risikogruppen i ConocoPhillips ha en metode som vil si enda mer om personellrisiko. Metoden som vekter de ulike lekkasjeratene er en metode som kan implementeres som et supplement til den anbefalte metoden. Den krever litt mer arbeid for å sikre at resultatene virker fornuftige.

3.7. Videre arbeid

Dette arbeidet har resultert i forslag til forbedring for å gjøre dagens risikoanalyse av brønner i drift mer effektiv og samtidig presentere resultatene på en bedre måte. Det er blitt gjort mange tester, og det er blitt beskrevet metoder som det er mulig å implementere som en del av eksisterende programvare i WIRA. Det er imidlertid slik at tiden på denne oppgaven er begrenset, og dermed er det nødvendig å beskrive en anbefaling til videre arbeid som en forlengelse av det denne rapporten har beskrevet.

I det videre arbeid blir det foreslått å gjøre implementering av kritikalitetsanalyse av komponenter. Både i forhold til å bestemme forbedringspotensialet i en brønn, men også gjøre vurderinger av hvilke brønner som er mest kritisk med tanke på risikoanalysen som utføres. Dette er spesielt viktig når det kommer nye komponenter, feilsannsynligheter oppdateres og eventuelle nye brønntyper blir designet og modellert inn som et nytt feiltre. Det foreslås også å implementere rapporter som gir en faktisk oppdatering av brønnstatus og endringer i brønnen siden forrige analyse. Her er det også mulig å inkludere endring i trykk siden forrige analyse som en potensiell indikasjon på endring av brønnens tilstand. Ved å samtidig inkludere muligheten for å kjøre analyse på kveld/natt, vil dette bidra til et mer effektivt arbeid.

Når det kommer til konsekvensvurdering og eventuell forenkling av risikovurdering, så vil det i første omgang være mulig å implementere matriseplott som er foreslått for brønntyper og avvik i lekkasjesannsynlighet. Det er mulig å få til denne som rapporter som inkluderes i WIRA. Når det gjelder å samle data til konsekvensvurderingen så må det sees nærmere på muligheten å få data fra WellFlow inn i en felles database, slik at det er mulig å få til en automatisk analyse av konsekvens som foreslått. Risikovurderingen som reflekterer konsekvens er foreslått implementert, og det er foreslått å bruke denne metoden i neste brønnerisikogjennomgang i ConocoPhillips.

4. Konklusjon

Risikovurdering av brønner i drift er et område som har et stort fokus i ConocoPhillips, og i den forbindelse er det blitt utviklet et verktøy kalt WIRA for risikoanalyse av brønner i drift. Det er ikke noen tvil om at dette programmet benytter gode metoder som gjør det mulig å beskrive årsaker og mulige feil i en brønn som potensielt kan føre til en lekkasje. Metodene skiller mellom ulike lekkasjerater, og ved å vise ulike lekkasjekilder som finnes for en brønn, oppnår analytikerne resultater som sier noe om sannsynligheten for lekkasje neste år som videre kan brukes til å vurdere risikoen for en brønn. Feiltremodellene som er utviklet ivaretar designet til brønnene på en god måte, og resultatet er et godt bilde av situasjonen ved å ha mulighet til justere på brønnskompontenters feilsannsynlighet og verdier ut ifra analytikerens ekspertvurderinger.

Et viktig aspekt med risikoanalyse er å kunne identifisere parametere som vil kunne påvirke resultatet i størst mulig grad, og sensitivitetsanalysen avdekket hvilke komponenter som er mest kritiske i feiltremodellen som er brukt i ConocoPhillips. Dette er informasjon som indikerer hvilke komponenter det i realiteten er viktig å ha mest mulig gode data om, og som igjen bør være viktig input til de som utfører risikoanalysene. I forbindelse med at det er et stort antall brønner som det skal utføres risikoanalyser på, er det blitt foreslått å bruke brønndata for å få en tidligvurdering av hvilke brønner som trenger en grundigere analyse enn brønner som ikke har hatt endringer siden forrige analyse. Ved å anta at risikoen er den samme ved en brønn som ikke har endret seg siden forrige analyse, vil det være mulig å bevare dette resultatet til neste analyse.

Det er blitt forsøkt å beskrive en metode som vil vurdere konsekvenser fra en lekkasjekilde til ulike konsekvensgrupper. Risikovurderingen som reflekterer konsekvens har vist seg å gi et enda bedre bilde av risikoen knyttet til brønner. Dermed er dette et arbeid som bør innføres slik at det blir en naturlig del av brønngjennomgangene.

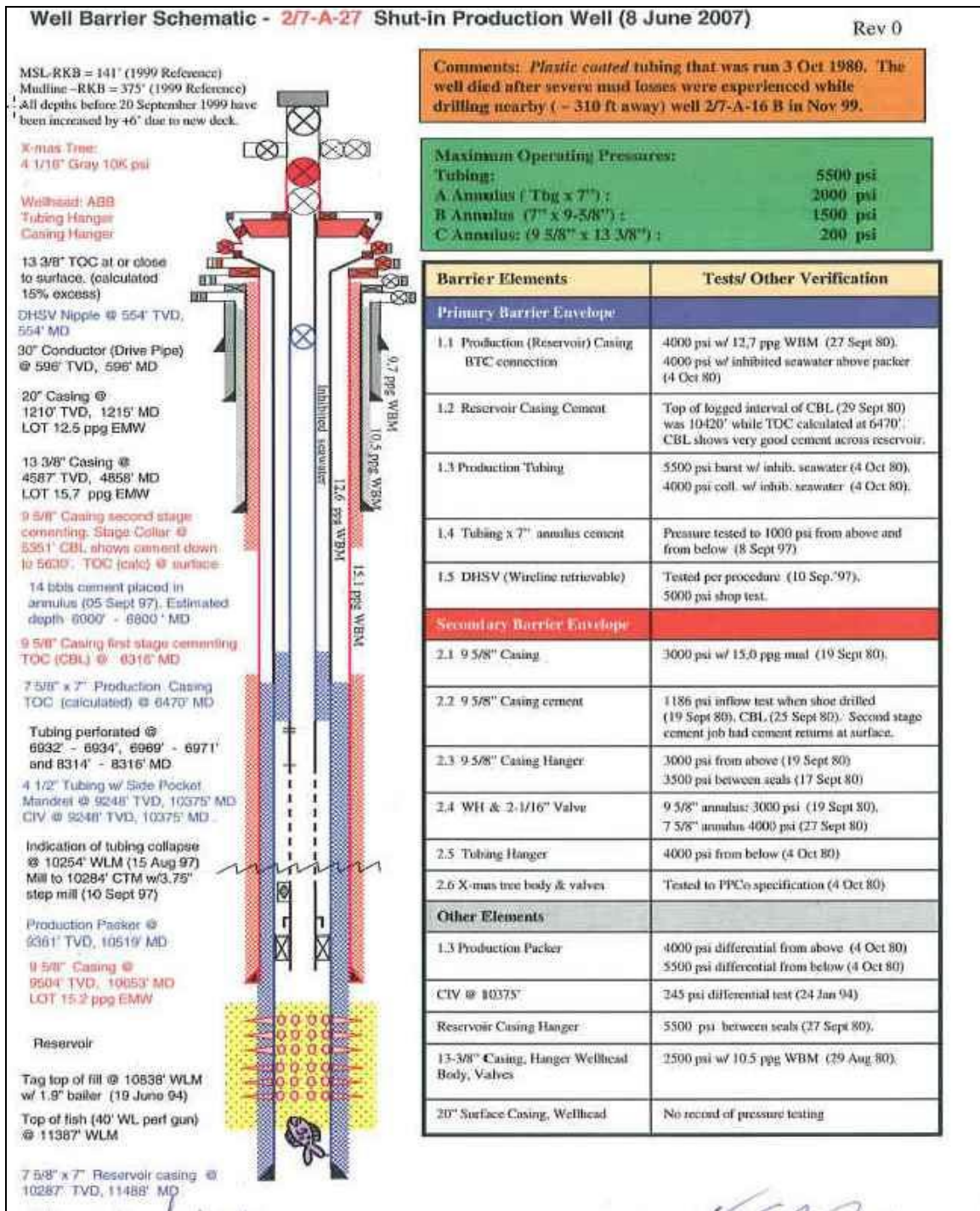
Det vil være viktig at brønnsrisikogruppen som har eierskap til WIRA, i enda større grad klarer å bruke verktøyet med de forbedringene som er foreslått. Samtidig må det legges opp til en enda bedre kommunikasjon mellom teamet som utfører arbeidet og de ulike delene av selskapet som vil ha interesse av risikoanalysene. Programmet er der, men det er mulig å gjøre noen forbedringer i forhold til presentasjonen av resultatene som analysene avdekker. Forståelse av resultatene som blir presentert er også et viktig aspekt å nevne. Hvordan en person oppfatter risiko i forhold til en annen person kan være veldig forskjellig, og dermed er det viktig å spre informasjon om hva analysene prøver å formidle. Det er heller ikke slik at det er et tall på en risiko som vil være interessant, men heller det å forsøke å skille risikonivået mellom brønnene, slik at de involverte partene er i stand til å ta riktige beslutninger i forhold til vedlikeholdsaktiviteter og arbeid, noe som igjen skal forbedre personellsikkerheten for de som oppholder seg på en plattform.

5. Referanser

- [1]: Ptil sitt regelverk, <http://www.ptil.no/regelverk/>, juni 2011
- [2]: ConocoPhillips sin Brønnbarrieremanual, januar 2011
- [3]: Norsok Standard D-010, <http://www.standard.no/PageFiles/1315/D-010r3.pdf>, Rev.3 august 2004
- [4]: Aven, Terje, Misconceptions of Risk. Hoboken, NJ: Wiley, 2010
- [5]: Marvin Rausand, Fault Tree Analysis, <http://www.ntnu.no/ross/srt/slides/fta.pdf>, oktober 7, 2005
- [6]: Marvin Rausand, Component Importance, http://www.ntnu.no/ross/slides/chapt5_1.pdf, 19. mars 2004
- [7]: WellMaster, <http://www.exprosoft.com/Files/Presentation/pdf/WellMaster.pdf>, februar 2011
- [8]: Reliability Block Diagram – Importance, <http://www.reliabilityeducation.com/rbd.pdf>, 2007
- [9]: SAS Institute Inc., SAS Enterprise Guide, http://www.sas.com/technologies/bi/query_reporting/guide/, 2011

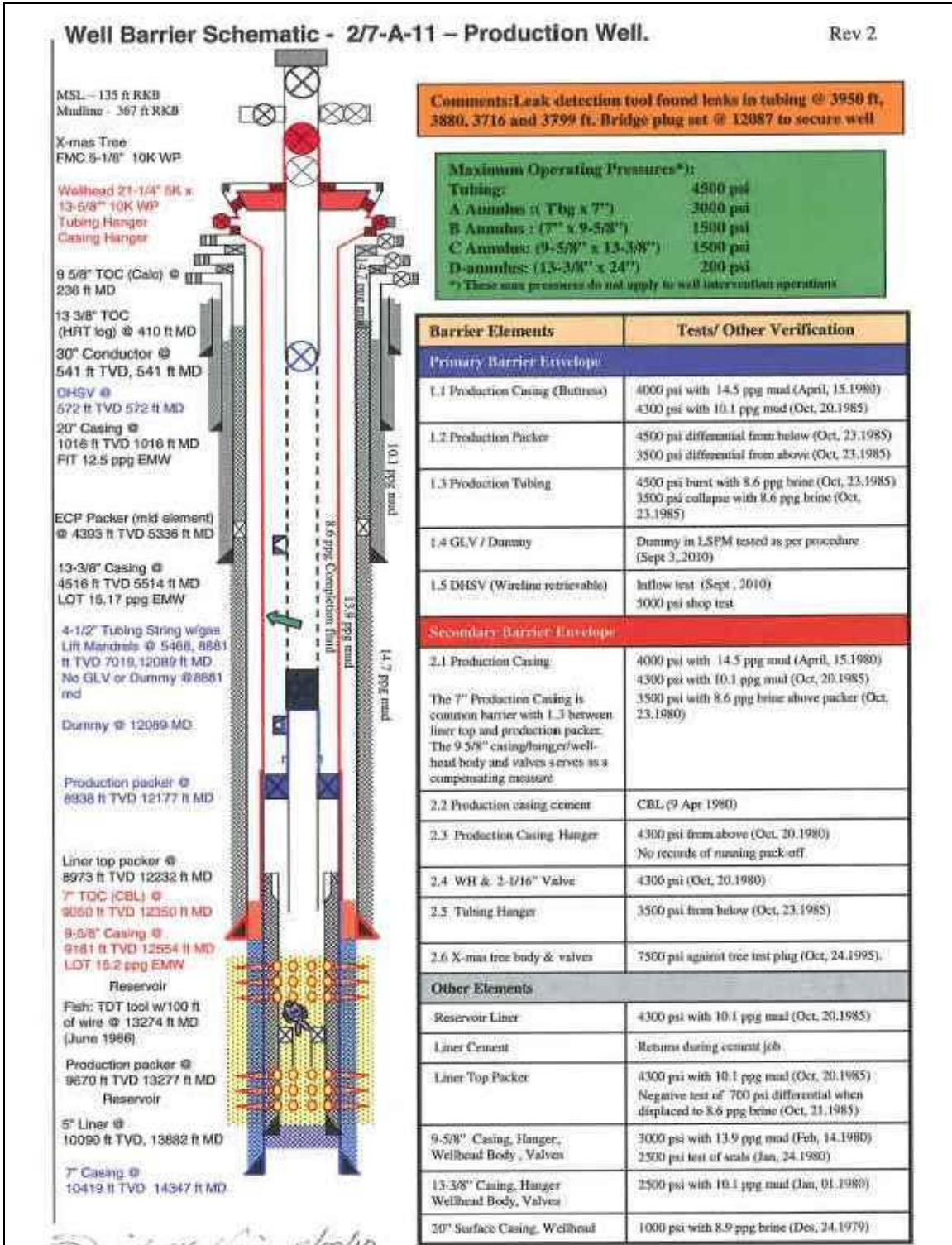
A.1 Appendiks – Barrieretegninger av utvalgte brønner

2/7A-27 – Produserende brønn uten gassløft



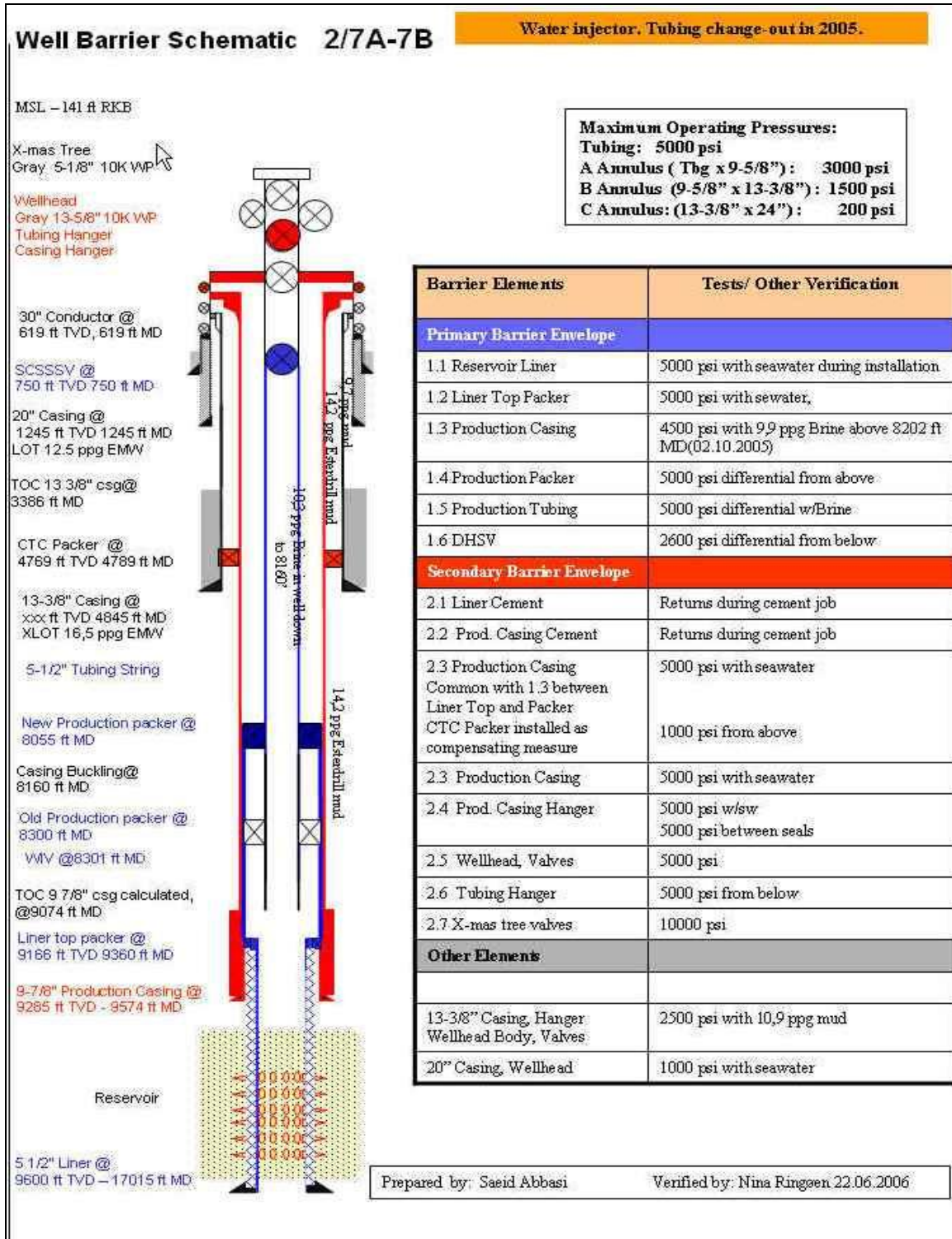
Figur A.1.1 – Brønnbarrieretegning -2/7A-27

2/7A-11 – Produserende brønn med gassløft (ASCV)



Figur A.1.2 – Brønnbarrieretegning -2/7A-11

2/7A-07 – Vanninjeksjonsbrønn



Figur A.1.3 – Brønnbarrieretegning -2/7A-07

A.2 Appendiks – Bidrag til risiko

Typisk bilde fra risikoanalyser

| Lekkasjekategori | Bidrag til Lekkasjefrekvens | Tennsannsynlighet | Bidrag til Brannfrekvens | Bidrag til Risiko |
|----------------------|-----------------------------|-------------------|--------------------------|-------------------|
| Liten (0.1 -1 kg/s) | 60 -80% | < 1% | 10 – 20% | 1 -10% |
| Medium (1 – 10 kg/s) | 10 – 20% | + 1% | 20 – 40% | 10-30% |
| Stor (> 10 kg/s) | 1-10% | 1-10% | 40 – 70% | 50 – 80% |



Har dette risikobildet betydning for utforming av brannvannsystemer?



Utdrag fra foredrag Geir E. Fraffjord, Ptil, seminar 25.-26.05.11 "Brann- og eksplosjonssikring i petroleumsvirksomheten"