

Pålitelighet av mennesket i sikkerhetskritiske operasjoner

Espen Leknes

Master i teknisk kybernetikk
Oppgaven levert: Juni 2009
Hovedveileder: Tor Engebret Onshus, ITK

Oppgavetekst

I de fleste sammenhenger er mennesket den siste barrieren for å hindre at et uhell utvikler seg og får fatale konsekvenser. Hvis vi fjerner oss fra prosessen til et kontrollrom eller til en fjernstyringssituasjon, blir dette svært annerledes enn når vi er lokalt involvert, slik som ved bilkjøring. I andre sammenhenger er det kombinasjonen av handlingene til flere personer som er viktig, slik som for flygeleder og flyger og uteoperatør og kontrollromsoperatør i et prosessanlegg. Dessuten blir de fleste mennesker sløvet av rutineoperasjoner, og det begrenser i hvor mye og raskt vi kan behandle informasjon, slik at det alltid blir en avveining av hva maskinene skal gjøre og hva mennesket egner seg best til.

I de fleste anvendelser ønsker en å ha et anslag av hvor god sikkerheten er eller hva sannsynligheten for at noe skal gå feil. Fortekniske løsninger finnes det et forholdsvis velutviklet metodikk og datagrunnlag for å vurdere dette, mens en for mennesket som del i et slikt system antar alt fra at de ikke bidrar positivt, til at de nesten alltid reddersituasjonen. utfordringen blir da hvordan en skal få et realistisk anslag overrisikoen forbundet med forskjellige operasjoner og anlegg, og ha en entydig måte å tallfeste menneskets ytelse på i slike sammenhenger.

Oppgaven gitt: 12. januar 2009

Hovedveileder: Tor Engebret Onshus, ITK

Sammendrag

Menneskelige feil under sikkerhetskritiske operasjoner kan få fatale følger og fantastiske økonomiske konsekvenser. Mennesket står for over 80-90% av alle ulykker, og bedrifter over hele verden har måttet kaste inn håndkle på grunn av menneskelige feil. Dette skaper et behov for kunnskap om hva som forårsaker disse feilene. Å kunne forutse og prediktere de menneskelige feilene er det beste våpnet for å unngå, ufarliggjøre og/eller nøytralisere dem, og vil dermed være svært verdifullt. De siste 20-30 årene har mange forskere verden over satt seg som mål å finne nøkkeln til å prediktere menneskets handlinger. Men fordi mennesket er en utrolig uforutsigbar skapning og våres beslutningsprosess er skjult, ikke-observerbar, byr denne oppgaven på mange utfordringer.

Det finnes mange og svært ulike sikkerhetskritiske operasjoner der det er stort behov for å kunne estimere sikkerheten. I denne oppgaven er det valgt et scenario fra petroleumsindustrien der en produksjonsbrønn skal åpnes. Scenarioet beskrives og analyseres i detalj før estimeringsprosessen påbegynnes, slik at alle mulige menneskelige feil under operasjonsprosedyren er kartlagt først.

Rasmussens teorier om menneskets beslutningsprosess og Endsleys teorier om systembevissthet kan brukes til å forklare enhver menneskelig handling. Disse teoriene benyttes i denne oppgaven som springbrett for å utvikle et estimeringsrammeverk for å prediktere menneskelige feil. Ved å tilføye rammeverket noen sentrale elementer hentet fra estimeringsmetoden SPAR-H, lyktes det å estimere påliteligheten til mennesket under det valgte sikkerhetskritiske scenarioet. Estimeringen ga en risiko på $2,74 * 10^{-3}$ for at mennesket gjør en feil i løpet av operasjonsprosedyren som resulterer i en farlig situasjon. Men dette var bare en halv seier.

For å kunne gjennomføre estimeringen var det behov for å gjøre/ta en rekke forenklinger og antagelser. Dette reduserte kredibiliteten til estimeringen dramatisk. Disse forenklingene kom som et resultat av manglende tilgang til felldata fra situasjoner nærliggende det valgte scenarioet. Kun dersom alle mulige sider ved og rundt operatørene, oppgavene og systemet er kjent er det mulig å gjøre en fullgod risikoestimering av scenarioet. Og med tanke på at mange av elementene bak operatørens beslutningsprosess er skjulte kan dette raskt bli svært problematisk.

Men det er som denne oppgaven viser mulig å gjøre et greit estimat av tallverdier på påliteligheten til mennesket, uten denne totale kjennskapen. Omfattende felldata fra atomanlegg har resultert i en estimering av gjennomsnittelig feilrate for operatører. Ved å identifisere elementer som er med på å øke eller redusere risikoen for menneskelige feil under et scenario, kan den gjennomsnittelige feilraten benyttes som en base for å beregne påliteligheten til operatøren(e) i det aktuelle scenarioet.

Forord

Denne masteroppgaven om menneskelige feil inngår i mitt sivilingeniørstudie i Teknisk Kybernetikk ved NTNU. Denne oppgaven er 3-delt. Den består av en ”state-of-the-art”-del, som i hovedsak kartlegger viktige elementer som påvirker menneskets handlinger. En scenarioanalyse-del, som presenterer og analyserer en operasjonsprosedyre for å åpne en stengt produksjonsbrønn på en oljeplattform. Og en estimerings-del der påliteligheten til mennesket og risikofaktoren til scenarioet beregnes.

Det finnes mye velutviklet metodikk for å estimere risikoen for menneskelige feil. Metoden utviklet i denne oppgaven bærer enkelte klare likhetstrekk med andre eksisterende metoder og klarer ikke å tilføre noe revolusjonerende gjennombrudd til forskningsgrenen ”menneskelige feil”. Men en noe ulik innfallsvinkel gjør at den fungerer som et greit supplement, med potensiale for videre utvikling.

Oppgaven kan benyttes som et utgangspunkt for å beregne sikkerheten på liknende scenarioer, eller som hjelpemiddel for å utvikle nye metoder for å beregne påliteligheten til mennesket.

Innholdsfortegnelse

1 - INTRODUKSJON (OPPGAVETEKST/PROBLEMBESKRIVELSE)	7
2 - BEHOVET FOR Å KUNNE ESTIMERE PÅLITELIGHETEN TIL MENNESKET	9
2.1 - HÅND I HÅND MED SIKKERHETEN	9
2.2 - BEHOVET FOR Å MÅLE SIKKERHETEN TIL ET SYTEM, EN ARBEIDSRUTINE O.L.	9
3 - STATE OF THE ART	11
3.1 - MENNESKET HOLDES ANSVARLIG	11
3.2 - MENNESKE SOM EN MASKIN	12
3.3 - HVORFOR VELGER IKKE MENNESKET ALLTID RETT LØSNING?	12
3.3.1 - MENNESKELIGE FAKTORER	12
3.3.2 - DET ER MENNESKELIG Å FEILE	14
3.4 - KATEGORISERING AV FEIL	14
3.5 - OPERATØROPPFØRSEL	17
3.5.1 - FERDIGHETSBASERT OPPFØRSEL	17
3.5.2 - PROSEDYREBASERT OPPFØRSEL	18
3.5.3 - KUNNSKAPSBASERT OPPFØRSEL	18
3.6 - BESLUTNINGSPROSESS	19
3.7 - SYSTEMBEVISSTHET	21
3.7.1 - NIVÅ 1 - OPPFATTELSE AV ELEMENTER I SITUASJONEN/SYSTEMET	22
3.7.2 - NIVÅ 2 - FORSTÅELSE AV DENNE SITUASJONEN/SYSTEMET	22
3.7.3 - NIVÅ 3 - PROJEKSJON AV FREMTIDIG STATUS TIL SITUASJONEN/SYSTEMET	22
3.7.4 - SYSTEMBEVISSTHET I TEAM	22
3.7.5 - MENNESKELIG FEIL I TEAM	23
3.8 - FAKTORER SOM PÅVIRKER SITUASJONSBEVISSTHETEN	24
3.8.1 - OPPMERKSOMHET	25
3.8.2 - MÅL OG DELMÅL	25
3.8.3 - OPPFATTELSE	26
3.8.4 - PROSESSERING I HJERNEN	26
3.8.5 - UTVIKLING AV MENTAL MODELL	26
3.8.6 - HUKOMMELSE	26
3.8.7 - AUTOMATIKK	27
3.8.8 - EVNER	27
3.8.9 - OPPLÆRING(TRENING)	27
3.8.10 - ERFARING	27
3.8.11 - X-FAKTORER	27
3.8.12 - SYSTEMDESIGN	28
3.8.13 - BRUKERGRENSESNIETTETS DESIGN	28
3.8.14 - STRESS	28
3.8.15 - ARBEIDSMENGDE	30
3.8.16 - KOMPLEKSITET	30
3.8.17 - AUTOMASJON	30

3.9 - ORGANISASJON	31
3.10 - BARRIERER	32
3.11 - METODER FOR Å SETTE TALL PÅ MENNESKETS PÅLITELIGHET	32
4 - SCENARIO ANALYSE	33
<hr/>	
4.1 - SCENARIOET	34
4.2 - RAMMEVILKÅR FOR SCENARIOET	35
4.2.1 - OPERATØRENE	35
4.2.2 - SYSTEM OG AUTOMATIKK	36
4.3 - GJENNOMGANG AV SCENARIOET	36
4.3.1 - STEG 1	37
4.3.2 - STEG 2	37
4.3.3 - STEG 3	37
4.3.4 - STEG 4	38
4.3.5 - STEG 5	38
4.3.6 - STEG 6	39
4.4 - SLUTTILSTANDER FOR SCENARIOET	40
4.5 - MULIGE FEIL UNDER SCENARIOET SINE SEKS STEG	40
4.5.1 - VENTILENE ER IKKE I RIKTIG POSISJON I DET STEG 3 PÅBEGYNNES	41
4.5.2 - TRYKKET ER IKKE HØYT NOK I DET STEG 4 PÅBEGYNNES	42
4.5.3 - ESV* ER IKKE BLITT RESATT I DET STEG 5 PÅBEGYNNES	43
4.5.4 - ESV* ER IKKE BLITT ÅPNET I DET STEG 6 PÅBEGYNNES	44
4.5.5 - C ER IKKE BLITT ÅPNET UNDER STEG 6	45
5 - ESTIMERING	47
<hr/>	
5.1 - GJENNOMSNITTLIG HYPPIGHET AV FEIL	47
5.2 - PARALLELLER MELLOM ENDSLEYS TEORIER OM SYSTEMBEVISSTHET OG SPAR-H	48
5.2.1 - SPAR-H SINE PSF FAKTORER	48
5.2.2 - FAKTORENE SOM PÅVIRKER SYSTEMBEVISSTHETEN	49
5.2.3 - SAMMENLIKNING AV FAKTORENE	50
5.3 - SANNSYNLIGHETEN FOR DE ULIKE FEILTYPENE I SCENARIOET VED HJELP AV SPAR-H	51
5.3.1 - FORSTERKNINGSVERDIER	51
5.4 - SANNSYNLIGHETEN FOR DE ULIKE FEILENE	54
5.4.1 - VEKTING AV MULIGE FEIL UNDER STILLINGEN AV DIAGNOSE STEG 1:	55
5.4.2 - VEKTING AV MULIGE FEIL UNDER HANDLING STEG 1:	55
5.4.3 - VEKTINGEN AV STEG 1-6	56
5.4.4 - SANNSYNLIGHETEN FOR DE ULIKE FEILENE I STEG 1-6	57
5.5 - SANNSYNLIGHETEN FOR ULIKE UTFALL	59
5.6 - SIKKERHETEN TIL OPERASJONSPROSEDYREN OG SYSTEMET	60
6 - DISKUSJON	63
<hr/>	
7 - KONKUSJON	65
<hr/>	

8 - ETTERORD	67
---------------------	-----------

9 - APPENDIX	69
---------------------	-----------

9.1 - LISTE OVER FIGURER	69
---------------------------------	-----------

9.2 - LISTE OVER TABELLER	69
----------------------------------	-----------

9.3 - REFERANSER	70
-------------------------	-----------

9.4 VEDLEGG	71
--------------------	-----------

1 - Introduksjon (Oppgavetekst/Problembeskrivelse)

I de fleste sammenhenger er mennesket den siste barrieren for å hindre at et uhell eller en feil utvikler seg og får fatale konsekvenser. Samtidig har vi ordtaket ”Det er menneskelig å feile”. Dette gjør mennesket til en alvorlig trussel for systemets sikkerhet. En løsning kunne være å automatisere bort mennesket fra slike sikkerhetskritiske situasjoner. Men for mange systemer er det hverken praktisk eller gjennomførbart å gjøre dette med dagens teknologi. Da blir utveien å lage så feilsikre løsninger og rutiner som mulig.

I slike tilfeller ønsker en ofte å ha et anslag på hvor god sikkerheten er eller hva sannsynligheten er for at noe skal gå galt. For tekniske løsninger finnes det en forholdsvis velutviklet metodikk og datagrunnlag for å vurdere dette. Men for mennesket som del av et slikt system, antar man alt fra at de ikke bidrar positivt, til at de nesten alltid redder situasjonen. Det finnes med andre ord ingen gode estimeringsmetoder for eksakt å beregne påliteligheten til mennesket.

Det er mulig å definere menneske som en unik ”maskin” som inngår i det totale systemet. Ingen av avgjørelsene til denne ”maskinen” er tilfeldige. Fordi de ikke er tilfeldige, burde det være mulig å forutse og estimere menneskets handlinger dersom man kjenner alle faktorer som påvirker menneskets avgjørelse, inn-verdiene. Den største utfordringen med denne angrepsvinkelen er at beslutningsprosessen til mennesket er skjult, ikke-observerbar. Samt at et hav av faktorer er med på å styre denne beslutningsprosessen (Erfaring, opplæring, kunnskap, rutiner, motivasjon, fysisk tilstand, psykisk tilstand etc).

Utfordringen blir hvordan en skal få et realistisk anslag over risikoen forbundet med forskjellige operasjoner der mennesket er involvert. Dette gir behov for å kartlegge årsaken til at et menneske tar gal avgjørelse. Det behøves også god kjennskap til det utvalgte scenarioet der påliteligheten til mennesket skal estimeres. Denne oppgaven vil derfor bestå av en State-of-The-Art-del med viktige elementer fra tidligere forskning på menneskets pålitelighet og bakgrunnen for menneskets avgjørelser og handlinger, en scenarioanalyse-del og en pålitelighetsestimerings-del.

Menneskets rolle i systemet kan variere stort. Vi kan fjerne oss fra prosessen til et kontrollrom eller en fjernstyringssituasjon, eller vi kan være lokalt involvert som ved bilkjøring. I andre situasjoner så er det kombinasjonen av handlingene til flere personer som er viktig, slik som flygeleder og flyger eller feltoperatør og kontrollromsoperatør ved et prosessanlegg. Denne oppgaven fokuserer på et sikkerhetskritisk scenario fra petroleumsindustrien, der en feltoperatør og en kontrollromsoperatør skal åpne en avstengt produksjonsbrønn.

Oppgavens mål kan oppsummeres i denne problemstillingen:

-Er det mulig å utvikle en modell eller metode som kan benyttes til å estimere tallverdier på påliteligheten til mennesket ved ulike sikkerhetskritiske operasjoner?

2 - Behovet for å kunne estimere påliteligheten til mennesket

2.1 - Hånd i hånd med sikkerheten

Det finnes utallige ulike installasjoner og systemer der feil kan få fatale følger. Her lages det rutiner og sikkerhetsnett for å redusere risikoen for eventuelle uhell og ulykker til det minimale. Men akkurat hvor sikre operasjonene og systemene egentlig er, er vanskelig å sette fingeren på. Det er mange usikre faktorer som spiller inn på sikkerheten. Og den største og mest usikre av dem alle er operatøren(mennesket) selv. Three Mile Island, Chongqing, Bhopal, Tsjernobyl, Zeebrugge, King's Cross, Piper Alpha, og Clapham Junction er alle eksempler på fatale ulykker der menneskelige feil fikk alvorlige konsekvenser. For å kunne danne et godt bilde av den totale sikkerheten, er det derfor viktig å kjenne til påliteligheten til mennesket.

2.2 - Behovet for å måle sikkerheten til et system, en arbeidsrutine o.l.

Da det antas å være i alles interesse å unngå uhell og ulykker, spesielt i sikkerhetskritiske situasjoner, følger det at nivået på sikkerheten til det aktuelle systemet, arbeidsrutinen eller liknende også er av interesse. Bedrifter streber etter å lage helt "fail-safe" løsninger der ulykker kan få svært fatale konsekvenser. Men ikke for enhver pris, det er også et økonomisk aspekt å ta hensyn til. Sikkerhetsnett og ekstra tidsforbruk til analyser og til rutiner med omfattende dobbel- og trippelsjekking av instrumenter og målinger koster penger. Har man mulighet til å måle sikkerheten kan bedrifter lettere legge seg på et nivå som er trygt, og samtidig kostnadseffektivt.

Muligheten til å måle sikkerheten gir også muligheten til å sikre høy sikkerhet. Det kan med et utvikles standarder for hvor høy sikkerheten skal være ved ulike installasjoner og systemer. Noe som igjen kan gjøre det enklere å stenge for eksempel et anlegg der sikkerheten er for lav, og hvor menneskeliv eller miljø er i fare. Det kan også gjøre mer lugubre anlegg som atomkraftverk og kjemiske prosessanlegg mer aksepterte i "nabolaget".

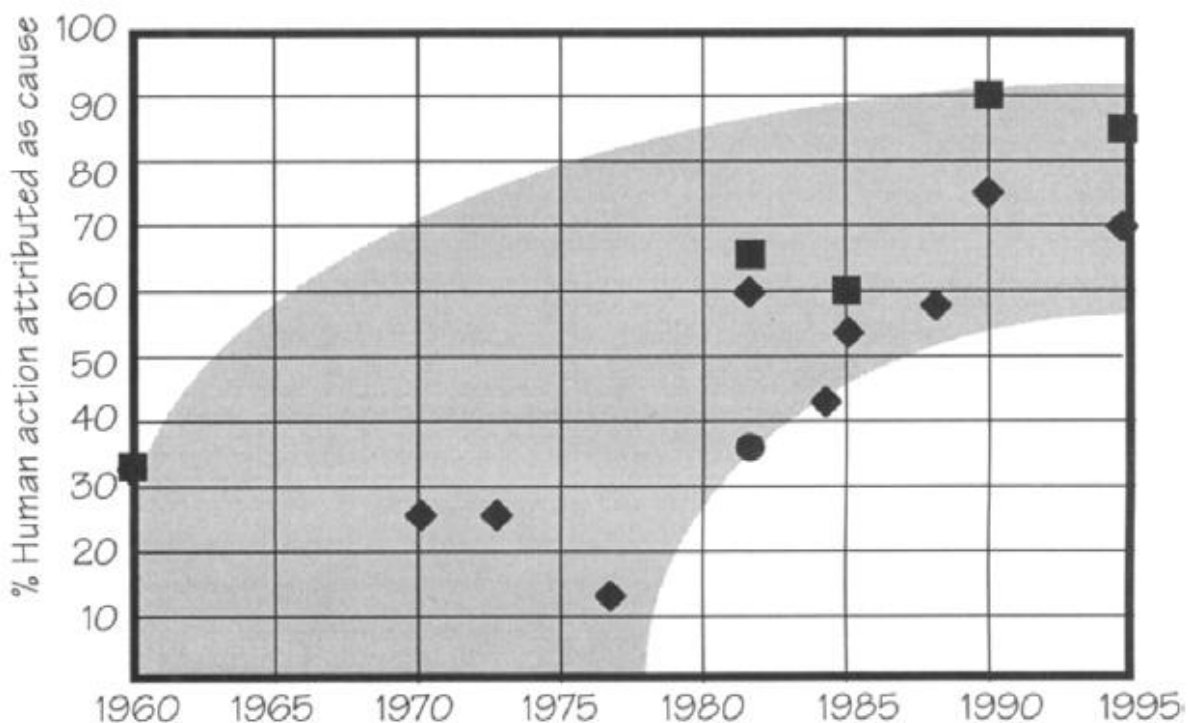
Kan sikkerhetesnivået identifiseres kan det i tillegg avgjøres om det er mulig å lage det aktuelle systemet helt "fail-safe" med mennesket, eller om mennesket i det aktuelle tilfellet i såfall må automatiseres helt bort.

3 - State of the art

3.1 - Mennesket holdes ansvarlig

Behovet for å studere menneskelige faktorer som kunne påvirke sikkerheten vokste frem for 20-30 år siden. Teknologien utviklet seg raskere enn mennesket klarte å henge med. Og resultatet var en voldsom vekst av alvorlige ulykker. Forskere spurte seg selv om det var mennesket eller teknologien som sviktet. Og svaret var entydig. Mennesket var direkte årsak til brorparten av ulykkene.

I [6] har Hollnagel funnet et svært godt eksempel fra NASA. I perioden 1990-1993 hadde NASA 612 små og store uønskede hendelser. Disse hendelsene ble analysert. Det viste seg at 66% skyldtes menneskelig feil, 8% skyldtes svikt av materiell/utstyr, 5% skyldtes dårlige prosedyrer mens 21% skyldtes andre årsaker, deriblant dårlig/manglende kommunikasjon eller opplæring. Dersom kommunikasjonssvikt, dårlig opplæring og liknende også ansees som menneskelig feil, blir menneskelig svikt årsaken til nærmere 90% av hendelsene. Slike resultater skaper et behov for å legge påliteligheten til mennesket under lupen. Og NASA var ikke alene.



Figur 1 - Menneske-maskin ulykker der menneskelig svikt ansees som årsaken

Figur 1 viser hvordan menneskelig svikt i økende grad ble regnet som direkte årsak til ulykker. (Det er viktig å presisere at figuren viser endringen av menneskets oppfatning av feilkilde og ikke impliserer at mennesket gjør flere feil nå enn før.) Mennesket ble plutselig holdt ansvarlig for brorparten av ulykkene, og menneskelige faktorer er i fokus. Det som før ble ansett som teknisk svikt, ble med et ansett som et resultat av feil bruk, manglende vedlikehold eller dårlig design. Forskningen på menneskelig pålitelighet havnet i fokus og skjøyt fart.

Det finnes mange årsaker til denne utviklingen, denne oppgaven har ikke som mål å kartlegge disse. Men det er verdt å nevne at skille mellom utviklerne av et system og operatørene var blitt markant. Operatør kjente i mindre grad enn før til dynamikken i systemet og betydningen av ulike hendelser. Dette kunne gjøre operatøren og dens valg ved ulike situasjoner svært uforutsigbar. Et kroneksempel er nattskiftet under tsjernobyl-ulykken. Operatørene misstolket dataene fra reaktoren, etter en feil under et eksperiment de ikke hadde kunnskap om. Dette resulterte i en serie kritiske hendelser som skulle ført til automatisk nedstengning. Men dette sikkerhetsnettet hadde operatørene valgt å deaktivere da de hadde dannet seg et feil bilde av hva som egentlig foregikk i reaktoren. Og katastrofen var et faktum.

3.2 - Menneske som en maskin

Det er lett å prediktere oppførselen til maskin. Den utfører sine aksjoner på bakgrunn av et gitt antall inputs. Er input-verdiene til maskinen kjent er det alltid mulig å forutse maskinens neste handling. Men selv om mennesket er svært lite predikterbart er ingen av handlingene til mennesket helt tilfeldig. Mennesket handler også på bakgrunn av input-verdier. Input-verdiene behandles i systembevisstheten, og mennesket velger deretter sin aksjon. Problemet er bare at input-verdiene er skjulte og at alle de overnevnte faktorene påvirker systembevisstheten. Det vil derfor være mulig å forklare menneskers handlinger, men ikke mulig å forutse dem med sikkerhet. Disse problemene med å se på mennesket som en maskin er oppsummert i den følgende listen hentet fra [1].

Mennesket er:

- ✚ et ikke lineært system.
- ✚ en "maskin" programmert på en slik måte at man ikke kommer til "programmet."
- ✚ en "maskin" som mer eller mindre kontinuerlig forandrer på sitt program - uten å si ifra om det.
- ✚ en "maskin" som er meget var mot støy og forstyrrelser fra omgivelsene.
- ✚ en "maskin" som tenker.
- ✚ en "maskin" som kan har følelser, kan uttrykke seg og utføre handlinger.
- ✚ en "maskin" som aktivt forsøker å hindre all undersøkelse av sin funksjonsmåte.

Det er derfor uhensiktsmessig å prøve å prediktere operatørers handling kun utifra data de har tilgjengelig.

3.3 - Hvorfor velger ikke mennesket alltid rett løsning?

Det er mange årsaker til at et menneske gjør feil. Det er svært mange elementer som påvirker våre avgjørelser både bevisst og ubevisst.

3.3.1 - Menneskelige faktorer

Det finnes et hav av ulike faktorer som påvirker operatøren og dens handlinger/oppførsel. I *Bruerkommunikasjon i automatiserte anlegg* [1] har Arthur B. Aune laget en oversikt over de viktigste faktorene på en arbeidsplass.

Arbeidsmiljø og -klima

- + temperatur, luftfuktighet, trekke
- + støy og vibrasjoner
- + vanlig renhold
- + arbeidsgruppers størrelse
- + arbeidstider, pauser
- + tilgjengelighet og kvalitet på arbeidshjelpemidler
- + overordnedes opptreden
- + arbeidskameraters opptreden
- + ros, belønning
- + organisasjonsformer, ansvar, kommunikasjon, ol.

Arbeidsoppgaver

- + perseptuelle krav
- + forventningskrav
- + motoriske krav (hurtighet, styrke, presisjon)
- + vurdering av situasjoner og beslutningsdyktighet
- + kompleksitet (informasjonsbelastning)
- + langtids og korttids hukommelse
- + kontinuitet i arbeidet (diskret eller kontinuerlig)
- + tilbakemelding (informasjon om resultater)
- + oppgavers omfang og betydning
- + gruppesammensetning
- + kontaktflaten menneske-maskin (instrumenter, betjeningsorganer, skjermbilder, ol.)

Innviduelle faktorer

- + opplæring, trening, erfaring
- + dyktighet i arbeidet
- + personlighet og intelligens
- + motivasjon og holdninger
- + kunnskap om krav til arbeidsoppgaver og deres vanskelighetsgrad
- + alder, fysisk kondisjon, sykdom
- + innflytelse fra familie og andre utenfor arbeidet
- + tilpasningsevne til arbeidsgruppen

Psykologisk belastning

- + arbeidshastighet
- + arbeidbelastning
- + høy risikofaktor
- + risikoen for å mislykkes
- + monotont eller meningsløst arbeid
- + lange hendelsesløse arbeidsperioder (opprettholde årvåkenhet)
- + mangel på belønning
- + endringer i egne funksjoner (t.eks. sanseorganer)
- + fysisk eller sosial isolering
- + støy, forstyrrelser (lyder, blending, bevegelser, mennesker)

Fysiologisk belastning

- + tretthet, smerte, ubehag
- + sult eller tørst
- + ekstreme temperaturer
- + lufttrykk
- + mangel på sustoff (ventilasjon)
- + vibrasjoner
- + Mangel på fysisk trening

3.3.2 - Det er menneskelig å feile

Det er rimelig å anta at operatøren ønsker å ta det beste valget i en hver situasjon. Ved en menneskelig feil er det derfor åpenbart at det er oppfatningen av situasjonen, kunnskapene om konsekvensene ved ulike valg eller selve utførelsen av de ulike handlingene som er hovedproblemet.

I tillegg har mennesket noen karakteristiske sider som i mange situasjoner kan lede til avorlige feil. Jan Heimdal [5], forsker ved Institutt for energiteknikk i Halden (IFE), laget denne oversikten:

Mennesket har en lei tendens til å:

- + Forsøke å yte minst mulig for å oppnå et mål.
- + Søke anerkjennelse hos andre.
- + Leke med teknologi (når de føler seg komfortable med den).
- + Alltid utføre en handling som en respons til en situasjon/hendelse, selvom det ikke har fullt ut forstått situasjonen/hendelsen.
- + La små avvik og symptoner på feil passere når det er slitent.
- + Se kun det de ønsker å se.

Denne listen vitner hardt om uforutsigbarheten til mennesket. En åpenbar mangel på disiplin som ligger i menneskets natur. Det er ikke rart at utsagnet ”Det er menneskelig å feile” har dukket opp. Men disse tendensene er ikke bare negative. For eksempel er spesielt de tre første punktene viktige faktorer som har ledet til mange viktige oppdagelser og oppfinnelser. Og i IT-miljøer har mange sagt at de lateste programmererne er de beste, da det ofte er de som finner nye, enklere og raskere løsninger på oppgaver.

3.4 - Kategorisering av feil

For å beregne påliteligheten til mennesket er det viktig å kunne skille mellom ulike typer feil. En kategorisering av feilene med hensyn på årsak vil være å ta seg vann over hode, da det bak enhver menneskelig handling finnes en kompleks sammensetning av årsaker. En mer populær og mer hensiktsmessig fremgangsmåte er å kategorisere feilene etter når de oppstår i beslutningsprosessen. J. Rasmussen beskriver i [9] menneskets beslutningsprosess som ni ulike trinn.

- + *Deteksjon* av en hendelse/situasjon, som er en forutsetning for aksjon. Operatøren er i en overvåket tilstand.
- + *Observasjon* av viktige data.
- + *Identifikasjon* av systemets nåværende tilstand.
- + *Tolkning* av mulige konsekvenser og mål.
- + *Evaluering* av mulige mål og valg av et av disse.
- + *Tolkning* av mål som resulterer i valg av ønsket tilstand.
- + *Definisjon* av operatøroppgave som fører fram til ønsket tilstand.
- + *Formulering* av prosedyre basert på valgt oppgave.
- + *Utførelse* av prosedyren.

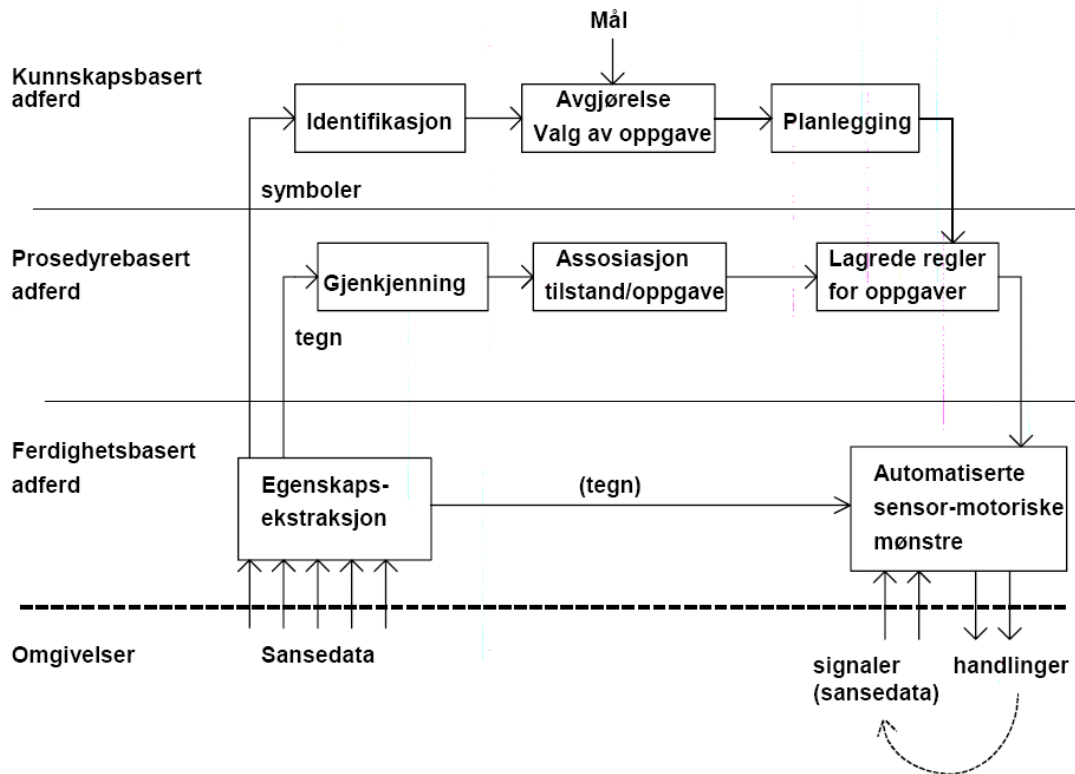
Tabell 1 er inspirert av en liknende tabell i [14] og er basert på en forenklet versjon av Rasmussens beslutningsprosess. Tabellen kategoriserer de menneskelige feilene etter når de oppstår i beslutningsprosessen. Denne tabellen vil bli en viktig grunnstein i scenario analysen og estimeringen.

Generell kategori	Spesifikk kategori
1. Deteksjon av hendelse/situasjon	a. Mangelfull
2. Observasjon av viktige data	a. Mangelfull b. Gjentatt
3. Identifikasjon av systemets tilstand	a. Mangelfull b. Misforstått c. Gjentatt
4. Tolkning av mulige konsekvenser og mål. (Valg av hypotese)	a. Inkonsistens med symptoner (data) b. Konsistens, men usannsynlig c. Konsistens, men kostbar d. Funkjonelt irrelevant
5. Evaluering av mulige mål og valg av disse. (Valg av prosedyre)	a. Ufullstendig b. Upassende c. Manglende
6. Utførelse av prosedyre	a. Feil rekkefølge eller overhopp av trinn b. Annet c. Dårlig gjennomføring av handling
7. Resultat av tidligere feil	a. Følgefeil

Tabell 1 - Kategorisering av menneskelige feil

3.5 - Operatøroppførsel

Ulike operatører oppfører seg ulikt. Det er derfor i denne oppgaven også viktig å belyse operatørens oppførsel. Igjen tas det utgangspunkt i J. Rasmussen sine arbeider. I 1983 presenterte Rasmussen et enkelt rammeverk av operatøroppførsel [10]. Figur 2 viser modellen han kom frem til.



Figur 2 - Operatøroppførsel

Rasmussen sitt rammeverk gir en kvalitativ beskrivelse av operatøroppførsel. Adferden ved en tilstand/hendelse deles inn i 3 ulike hovedkategorier: Kunnskapsbasert, prosedyrebasert og ferdighetsbasert.

3.5.1 - Ferdighetsbasert oppførsel

Her er det en direkte kobling mellom sansedata og motoriske bevegelser. "automatiserte sensor-motoriske mønstre". Her er adferden så godt innøvd at den går automatisk. Reaksjonen på en tilstand/hendelse sitter nesten i benmargen. Operatøren reagerer og handler raskt, men ikke gjennomtenkt. Prosesseringen av situasjonen foregår i underbevisstheden til operatøren, og operatøren vil knapt huske situasjonen. Ferdighetsbasert oppførsel er optimalisert med hensyn på ressursforbruk. Ferdighetsbaserte handlinger har høy grad av predikterbarhet.

Ferdighetsbasert adferd påvirkes i mye mindre grad av stress enn adferd ved de to andre hovednivåene. Innenfor noen spesielle operatørgrupper er det derfor svært gunstig at operatøren oppnår høyest mulig grad av ferdighetsbasert adferd. Militæret er et godt eksempel på nettopp dette. Her er det høyt fokus på å drille operatørene på ulike oppgaver, slik at de kan fortsette å prestere under svært vanskelige og kritiske forhold.

Eksempel: En person, i sitt eget hjem, skruer på lyset på badet og går inn. Personen vil i ettertid ha problemer med å svare på om han skrudde på lyset eller om det faktisk stod på. Hånden søkte lysbryteren i det øyeblikk øyet oppfattet at det var mørkt på badet. Det var aldri en aktiv beslutning om å skru på lyset.

Typiske ferdighetsbaserte oppgaver: Manuell styring, signaldeteksjon og estimering.

3.5.2 - Prosedyrebasert oppførsel

Her er det en kobling mellom gjenkjenning av mønstre til tilhørende aksjoner. Sansedataene undersøkes for mønstre. Disse mønstrene eller tegnene er knyttet til en tilstand/situasjon som igjen er knyttet til en eller flere handling. Prosedyrebasert adferd er mer ressurskrevende og går tregere enn ferdighetsbasert adferd, men ikke mye. Assosiasjonen mellom tegn og oppgave innebærer ingen direkte prosessering hos operatøren. Isteden blir det aktivert prosedyrer eller regler som kontrollerer en sekvensering av ferdighetsbaserte handlinger.

Reglene i prosedyrebasert oppførsel utvikler seg, modifiseres og fornyes, gjennom opplæring og praktisk erfaring. Dersom det er utviklet klare standard operasjonsprosedyrer og operatøren har svært god kjennskap til disse, da har også prosedyrebasert oppførsel høy grad av predikerbarhet. Men har derimot operatøren laget seg egne regler utifra sin egen forståelse av systemet, da har vi en stor kilde til usikkerhet.

Eksempel: En person går inn på et mørkt bad han aldri før har vært. Han ser lyspunktet i taket, og søker umiddelbart etter en lysbryter. Han finner den og skruer på lyset. Også dette tilfellet vil gå raskt for seg og kreve lite av operatøren. Lyspunktet er her tegnet som aktiverer et søk etter lysbryteren. Og reglene er sammenhengen mellom aktivering av lysbryter og lys.

Typiske prosedyrebaserte oppgaver: Overvåkning

3.5.3 - Kunnskapsbasert oppførsel

Her foregår det en bevisst prosessering av situasjonen/hendelsen hos operatøren. Denne typen adferd aktiveres når det oppstår ukjente/uforutsette situasjoner der operatøren ikke har veletablerte regler å benytte seg av. Sansedataene undersøkes for symboler. Operatøren bruker disse symbolene til å ta danne seg et bilde av systemets tilstand. Deretter velger operatøren oppgave utifra ønsket ny tilstand til systemet. Brukeren analyserer ulikhetene mellom nåværende og ønsket tilstand, og resonerer seg frem til hvordan den ønskete tilstanden (målet) skal nåes. Når operatøren har planlagt hvordan målet skal nåes, benyttes prosedyrebasert oppførsel, med sine lagrede regler, til videre utførelse av oppgaven. Det er vanlig å si at operatøren lager sin egen mentale modell av situasjonen, og at han tar sine avgjørelser på bakgrunn av denne modellen. Kunnskapsbasert oppførsel går derfor også under navnet modellbasert oppførsel.

Kunnskapsbasert oppførsel er svært uforutsigbar. Her må brukeren selv oppfatte det essensielle ved situasjonen/hendelsen, definere ønsket slutt tilstand/mål og resonere seg frem til hvordan systemet kan manipuleres i riktig retning. Utfallet av kunnskapsbasert oppførsel er dermed i høy grad avhengig av den bevisste prosesseringen til operatøren. Da hvert mennesket tenker ulikt, innehar ulik mengde kunnskap og blir ulikt påvirket av stress og liknende er det med et veldig mange faktorer som spiller inn. Og kunnskapsbasert oppførsel blir dermed svært lite predikterbar.

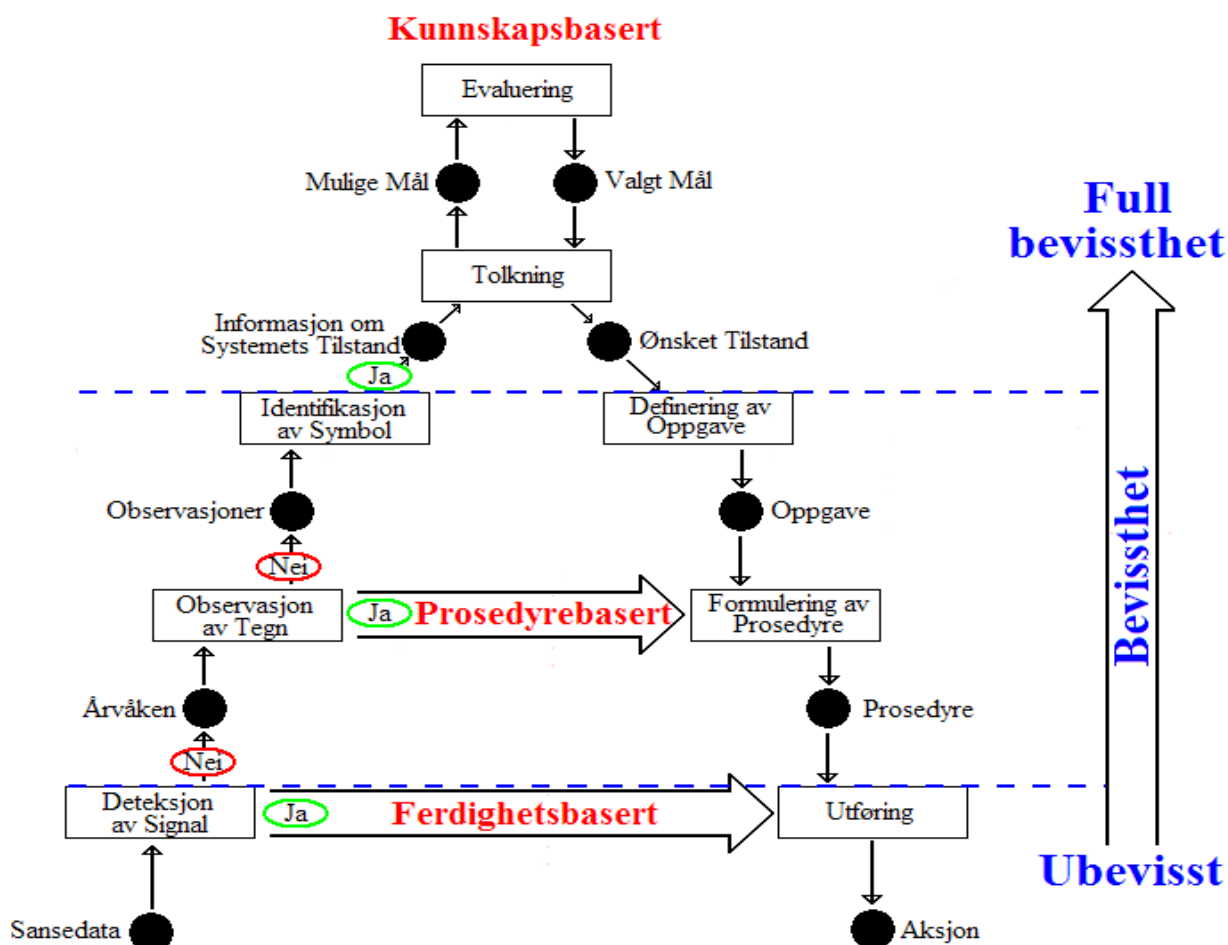
Eksempel: En person går inn på et mørkt bad han aldri før har vært. Han ser lyspunktet i taket, men finner ingen lysbryter. Men han finner derimot en liten sort bryterløs boks festet på ledningen til lyspunktet. Personen resonerer seg frem til at denne boksen trolig er aktiveringsmekanismen. Fordi boksen ikke har noen knapper og åpenbart ikke reagerer på bevegelse i rommet, bestemmer han seg for å prøve å aktivere lyset med lyd. Han klapper i hendene. Lyset kom på. Her blir lyspunktet og etterhvert den sorte boksen (lydbryteren) symbolet. Målet blir lys på badet. Valgt oppgave blir å finne ut hvordan lyset aktiveres. Den sorte boksen analyseres frem til å være en bryter, som igjen resoneres frem til å kunne aktiveres ved lyd. I denne situasjonen kunne det fort tatt lang tid med mye prøving og feiling før personen klarer/gir opp å skru på lyset.

Typiske kunnskapsbaserte oppgaver: Planlegging, Gjøre beslutninger

3.6 - Beslutningsprosess

Det er flytende grenser mellom de tre ulike oppførselsene definert av Rasmussen. Og det er ikke alltid like lett å definere hvilken type adferd som dominerer en bestemt handling. Men i hovedsak er ferdighetsbasert adferd preget av automatikk/impulser. Prosedyrebaseret adferd er en handling etter observasjon av tegn. Og kunnskapsbasert adferd er en planlagt handling etter analyse av observerte symboler. Sammenhengen mellom de tre gruppene gjør det naturlig og også gå inn i selve beslutningsprosessen, da dårlige beslutninger leder til mange menneskelige feil. Utifra Tabell 1 kan det tydelig sees at alle typer feil i kategori 1-5 kan spores tilbake til faktorer i beslutningsprosessen.

Modellen i **Figur 3** er inspirert av en tilsvarende modell i [9], og viser beslutningsprosessen basert på Rasmussens oppførselskategorier. Modellen inneholder grad av bevissthet og overgang fra sansedata til aksjon.



Figur 3 – Beslutningsprosess

Deteksjon av signal utløser automatisert sensor-motorisk handling. Observasjon av tegn utløser formulering av prosedyre. Identifikasjon av symbol utløser en bevisst prosessering av tilstand, mål og valg av oppgave. Forskjellen mellom signal, tegn og symboler fra sansedatene er relatert til hvordan operatøren tolker og bruker de, og har lite med hvordan informasjonen blir presentert. To operatører som utfører samme arbeidsoppgave kan fort ha ulik oppfatning av hva som er signal, tegn eller symboler.

Operatører med lang erfaring vil ha en tendens til å detektere flere signaler utifra sansedatene, enn sine kollegaer med kortere erfaring. Nyutdannete og ansatte under opplæring befinner seg ofte i øvre del av modellen. Jo høyere operatøren kommer i beslutningsprosessmodellen jo mer avhengig blir han av sin systemforståelse.

Predikterbarheten for sammenhengen mellom situasjon/hendelse og valg av aksjon er generelt sett alltid høyere jo lengre ned i modellen operatøren befinner seg. Det er i hovedsak mindre sjanse for at en handling basert på rutine og lang erfaring går galt, enn en bevisst handling i en mer ukjent og uforutsett situasjon. Men det er langt fra slik at det er en direkte sammenheng mellom grad av bevissthet og grad av predikterbarhet i beslutningsprosessmodellen.

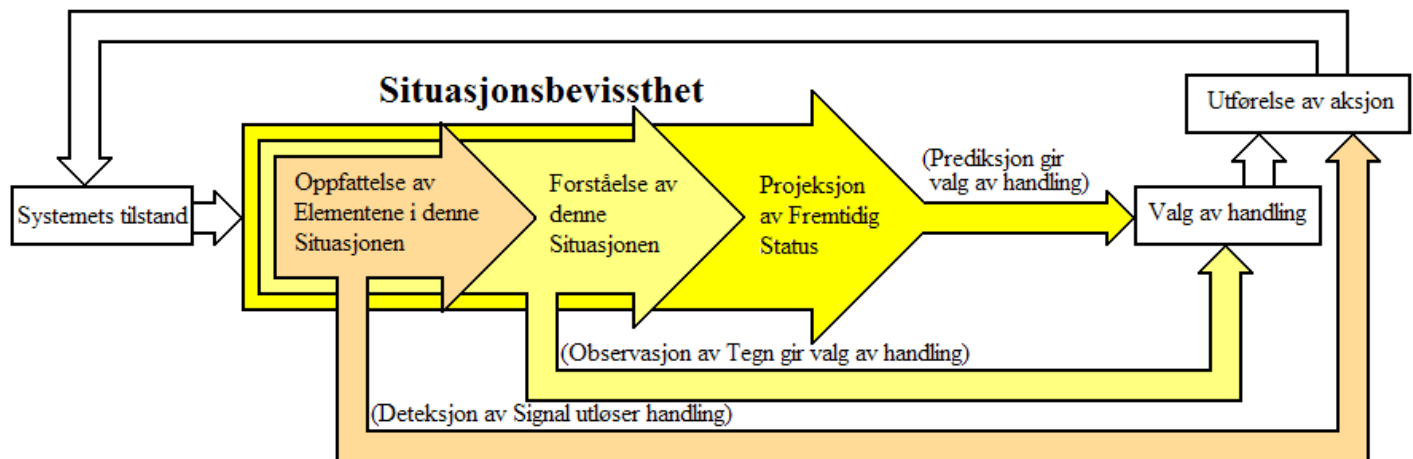
Ulike former for stress og tidspress vil påvirke operatøren til å forsøke og korte ned på beslutningsprosessen. Evaluerings- og tolkningsprosessen kan bli forhastet, eller operatøren kan ta sjansen på å tolke et symbol som et tegn, eller et tegn som et signal. Resultat er en mindre gjennomtenkt, svært lite predikterbar aksjon, med høy risikofaktor.

Motsatt vil motivasjon, ansvarsfølelse og usikkerhet påvirke operatøren til å forlenge beslutningsprosessen og være mer bevisst på sine handlinger. Operatøren vil slik redusere sin risiko for å gjøre feil, og øke predikterbarheten på sinhandling.

En operatør som detekterer signaler og observerer tegn ved en hendelse/situasjon, men likevel velger å tolke disse som symboler på systemets tilstand og derfor tar en mer gjennomtenkt avgjørelse, vil ha svært høy predikterbarhet og minimalisere risikofaktoren. Men slik adferd blir fort svært krevende, ineffektivt og ofte lite motiverende for operatøren.

3.7 - Systembevissthet

Beslutningsprosessen er basert på sansedata og systemforståelse. Dersom operatøren har et feilaktig bilde av situasjonen/hendelsen vil det fort kunne påvirke valget av hans aksjoner slik at det oppstår en feil. Systembevissthet er derfor en svært viktig faktor. **Figur 4** viser sammenhengen mellom Rasmussens kategorisering av operatøroppførsel og situasjonsbevissthet. Situasjonsbevisstheten utgjør her rammen for operatøroppførslene til de leder ut i en handling.



Figur 4 – Situasjonsbevissthet

Systembevissthet har blitt viet svært lite oppmerksomhet gjennom årenes løp. Men med økt fokus på menneskelige feil på slutten av 90-tallet, kom også dette området mer i fokus. Situasjonsbevissthet er komplekst og vanskelig å definere. Blant forskere hersker det faktisk fremdeles en viss uenighet om nytteverdien av i det hele tatt å definere situasjonsbevissthet. Etter å ha sammenliknet argumentene for og mot en klar definisjon i [12] og [3], så jeg det som relevant å prøve å definere situasjonsbevissthet. Dette valget er i hovedsak tatt fordi situasjonsbevissthet har blitt et ganske løst begrep.

Slik jeg ser det tas alle våre valg på bakgrunn av situasjonsbevisstheten. Det er vår totale forståelse av situasjonen. Missforståtte eller feiltolkede elementer i situasjonen utgjør også en del

av situasjonsbevissthet. Begrepet må også inneholde operatørens evne til å lage en projeksjon av fremtidig status. Sterkt påvirket av [3] kom jeg opp med denne definisjonen:

Med situasjons- og systembevissthet menes:

- operatørens oppfattelse av elementer i situasjonen/systemet (Sansedata),
- all kunnskap og forståelse som operatøren har og tror han har om systemet/situasjonen,
- operatørens evne til å lage en projeksjon av fremtidig status som et resultat av ulike valg/aksjoner.

I [3] beskriver Endsley situasjonsbevissthet som 3 hierakiske nivåer. Disse nivåene er veldig lett å se i sammenheng med Rasmussens kategorisering av operatør adferd, Figur 4. I denne oppgaven tas det utgangspunkt i disse nivåene for å utdype situasjonsbevissthet. En slik tredeling av situasjonsbevissthet er veldig vanlig når begrepet skal forklares.

3.7.1 - Nivå 1 - Oppfattelse av elementer i situasjonen/systemet

Hva er det som skjer?

All informasjon som operatøren oppfatter ved hjelp av sansene, og som han anser som relevant for situasjonen/systemet. Operatøren søker etter status, attributter og dynamikk til relevante elementer. Her kan ferdighetsbasert adferd aktiveres dersom operatøren sanser noe som han tolker som et signal.

3.7.2 - Nivå 2 - Forståelse av denne situasjonen/systemet

Hvorfor skjer det?

Operatørens evne til å se sammenhengen mellom informasjonsdataene han tilegnet seg på nivå 1. Operatøren går fra å være klar over tilstanden til elementene, til å forsøke å forstå betydningen av de. Operatøren danner seg et bilde av nåværende tilstand. Her kan prosedyrebaset oppførsel aktiveres dersom operatøren er kjent med nåværende tilstand og kjenner den/de tilhørende prosedyren.

3.7.3 - Nivå 3 - Projeksjon av fremtidig status til situasjonen/systemet

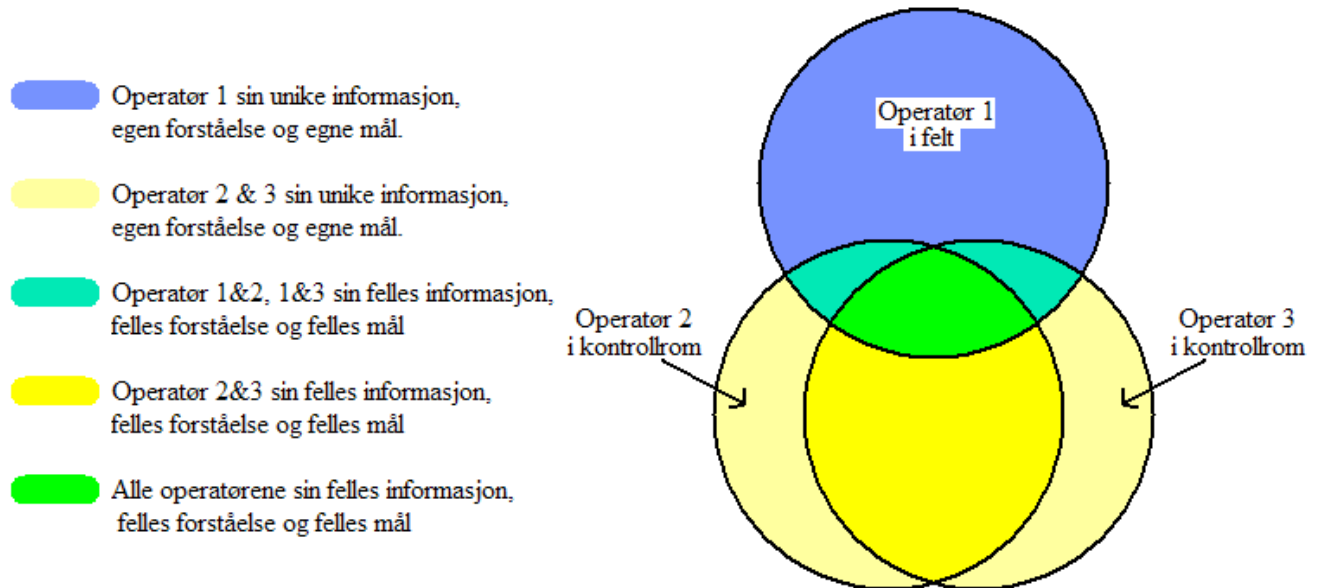
Hva vil skje etterpå?

Egenskapen til å danne en projeksjon av fremtidig status utifra nåværende tilstand og operatørens kunnskap om situasjonen/systemet. Dette gjøres ved å benytte all samlet informasjon som ansees som relevant fra nivå 1 og nivå 2. Denne informasjonen tolkes og evalueres. Og operatøren planlegger gjennomføringen av den eller de handlingene som han anser som best egnet for å oppnå ønsket tilstand. Dette er kunnskapsbasert adferd.

3.7.4 - Systembevissthet i Team

Systembevissthet bygges opp over tid og er i konstant fluks. Operatøren vil kontinuerlig danne nye sanseintrykk og endre sin forståelse av situasjonen/systemet. Systembevissthet bygger på operatørens erfaring og kunnskap, i tillegg til sansene, derfor vil systembevissthet være svært individuelt. Dette har mye å si i team-arbeid. Operatører i et team har ofte forskjellig tilgang til informasjon, de prøver å løse ulike oppgaver for å nå egne delmål. Men de jobber alle mot et eller flere felles hovedmål. Figur 5 viser en oversikt over den totale situasjonsbevissthet til et team bestående av en feltoperatør og to operatører i kontrollrom. Fordi feltoperatøren sine oppgaver er svært forskjellige fra operatørene i kontrollrommet, og fordi feltoperatøren har tilgang på mye informasjon som de ikke har i kontrollrommet, vil de ha svært ulik systembevissthet. Sirklen til feltoperatøren i Figur 5 er derfor mer selvstendig, imotsetning til operatørene i kontrollrommet,

som i dette eksempelet åpenbart arbeider ganske tett. All felles informasjon, all felles forståelse og alle felles mål er representert med grønt i Figur 5. Dette området er et resultat av kommunikasjon mellom operatørene, felles tilgjengelighet til en type informasjon, liknende erfaring/kunnskap eller liknende.



Figur 5 - Systembevissthet i et team

3.7.5 - Menneskelig feil i team

Dersom et team-medlem misoppfatter sansedata, misforstår situasjonen eller gjør feil antagelser i sitt unike felt i modellen, vil de andre operatørene ikke være i stand til å detektere dette. De vil heller ikke påvirkes av denne feilen. Først i det tilfellet det oppstår en feil på et område med felles systembevissthet kan de andre operatørene rette opp feilen eller bli påvirket av den korrupte informasjonen. Men en feil oppstått i "egen sone" kan fort spre seg, dette skjer ved hjelp av følgefeil. Aksjoner basert på eller deling av korrupt informasjon er kronexemplar på slike følgefeil.

En feltoperatør sin manuelle måleravlesning er et eksempel på systembevissthet i "egen sone." Operatøren danner seg en egen forståelse av situasjonen og en egen projekson av fremtidig status utifra denne feilaktige avlesningen. På kontrollrommet er de helt uaffektet av feilen, helt til feltoperatøren melder inn avleste målinger eller gjør en aksjon på feil grunnlag. Da har feilen spredd seg til en "sone" med felles systembevissthet.

Fordi systembevissthet består av tre svært komplekse nivåer, skal det noe til før en feil oppstår i en "felles sone." Dette fordi begge operatørene i såfall må gjøre den nesten identisk samme feilen innenfor et lukket tidsrom. Feilene må være veldig like for ikke umiddelbart å bli oppdaget. Dette er utdypet mer i de 3 følgende avsnittene.

3.7.5a - Feil i team på nivå1 i systembevisstheten

I nivå 1 er det oppfattelsen av elementer som er i fokus. Her er det mye mer sannsynlig at en feil oppstår hos en operatør alene i "egen sone" enn i en felles en. Dette fordi en felles feil vil kreve at begge operatørene konstruerer den samme feilen utifra sansene. Det vil være et scenario som

sjelden vil oppstå. Sannsynlighet for at det oppstår en feil utifra en felles misoppfattelse er derfor liten. Manglende deteksjon av informasjon eller et signal er det eneste som kan forventes å kanskje oppstå. Men fordi 2 par øyne ser bedre enn 1 par er det fremdeles størst sannsynlighet for feil i ”egen sone.”

3.7.5b - Feil i team på nivå2 i systembevisstheten

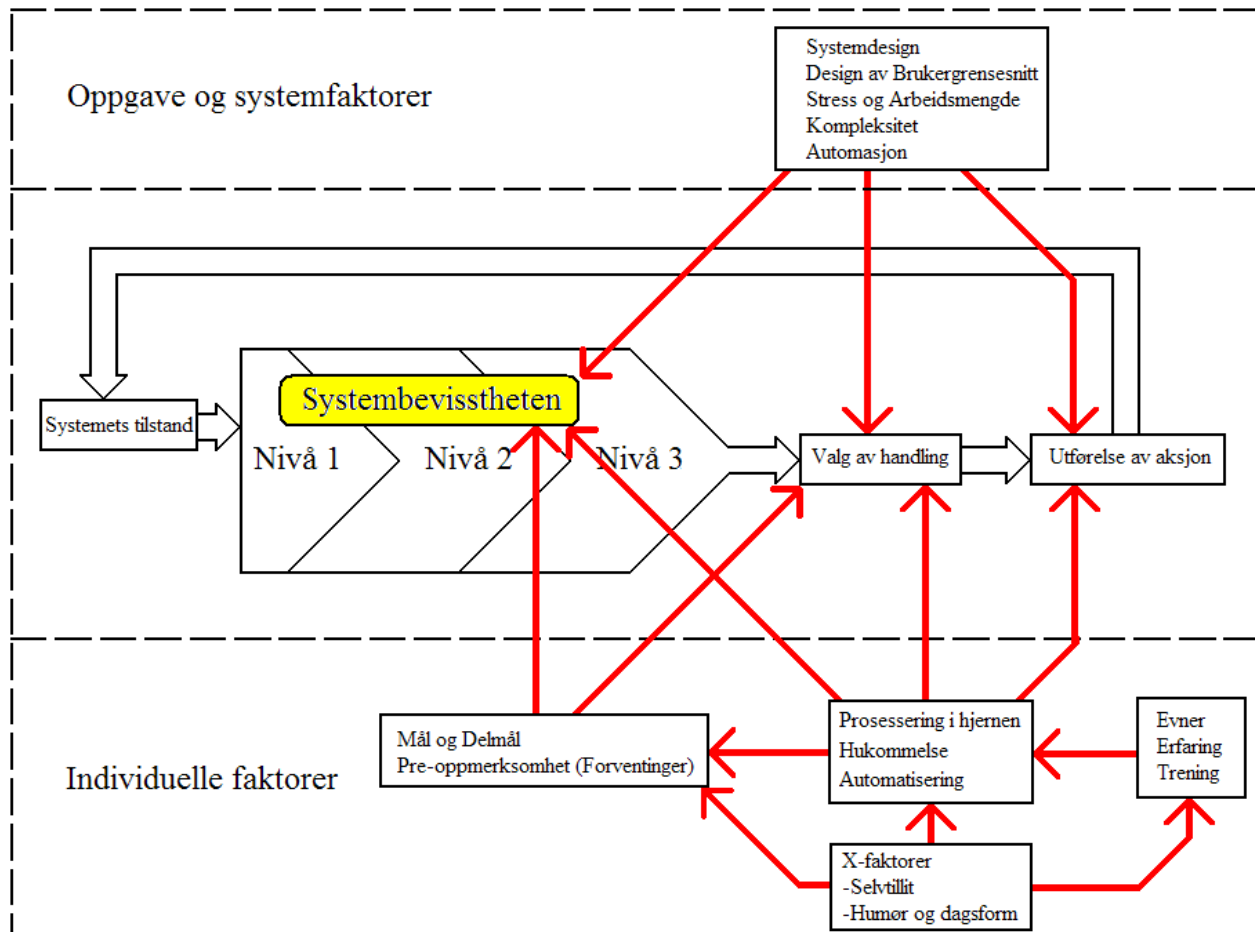
Nivå 2 omhandler forståelsen av situasjonen. Også her er skal det mye mer til for at en feil oppstår i ”felles sone” enn på ”egen sone”. For at feilen skal oppstå her, og ikke være en følge feil, må informasjonen forståelsen bygger på være korrekt. Begge operatørene må derfor utifra korrekt informasjon misforstå situasjonen helt eller delvis, og de må misforstå svært likt. Dette kan med lik erfaring/opplæring likevel oppstå i ukjente og uforutsette situasjoner. Foreksempel ved at begge operatørene tror den nye situasjonen har samme dynamikk og tilstand på systemet som en annen helt ordinær situasjon de har erfaring med og kjennskap til. Men en selvstendig feil er fremdeles mye mer sannsynlig.

3.7.5c - Feil i team på nivå3 i systembevisstheten

På dette nivået skal operatøren danne en projeksjon av fremtidig status til systemet. Skal en felles feil oppstå på dette nivået må begge operatørene trekke identiske slutninger utifra ikke helt lik situasjonsoppfatelse og –forståelse, samt ulik kunnskap og analytisk tenkemåte. At begge ender opp med samme feil er svært lite trolig. Men at en av operatørene gjør en feil kan i dette tilfellet holde. For her er kunnskap en svært viktig faktor, og operatørene er i stand til å presentere fakta og informasjon på en slik måte at den andre operatøren blir påvirket til å tenke i samme baner. Slik kan operatørene bli enige om en felles, men feil, prediksjon.

3.8 - Faktorer som påvirker situasjonsbevisstheten

Det er veldig mange faktorer som påvirker operatørens situasjonsbevissthet mer eller mindre direkte. Men det er flytende grenser mellom mange av disse faktorene. Endsley har i [3] fått til en god oppdeling og beskrivelse av disse faktorene. Her følger et kort sammendrag av side 40-54 i [3] og en noe modifisert model, Figur 6, som viser disse faktorene sin innvirkning på systembevisstheten, valg og utførelse av handling.



Figur 6 - Faktorer som påvirker systembevisstheten

3.8.1 - Oppmerksomhet

3.8.1a - Pre-oppmerksomhet

Det finnes mange elementer som kan være oppmerksomhetsfangere. Det kan være plutselige lyder, lys, farger, blikkfang, vibrasjoner osv. Disse er med på styre hvor vi velger å fokusere vår oppmerksomhet.

3.8.1b - Oppmerksomhet

Mennesket klarer bare å håndtere en viss mengde informasjon av gangen. Hadde vi klart å ta til oss all tilgjengelig informasjon rundt oss ville vi fått en mye bedre og mer helhetlig systembevissthet. Men vi er nødt å nøye oss med bare deler av den konstante informasjonsstrømmen vi befinner oss i. Operatørens evne til å fokusere på de rette elementene er helt avgjørende for å oppnå best mulig systembevissthet.

3.8.2 - Mål og delmål

Ønsket ny tilstand til systemet/situasjonen er operatørens mål. Dette målet er svært viktig for operatørens ytelse. Er det eksempelvis et ønske om å imponere eller å yte minst mulig som dominerer. Operatøren søker aktivt informasjon i lys av sine mål. Slik at mål direkte påvirker oppmerksomheten til operatøren. Endsley kaller dette Top-ned prosessering. Operatøren kan raskt endre sine mål, eller prioriteringen av de, som en respons på forståelsen av en ny situasjon.

endsley kaller dette Bunn-opp prosessering. Denne Top-ned/Bunn-opp prosesseringen foregår parallelt slik at oppmerksomheten/oppfattelsen påvirker og blir påvirket av målene.

3.8.3 - Oppfattelse

En viktig del av oppfattelsen er vår forventning. Når vi skaper forventninger, skaper vi også en mulighet til å tjuvstarte på byggingen av vår mentale modell. Dersom forventningen er riktig blir oppfattelsen mer en rask bekreftelse. Og man klarer seg kanskje med små justeringer av den mentale modellen. Dersom det derimot kommer noe svært uforventet, vil vi få en motsatt effekt, der risikoen for en feil øker.

Et eksempel er at man som syklist tror man hører en bil komme rundt hjørnet. Dersom det er en bil som kommer er man mentalt forberedt, man har trolig allerede begynt å planlegge ved å legge hånden over bremsen.

3.8.4 - Prosessering i hjernen

Ny informasjon kombineres med eksisterende kunnskap og en forståelse/et bilde av nåværende situasjonen dannes. (Nivå 2 i systembevisstheten). Prosjeksjon av fremtidig status og valg av aksjoner foregår også her. (Nivå 3 i systembevisstheten). Prediksjon av fremtidig status er en svært tung og krevende prosess, derfor regnes hjernens evne til å prosessere informasjon som flaskehalsen når operatøren skal oppnå en mest mulig optimal situasjonsbevissthet.

3.8.5 - Utvikling av mental modell

Dette punktet kunne inngått som en del av prosesseringen i hjernen. Men Endsley fokuserer her på at operatørens evne til raskt å komme opp med en god mental modell i en gitt situasjon styres av operatørens egen trening og erfaring innen dette området. En operatør med erfaring vil kunne oppdage paralleller til liknende situasjoner, klassifisere situasjonen, og dermed lettere identifisere nøkkelementer (ulikheter/det unike med situasjonen). Eksempel på slik klassifisering er:

Fly → Kampfly → F18 → F18c

Erfaringen til operatøren tillater han å raskt identifisere kampflytype utifra nøkkelegenskaper/elementer. Og operatøren oppnår slik en raskt og god mental modell av situasjonen.

3.8.6 - Hukommelse

3.8.6a - Igjenkjennelse

Hukommelsen er med på å dramatisk lette prosesseringen i hjernen. Under oppfattelsen kan operatøren kjenne igjen elementer ved situasjonen. Ved igjenkjennelse av signaler eller tegn vil operatøren raskt ha valgt handling og være klar til eksekvering (nivå 1 og 2). Også på nivå 3 vil hukommelsen ha høyt potensial for å gi stor tids- og resursbesparing. I hukommelsen besitter operatøren ferdige mentale modeller (fra situasjoner med liknende karakteristikk) som tjener som prototyper under prosesseringen. Operatøren trenger dermed ikke bygge den nye modellen helt fra bunn.

3.8.6b - "Default" informasjon

Ved informasjons- og forståelsesmangel i en ny situasjon kan operatøren ta i bruk "default" informasjon fra liknende situasjoner. En person som foreksempel aldri før har kjørt en bil med automatgir, men som innehar masse erfaring fra bil med manuelt gir. Vil ved å klassifisere begge kjøretøyene som "bil", kunne benytte "default" informasjon til å få i gang og kjøre bilen. Slik

”default” informasjon tillater operatører å fungere effektivt med svært lite informasjon. Faren med å benytte slik ”default informasjonen” er åpenbart at informasjonen kan være feil. Da risikerer operatøren å få en uønsket respons fra systemet. ”Default” informasjon utgjør en viktig del av systembevisstheten for erfarne operatører i ukjente situasjoner.

3.8.7 - Automatikk

Automatiske responser på situasjoner/hendelser letter prosesseringen i hjernen for mye arbeid. Systembevisstheten når i dette tilfellet kun nivå 1 før en handling/aksjon er klar. Automatiske responser er raske, krever lite ressurser og foregår i underbevisstheten. Automatikk er den viktige faktoren som tar signaler til handling i ferdighetsbasert adferd. Det viktigste resultatene av automatiske responser er at operatøren har høy ytelse, bruker lite ressurser og har problemer med å huske tilsynelatende viktige detaljer rundt hendelsesforløpet og sine aksjoner. En erfaren billist vil for eksempel fort ha store problemer med å huske om han stoppet for rødt lys i et bestemt lyskryss på vei hjem fra jobb. Å ikke stoppe på rødt lys er et svært kritisk element. Men fordi billisten stoppet, evt kjørte, som en automatisk respons på trafikklysets farge husker han det ikke. Arbeidsoppgaver med høygrad av automatikk vil kunne sløve operatøren, han blir mindre oppmerksom, og kan handle uten å oppdage nye og viktige elementer om de skulle dukke opp.

3.8.8 - Evner

Operatørens evner til å være fokusert, skjerpet, effektiv, håndtere informasjon og se paralleller mellom situasjoner er en viktig overordnet faktor som direkte påvirker prosesseringen i hjernen, hukommelsen og graden av automatikk hos operatøren. Evnene påvirkes i høygrad av dagsformen til operatøren, se X-faktorer nedenfor.

3.8.9 - Opplæring(trening)

Opplæring avgjør hvor forberedt operatøren er på ulike hendelser, spesielt ukjente situasjoner. Grad av opplæring vil i likhet med operatørens evner og erfaring direkte påvirke prosesseringen i hjernen, hukommelsen og graden av automatikk.

3.8.10 - Erfaring

Hvor vant er operatøren med ulike situasjoner og oppgaver. En drillet operatør vil handle svært raskt og effektivt i kjente situasjoner. Også denne faktoren påvirker direkte prosesseringen i hjernen, hukommelsen og graden av automatikk hos operatøren.

3.8.11 - X-faktorer

3.8.11a - Selvtillit

Evnen til å foreta et valg selv med klare usikkerheter i systembevisstheten styres i stor grad av selvtilliten. Usikkerheter kan fort oppstå i den mentale modellen. Mangel på informasjon eller motstridende indikasjoner er de viktigste kildene til slik usikkerhet. Høy selvtillit øker sjansen for et dårlig valg av handling, men sikrer samtidig høy grad av effektivitet hos operatøren i vanskelige situasjoner. Selvtillit er en svært individuell faktor, men den påvirkes sterkt av erfaring og av enkelte andre mennesker sin opptreden.

3.8.11b - Humør og dagsform

En trøtt og sliten operatør vil neppe utføre sine arbeidsoppgaver med like stor dedikasjon som en uthvilt kollega. I tillegg til å påvirke mål og delmål påvirker denne faktoren operatørens evner. Seksjonen 3.3.1 - Menneskelige faktorer tar for seg de viktigste elementene som kan påvirke humøret og dagsformen. Med andre ord påvirkes dagsformen og humøret i høy grad av ulike

former for stress. Samtidig som dagsformen og humøret igjen påvirker i hvilken grad operatøren lar stressenelementene bli stressende stressfaktorer, det vil si mottakeligheten for stress og distraksjon.

3.8.12 - Systemdesign

Ikke alle systemer vil gi tilgang på all nødvendig informasjon. Dette som et resultat av designer sine valg utifra antatte operatør behov, økonomiske rammer og teknologiske begrensninger. Tilgjengelig informasjon fra systemet vil åpenbart ha stor betydning for systembevisstheten. I tillegg vil operatørens kjennskap til systemets design utgjøre en viktig faktor. Dersom operatøren har et godt mentalt bilde av systemets design, kan han lettere oppfatte/forstå systemets tilstand og predikere ny status som respons av en eller flere aksjoner.

En annen trussel for operatørens systembevissthet er systemer designet slik at det lager situasjoner utover operatørens evner. Et godt bilde på dette er at som et resultat av hastigheten på dagens våpensystemer (eks. overlydsfly), tvinges operatøren ofte til å filtrere, prosessere og ta avgjørelser med en hurtighet som ikke tillater grundig gjennomgang av all informasjonen. Slike systemer vil raskt kunne trigge en menneskelig-feil, som i dette tilfellet kan resultere i bombardement av egne styrker.

3.8.13 - Brukergrensesnittets design

3.8.13a - Valg av handling

Systemet presenter ofte ikke informasjonen direkte til operatøren. Et eller flere brukergrensesnitt gjør i stedet dette. Måten denne informasjonen blir presentert på er svært kritisk for hvor mye, hvor fort og hvor nøyaktig operatøren kan tilegne seg informasjon om systemets tilstand. Dersom systemet gjør estimasjoner for operatøren vil dette lette hans arbeide. Brukergrensesnittets evne til å fremheve foreksempel kritisk informasjon til operatøren, vil påvirke operatørens oppmerksomhet, forståelse og mål. Et dårlig brukergrensesnitt er uoversiktlig, slitsomt å overvåke (irriterende lyder eller et virrvarr av sterke lys og farger) eller mangler viktige data.

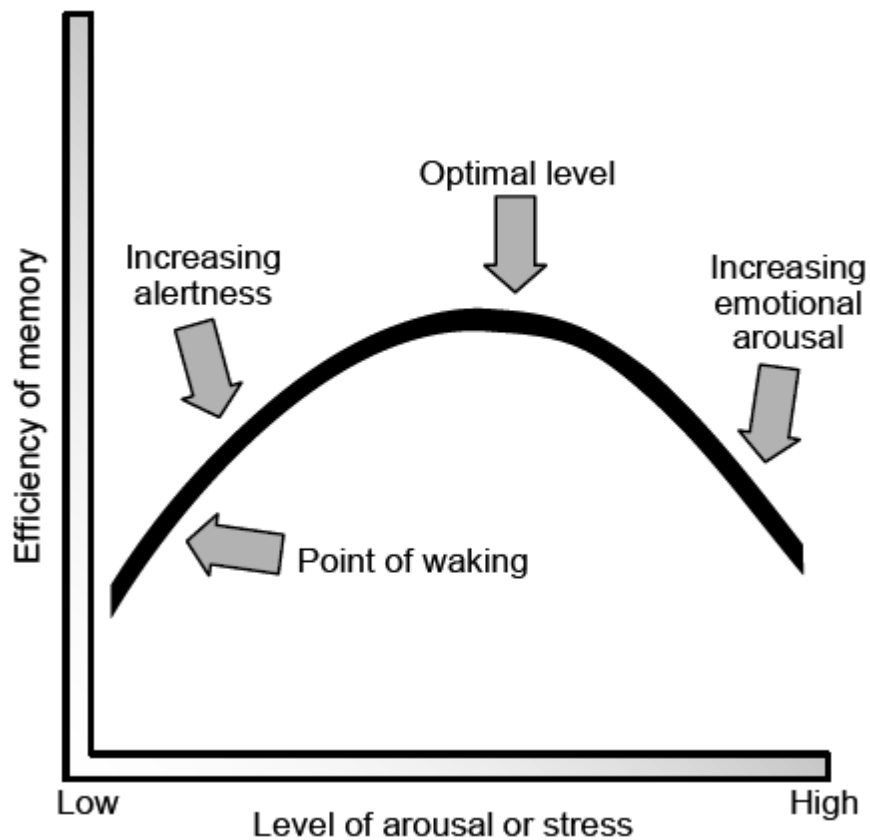
3.8.13b - Utføring av handling

Endsley har ikke med dette punktet i sin liste i [3]. Jeg har det med fordi jeg mener betjeningsorganet til operatøren styrer en kritisk del av systembevisstheten, fordi det styrer mulige valg av aksjoner. Det finnes et utall ulike typer betjeningsorganer for operatøren. Mus, berøringsskjerm, lyspenn, styrestikke, tastaturer, knapper, datahanske, talegjenkjenning og så videre. Alle har sine fordeler og ulemper. Betjeningsorganet bør være enkelt å bruke og praktisk med hensyn på de aktuelle arbeidsoppgavene. Dette er utdypet ytterligere i [2]. Betjeningsorganet representerer operatørens muligheter for å påvirke systemet, slik at ønsket tilstand oppnåes. Mulige valg av aksjoner i systembevisstheten er derfor gitt av betjeningsorganet. Et betjeningsorgan som krever liten oppmerksomhet for å betjene vil i tillegg frigjøre flere ressurser til ulike prosesser i systembevisstheten.

3.8.14 - Stress

I Menneskelige faktorer beskrives avgjørende faktorer for prestasjonene til en operatør. Arbeidsmiljøet, psykologiske- og fysiologiskefaktorer er årsaken til ulike former for stress. Ulike elementer fra disse 3 gruppene kan fint være til stede, uten at de påvirker (stresser) operatøren. Først når operatøren oppfatter elementene som stressende er de stressfaktorer. Fordi vi mennesker er svært individuelle på hva vi lar oss stresse av, og hvordan vi lar oss påvirke, er ulike former for

stress sin påvirkning av systembevisstheten vanskelig å generalisere. Et visst nivå av stress kan faktisk øke ytelsen til en operatør, ved at operatørens fokus rettes mot viktige aspekter ved situasjonen. Se Figur 7 hentet fra [4].



Figur 7 - Stressnivå

Den mest vanlige responsen på stress er en smalere og mer fokusert oppmerksomhet mot de antatt viktigste aspektene ved situasjonen. Operatøren får på mange måter tunnelsyn. Denne effekten kan fort lede til neglesjon av andre elementer. I nødsituasjoner har dette ofte resultert i at operatøren kun fokuserer på den oppståtte nødsituasjonen og rent glemmer sine andre oppgaver. En eller flere av disse andre oppgavene kan så fritt få lede ut til svært kritiske hendelser/situasjoner, uten at operatøren griper inn, fordi han er opptatt. Et godt eksempel på dette hendte i 1978, da et United Airlines DC-8 fly kræsjet etter å ha gått tom for drivstoff. Rapporten til National Transportation Safety Board (1979) viser at kapteinen var opptatt med et problem med landingshjulene, og derfor totalt neglisjerte overvåkningen av drivstoffet.

Stress kan også lede til et premature valg og handlinger. Dette er et fenomen som spesielt dukker opp i situasjoner med tidspress, men også andre former for stress kan være årsaken. En svært sliten operatør vil kanskje ikke ha overskudd til å undersøke alle elementene ved situasjonen. Stress "stjeler" ressurser fra hjernen, og dette kan resultere i at prosesseringen i hjernen må reduseres. Dette vil gi en dårligere systembevissthet, som igjen vil øke faren for menneskelig feil.

Det er spesielt komplekse oppgaver med mange inputs som er følsomme for effekten av stress. Stress påvirker alle nivåene i systembevisstheten. Operatøren oppfatter færre elementer,

riskikerer en dårligere forståelse av situasjonen og har mindre ressurser til å gjøre en god prediksjon av fremtidig status.

Hukommelsen er et av operatørens beste våpen mot stress, fordi hukommelsen letter prosesseringen i hjernen dramatisk. En operatør med mye erfaring vil dermed bli mindre påvirket av stress.

3.8.15 - Arbeidsmengde

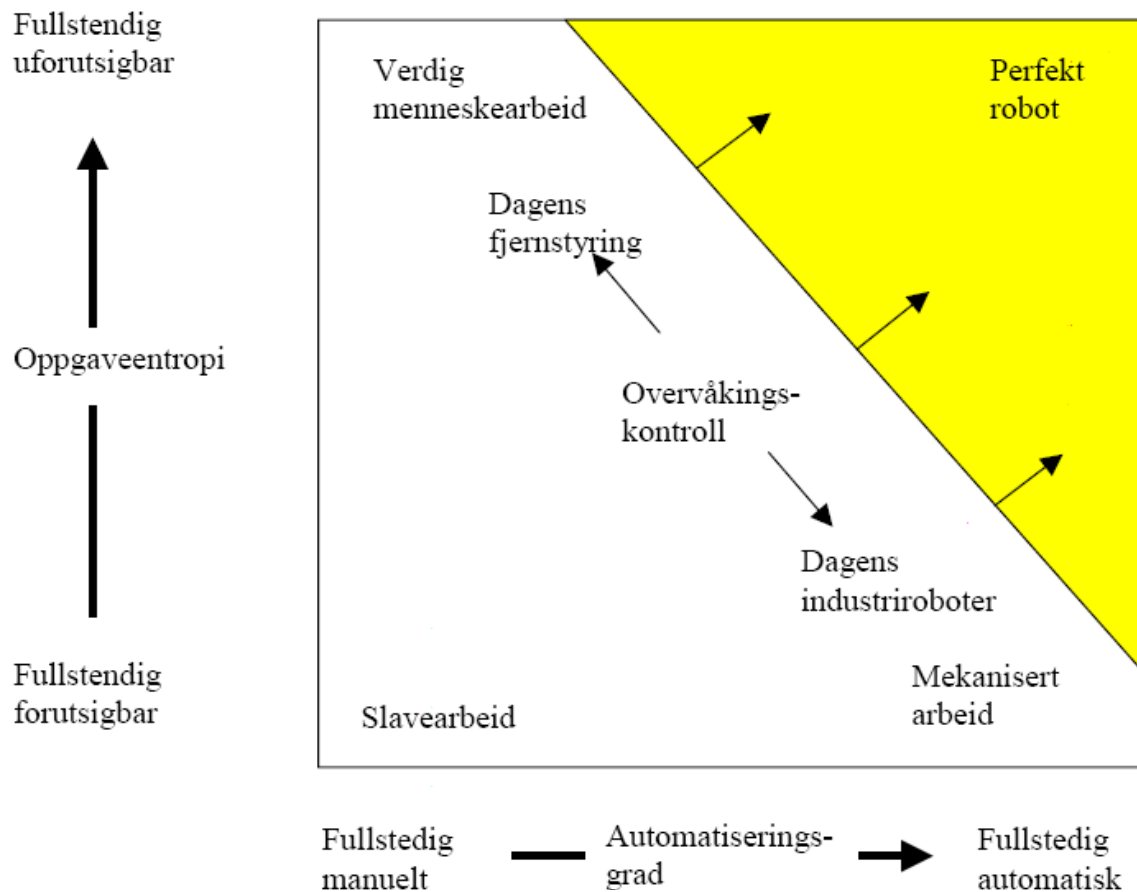
Mengden av oppgaver som er pålagt operatøren påvirker hans systembevissthet. For å maksimere systembevisstheten til operatøren må arbeidsmengden hverken være for høy eller for lav. Operatøren må ha tid til å sette seg ordentlig inn i hver situasjon, samtidig må ikke operatøren få for mye døtid, da det kan virke sløvende og passiviserende.

3.8.16 - Kompleksitet

En stor utfordring for operatøren er at systemer stadig blir mer og mer komplekse. Flere inputs, økt interaksjon mellom disse, og hurtig dynamikk kan bli tungt å svelge for en operatør. Forståelsen blir dårligere og prediksjonen tyngre. I tillegg kan antall operatør mål og valg øke. Når systemet blir for komplekst for operatøren vil det gå hardt utover hans systembevissthet. Gode mentale modeller kan likevel hjelpe operatøren til å rette oppmerksomheten riktig, samt å forstå systemet bedre, og slik utvikle en bedre systembevissthet.

3.8.17 - Automasjon

Dersom operatøren er automatisert bort fra systemet, slik at han i stor grad inntar en passiv overvåkerrolle, vil i mange tilfeller resultatet bli at systembevisstheten til operatøren raskt blir svekket. Dette er en såkalt out-of-the-loop effekt, der operatøren distanseres fra den indre prosessen, ikke lengre er en aktiv behandler av informasjon og mister helt eller delvis direkte feedback fra systemets tilstand. Men automatisering kan også være svært gunstig for systembevisstheten til operatøren. Ved å automatisere monotome manuelle arbeidsoppgaver og databehandling, frigjøres ressurser hos operatøren. Dersom operatøren så benytter disse frigjorte ressursene til å danne seg et bedre mentalt bilde av prosessen og til å løse andre mer stimulerende arbeidsoppgaver har hans systembevissthet tjent på automatiseringen. Stimulerende oppgaver er godt definert i [2]. I denne FFI rapporten er det viet stort fokus på alkoleringen av oppgaver mellom mennesket og maskin. I Figur 8 (hentet fra FFI rapporten) så er stimulerende arbeidsoppgaver representert ved oppgaver nær "Verdig menneskearbeid."



Figur 8 - Automatisering av arbeidsoppgaver

3.9 - Organisasjon

Organisasjonens oppførsel ovenfor ansatte er en svært viktig faktor bak menneskelige feil. Dersom bedriften betrakter feil som viktige symptomer og setter fokus på læring av feil og nesten ulykker vil det oppstå en rapporteringskultur blant ansatte, med åpenhet. Noe som vil resultere i en kontinuelig oppdatering av kunnskap om de aktuelle tekniske systemene. Weich & Sutcliffe beskriver i [13] 5 slike organisasjon oppførsler som er med på å påvirke risikoen for menneskelige feil og konsekvensene av dem.

- ✚ Fokus på feil
- ✚ Motstand mot å forenkle
- ✚ Fokus på drift
- ✚ Satsing på robusthet
- ✚ Respekt for ekspertise

Men selvom organisasjonens opptreden utvilsomt er viktig, vil dette punktet ikke vies mye oppmerksomhet under scenarioanalysen og estimeringen av påliteligheten til mennesket. Dette fordi det ikke er mulig å ta hensyn til alle faktorer på engang, og elementer rundt situasjonsbevisstheten anses som mye mer kritiske og essensielle. Men organisasjonen er helt

klart et bra angrepspunkt dersom man ønsker å redusere den menneskelige risikoen ved et anlegg eller system.

3.10 - Barrierer

Barrierer kan benyttes til å kontrollere risikoen forbundet ved en operasjon eller til et system. Ved god bruk av barrierer kan antall hendelser reduseres og/eller konsekvensene av feil kan reduseres [5]. Til daglig omgis vi av mange barrierer, det tas ibruk forhåndsregler for å være føre var. Lås på syklen, røykvarsler eller en paraply i veska er enkle eksempler på slike barrierer. Barrierer kan i industrien bidra til å øke feiltoleransen og redusere sårbarheten til kritiske operasjoner og spiller en nøkkelrolle for å redusere og unngå menneskelige feil. I en forskningsrapport fra SINTEF [11] deles bruken av barrierer opp i 5 ulike nivåer:

- 1 - Forhindre avvik og feil
- 2 - Kontrollere avvik og oppdage feil
- 3 - Kontrollere ulykker
- 4 - Kontrollere utviklingen av ulykker, hindre forverring
- 5 - Forhindre katastrofe

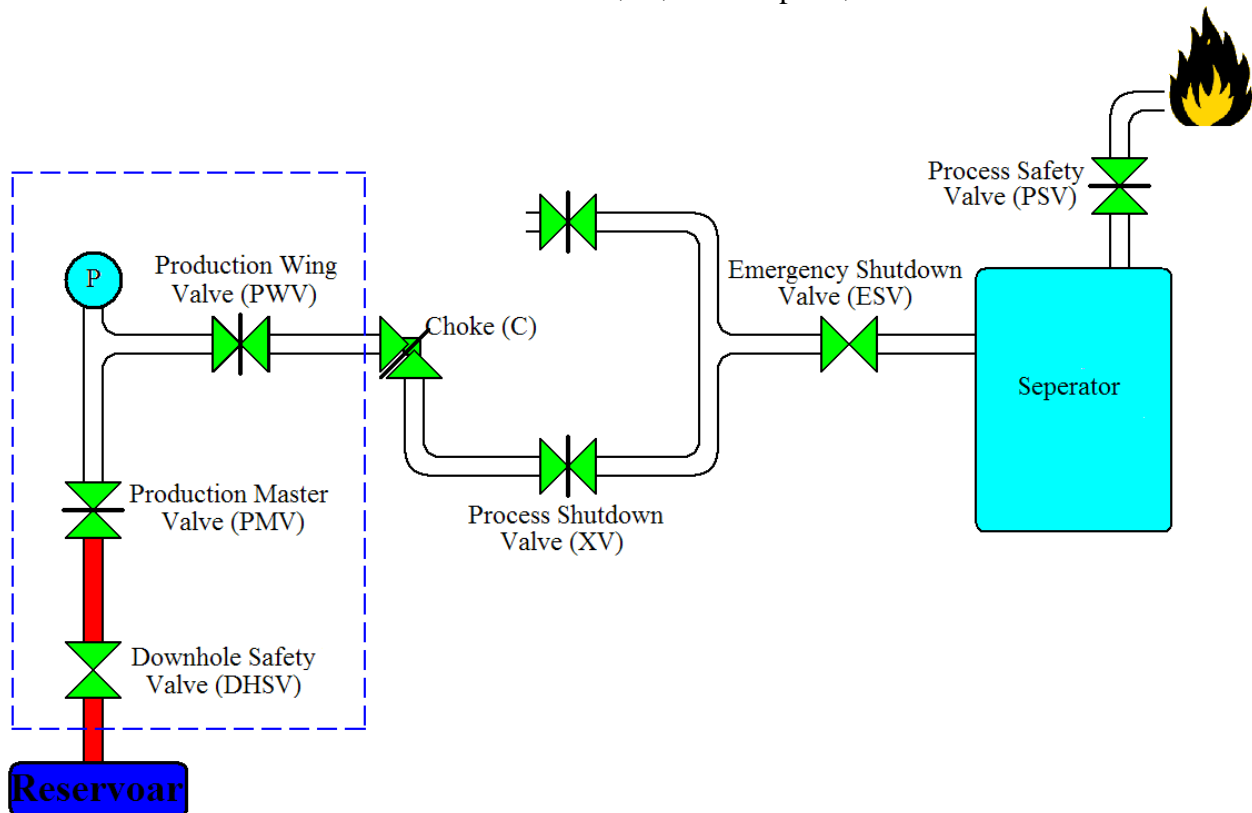
3.11 - Metoder for å sette tall på menneskets pålitelighet

Det eksisterer flere velutviklede metoder og rammeverk for å forsøke å estimere påliteligheten til mennesket. Der THERP, ASEP, SHEAN, SPAR-H, COCOM og CREAM er regnet blant de viktigste metodene. En utdypende beskrivelse og sammenlikning av disse metodene er ekskludert fra denne oppgaven, da jeg ønsket å holde fokus på veien jeg benyttet for å komme opp med en egen metode for å beregne risikofaktoren mennesket representerer. I seksjon 5 - Estimering vil det likevel bli en rask innføring i SPAR-H, grunnet manglende tilgang til felldata. Dette blir selvfølgelig utdypet i seksjon 5 - Estimering.

4 - Scenario analyse

Åpning av stengt brønn er et sikkerhetskritisk scenario der menneskelige feil kan og har resultert i alvorlige ulykker. Scenarioet valgt i denne oppgaven er derfor en operasjonsprosedyre der en stengt oljebrønn skal åpnes av en feltoperatør og en kontrollromsoperatør. I et petroleumsreservoar på havbunnen er det svært høyt trykk. Dette er ikke et problem når produksjonsbrønnen er i normal drift og det er en jevn strømming av vann-olje-gass. Men når en brønn har vært avstengt over lengre tid vil det stå gass med svært høyt trykk fra reservoaret helt opp til PMV (Se Figur 9). På oversiden av PMV vil trykket være mye lavere.

Dersom ventilene åpnes i denne tilstanden utsettes ventilene og seperatoren for voldsomt stress i det gassen strømmer på og trykket raser oppover. Anlegget er ikke designet for slike krefter. PSV vil åpne seg som en respons på situasjonen, men dette tilfellet vil totalt overgå fakkelsystemet sin kapasitet til å ta unna plutselige store mengder med gass/olje. Åpningen av ventilen kan med andre ord fort resultere i en lekkasje eller dramatisk blowout, der konsekvensene kan bli store og fatale for personell, miljø og utstyr. En mulig barriere løsning for dette problemet vil være å designe ventiler, seperator, PSV og fakkelsystemet til å tåle disse kreftene. Men den løsningen er regnet som lite aktuell på grunn av økonomiske og rent praktiske årsaker ([11] Kap1.2). Derfor er det utviklet klare standarder for hvordan systemet bør designes og klare operasjonsprosedyrer for hvordan dette sikkerhetskritiske scenarioet bør løses av operatør.



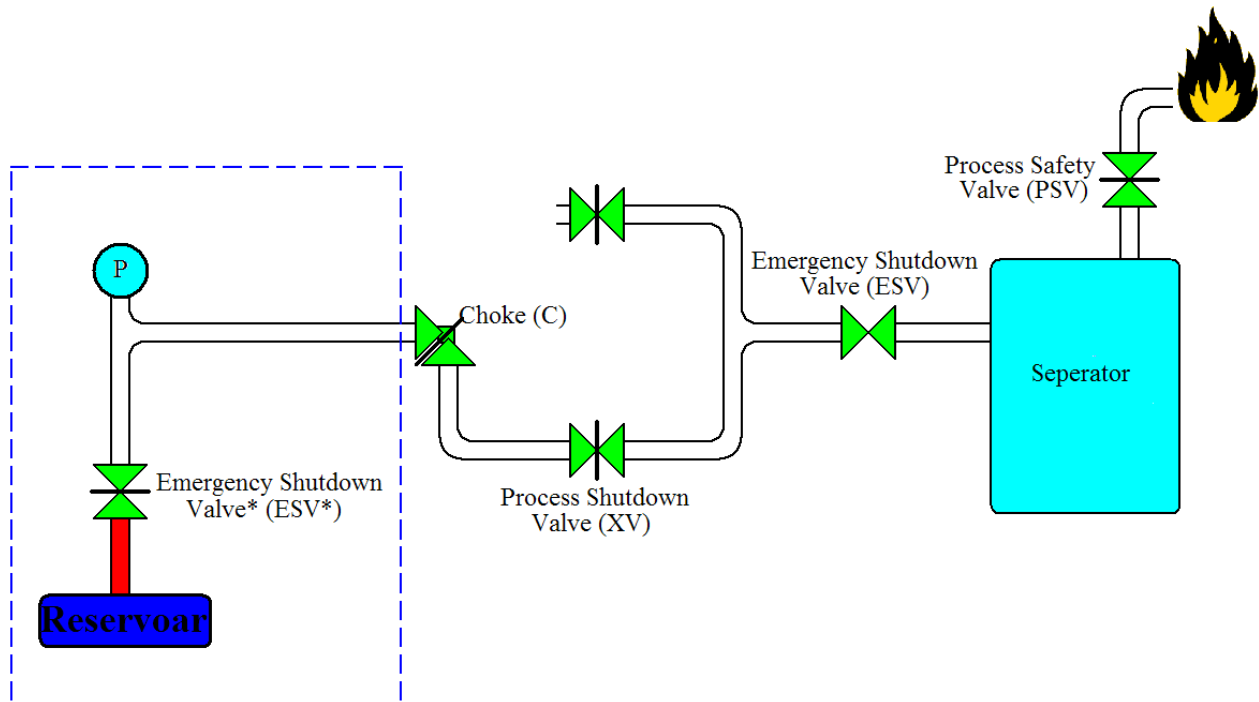
Figur 9 - Modell av systemet

I denne oppgaven er det gjort flere forenklinger i forbindelse med dette scenarioet. Dette fordi det å gå i for dype detaljer rundt gjennomføringen av scenarioet vil gjøre den tilhørende analysen av menneskelige feil mye mer inviklet og omfattende enn den allerede er, samtidig som det vil ta

fokus bort fra oppgavens egentlige mål: -Å undersøke om det er mulig å gjøre et realistisk anslag av risikoen ved sikkerhetskritiske operasjoner der mennesket er involvert.

4.1 - Scenarioet

Den forenklete modellen av scenarioet er utviklet i samarbeid med min veileder Tor Onshus og er vist i Figur 10. Her er sammspillet mellom PWV, PMV og DHSV forenet i en ventil, ESV*. Stengte ventiler er markert med en sort strek og høyt trykk er markert med rødt. Operasjonsprosedyren for åpning av stengt brønn er vist i Tabell 2. De viktigste elementene ved denne modellen og fordelingen av informasjon og kontroll mellom operatører og maskiner i dette scenarioet er vist i Tabell 3.



Figur 10 - Forenklet modell av systemmodell

Operasjonsprosedyre for åpning av stengt brønn:

1. Feltoperatøren kontrollerer at C, stupeventilen, er lukket. Feltoperatøren lukker C om nødvendig.
2. Kontrollromsoperatøren kontrollerer at både XV og ESV er åpne. Kontrollromsoperatøren åpner XV og/eller ESV om nødvendig.
3. Feltoperatøren overvåker trykket over P, og øker dette trykket ved hjelp av injeksjon av metano slik at det oppnåes akseptabel differanse mellom P og bunnhullstrykk.
4. Feltoperatøren resetter ESV*
5. Kontrollromsoperatøren åpner ESV*
6. Feltoperatøren åpner C

Tabell 2 - Operasjonsprosedyre

Elementnavn	Elementtype	Kontroll og regulering		
		Feltoperatør	Kontrollromsoperatør	Automatisk
ESV*	Samling ventiler mellom choke (C) og reservoar	Kan se status og resette	Kan se status og åpne/stenge	Kan se status og stenge
P	Trykkmåler på oversiden av ESV*	Manuell avlesning	Avlesning fra brukergrensersnitt i kontrollrom	-
C	Stupe ventil	Kan se status og åpne/stenge	Kan se status	-
XV	Produksjonsventil	-	Kan se status og åpne/stenge	-
ESV	Sikkerhetsventil foran seperatoren	-	Kan se status og åpne/stenge	Kan se status og stenge
PSV	Sikkerhetsventil for forbrenning av strømming seperatoren ikke klarer å ta unna.	-	Kan se status og åpne/stenge	Kan se status og åpne
Seperator	Seperator for gass-olje-vann-sand strømming.	-	Kan se status	Kan se status

Tabell 3 - Systemelementer

4.2 - Rammevilkår for scenarioet

For å gjøre senere estimering mulig er det viktig med en god og grundig beskrivelse av scenarioet og rammeverket rundt. Nedstengning av en produksjonsbrønn er en aksjon oljeselskaper prøver å unngå til det lengste. Dette først og fremst fordi en produksjonsstopp betyr tapte inntekter. Men engang i blant må det likevel gjennomføres, blant annet på grunn av vedlikehold av ventiler. Dette betyr at åpning av en brønn ikke er endel av de aktuelle operatørene sin daglige rutine, men at de likevel bør ha god kjennskap til prosedyren.

Når en brønn skal åpnes får operatørene beskjed fra overordnede, og de får tid til å gjøre seg klare til å gjennomføre oppgaven. Det aktuelle selskapet har en økonomisk interesse av at operatørene klarer å åpne brønnen raskest mulig, men alt i alt er det lite tidspress på operatørene under utføring av denne prosedyren.

Kontrollrommet er av økonomiske årsaker plassert på land.

Andre viktige rammer:

4.2.1 - Operatørene

- ✚ Feltoperatøren er en ung maskin-ingeniør med 1 år erfaring på oljeplattform.
- ✚ Kontrollromsoperatøren er en overingeniør innenfor petroleum med 10 års erfaring.
- ✚ Kontrollromsoperatør og feltoperatør kan til enhver tid kalle hverandre opp over radio.
- ✚ Feltoperatøren opererer alene i felt.
- ✚ Feltoperatøren har ingen andre oppgaver som skal gjennomføres samtidig, og kan vie alle sine ressurser til å danne seg god situasjonsbevissthet og løse oppgaven.
- ✚ Kontrollromsoperatøren har andre overvåkningsoppgaver samtidig, og må fordele sine tilgjengelige ressurser deretter. Mye å følge med på er i tillegg en stressfaktor.

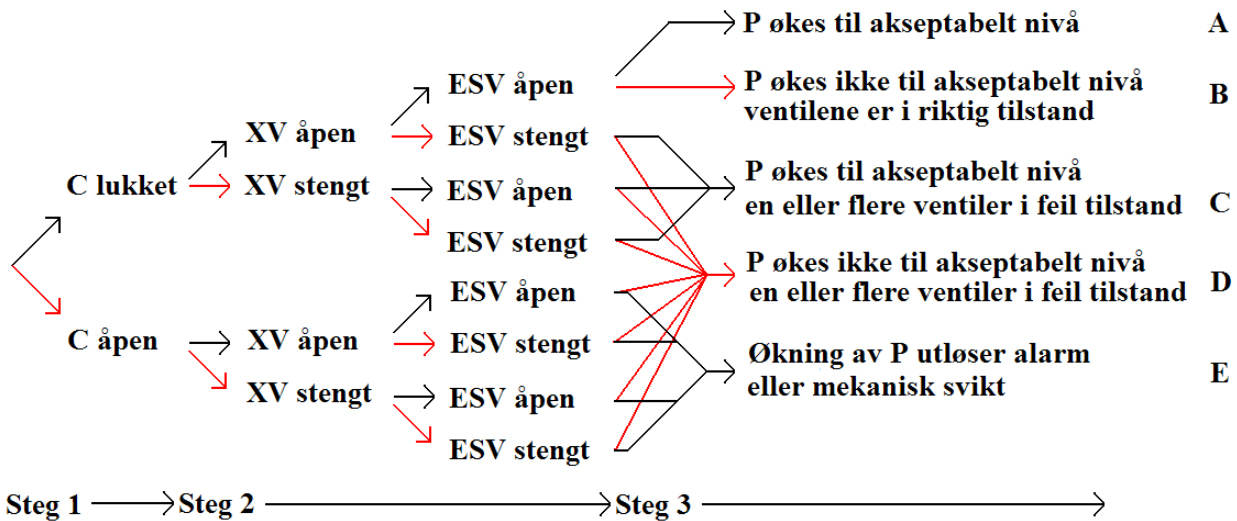
- ✚ Kontrollromsoperatøren sitter i et kontrollrom der han har mulighet til å rådføre seg med kollegaer.
- ✚ Kontrollromsoperatøren gjør alle sine avlesninger og aksjoner ved hjelp av sin PC. Brukergrensesnittet er PC-skjerm, tastatur, mus.
- ✚ Begge operatørene er uthvilt og i grei form, uten psykiske eller fysiske plager.

4.2.2 - System og automatikk

- ✚ Kontrollrommets brukergrensesnitt er godt og oversiktlig.
- ✚ Operasjonsprosedyren inneholder ikke tidskritiske elementer. Eventuelt tidspress kommer kun indirekte fra organisasjon, ledelse og operatørens behov for å fullføre denne oppgaven for å frigjøre resurser.
- ✚ PSV vil åpnes automatisk ved litt for høy innstrømning til seperatoren.
- ✚ ESV og ESV* vil stenges automatisk ved alt for høy innstrømning til seperatoren, lekkasje/brann/alarm eller liknende.
- ✚ Automatisk nedstengning og åpning av ventiler kan ikke overstyres før årsaken til nedstengningen/åpningen er fjernet.

4.3 - Gjennomgang av scenarioet

Under utførelsen av valgte scenario kan det oppstå en rekke ulike tilstander/situasjoner. Disse er viktig å identifisere før en kan danne seg et godt bilde av alle mulige menneskelige feil som kan oppstå under scenarioet. Tanken er å først detektere alle mulige utfall, for deretter å finne alle mulige feil som kan forårsake de ulike utfallene, og til slutt bruke sannsynlighetene for disse feilene til estimeringen. Figur 11 og Figur 12 viser hvordan utfallet av hvert steg er avgjørende for slutttilstanden.



Figur 11 - Tilstander steg 1-3

Steg 1 og 2 er korrekt utført		Steg 1 og/eller 2 er ikke korrekt utført		
Tilstand A: Korrekt	Tilstand B: Feil	Tilstand C: Latent feil	Tilstand D: Latent feil og ny feil	Tilstand E: Latent feil utløser alarm
Trykket, "P", tilordnes korrekt.	Trykket, "P", tilordnes ikke korrekt.	Trykket, "P", tilordnes korrekt.	Trykket, "P", tilordnes ikke korrekt.	Trykket, "P", tilordnes korrekt.
Trykkforskjellen over og under ESV* er redusert. C er lukket, mens XV og ESV er åpnet.	En alvorlig latent feil har oppstått. Det er fremdeles stor trykkforskjell mellom P og bunnhullstrykk.	C er lukket men XV og/eller ESV er stengt. En alvorlig latent feil ligger dermed skjult i systemet.	Alle ventilene er ikke i riktig tilstand samtidig som det fremdeles er stor trykkforskjell mellom P og bunnhullstrykk.	C er ikke lukket og det økte trykket står rett mot XV, ESV eller seperator. Dette gir alarm og risiko for mekanisk svikt. Steg 4-6 vil ikke være mulig før situasjonen er utbedret.

Tabell 6 - Tilstander etter steg 1, 2 og 3

4.3.4 - Steg 4

*Feltoperatøren resetter ESV**

Når steg 1 til 3 er gjennomført skal feltoperatøren resette ESV*, dette er kun mulig å gjennomføre dersom det ikke er noen aktive alarmer. Etter steg 1, 2 og 3 er det fem ulike hovedtilstander som kan oppnåes, A, B, C, D og E, se Tabell 6 og Figur 11. Tilstand E inneholder alarm og ESV* kan i dette tilfellet ikke resettes. Mens tilstand A, B, C og D kan resettes dersom steget gjennomføres korrekt.

Ikke alarm								Alarm
Tilstand A:		Tilstand B:		Tilstand C:		Tilstand D:		Tilstand E:
Korrekt	Feil	Latent feil	Feil og latent feil	Latent feil	Feil og latent feil	Latent feil	Feil og latent feil	Følgefeil
ESV* resatt	ESV* ikke resatt	ESV* resatt	ESV* ikke resatt	ESV* resatt	ESV* ikke resatt	ESV* resatt	ESV* ikke resatt	ESV* ikke resatt

Tabell 7 - Tilstander etter steg 4

4.3.5 - Steg 5

*Kontrollromsoperatøren åpner ESV**

Dette trinnet kan kun gjennomføres dersom steg 4 er gjennomført korrekt. Men fordi dette steget kan åpne de første latente feilene i systemet vil det bli flere ulike utfall. Dersom ESV* ikke er resatt vil ikke kontrollromsoperatøren være i stand til å åpne ventilen. I det kontrollromsoperatøren påbegynner dette trinnet befinner systemet seg i tilstandene oppsumert i Tabell 7. Mulige utfall er vist i Tabell 8 og listen nedenfor.

- Resatt A + ESV* åpnes → A*, Systemet er i korrekt tilstand
- Resatt B + ESV* åpnes → B*, Gass under ekstremt trykk kommer i full fart mot den lukkede strupeventilen. Blowout-scenario!
- Resatt C + ESV* åpnes → C*, Latent feil i systemet der XV og/eller ESV er stengt.
- Resatt D + ESV* åpnes → D*, Gass under ekstremt trykk kommer i full fart mot enten stengt XV, stengt ESV eller separator. Blowout-scenario!
- A,B,C,D + ESV åpnes → F*, Menneskelige feil har oppstått, men får ingen direkte konsekvenser, da ESV* forblir stengt. Operatørene har mulighet til å gå igjennom operasjonsprosedyren pånytt og utbedre feil.
- E → E*, Ingen ny konsekvenser av feil da ESV* forblir stengt, men menneskelige feil har forårsaket en mer eller mindre kritisk ulykke/hendelse under økningen av trykket i steg 3.

Resatt								Ikke resatt	
Resatt A:		Resatt B:		Resatt C:		Resatt D:		A,B,C,D	E
ESV* åpnes	ESV* blir ikke åpnet	ESV* åpnes	ESV* blir ikke åpnet	ESV* åpnes	ESV* blir ikke åpnet	ESV* åpnes	ESV* blir ikke åpnet	ESV* blir ikke åpnet	ESV* blir ikke åpnet
Vi er i tilstand A*	Vi er i tilstand F*	Vi er i tilstand B*	Vi er i tilstand F*	Vi er i tilstand C*	Vi er i tilstand F*	Vi er i tilstand D*	Vi er i tilstand F*	Vi er i tilstand F*	Vi er i tilstand E*
Alt OK	Stopp	Krise!	Stopp	Latent feil	Stopp	Krise!	Stopp	Stopp	Følgefeil Stopp

Tabell 8 - Tilstander etter steg 5

4.3.6 - Steg 6

Feltooperatøren åpner C

I det steg 5 skal operatøren åpne stupeventilen. Kun dersom ESV* er åpen kan dette steget påbegynnes. Fordi det selvfølgelig er uaktuelt å begynne dette steget etter/under et blowout-scenario, er det kun tilstand A* eller C* som er mulige start tilstander.

Dersom strupeventilen åpnes i tilstand A* vil operasjonen være vellykket og fullført, A**.

Dersom strupeventilen åpnes i tilstand C* vil det oppstå en svært kritisk situasjon der XV eller ESV utsettes for høyt stress i det de må holde igjen mot det raskt økende trykket, C**. Dersom begge ventilene så åpnes eller svikter vil det også her oppstå et blowout-scenario. Her velger jeg og anta at ventilene holder slik at blowout unngås, men at mekaniske skader kan oppstå og at en alarm aktiveres slik at ESV* øyeblikkelig stenges automatisk.

A*		C*	
Korrekt	Feil	Latentfeil	Latentfeil med ny "feil"
C åpnes Tilstand A** Operasjonen er fullført og vellykket.	C åpnes ikke Tilstand F* Operasjonen er ikke fullført, men uten uhell/hendelser.	C åpnes Tilstand C** Krisesituasjon som resulterer i automatisk nedstengning.	C åpnes ikke Tilstand F* Operasjonen er ikke fullført, og systemet har alvorlig latent feil som fremdeles kan utbedres om den oppdages.

Tabell 9 - Tilstander etter steg 6

4.4 - Slutttilstander for scenarioet

Tabell 4 - Tabell 9 og Figur 11 - Figur 12 viser at scenarioet munner ut i 6 ulike slutttilstander. Her er tilstand A** ønskelig, F* er uten konsekvenser, C** & E* gir en farlig situasjon, mens B* & D* er en katastrofe.

A**

Operasjonen er vellykket.

B*

Vi får et blowout-scenario som et resultat av menneskelige feil.

C**

Vi får en krise situasjon med alarm, mulige mekaniske skader og automatisk nedstenging på grunn av menneskelige feil.

D*

Vi får et blowout-scenario som et resultat av menneskelige feil.

E*

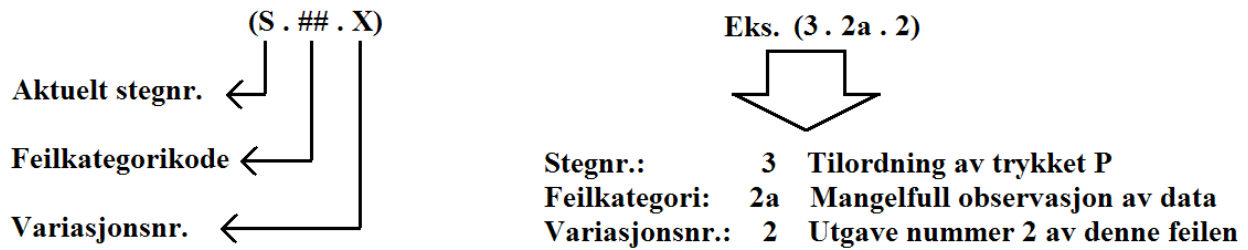
Vi får alarm og mulighet for mekanisk svikt som et resultat av menneskelige feil.

F*

Menneskelige feil har oppstått, men eneste konsekvens er at operasjonen ikke er blitt fullført av operatørene. Fordi utfallet av den siste aksjonen avviker fra ønsket utfall i operasjonsprosedyren, er sjansene store for at operatørene selv oppdager at de har begått en tabbe. Slik at nåværende latente feil i systemet ikke får konsekvenser.

4.5 - Mulige feil under scenarioet sine seks steg

I Tabell 1 er det gjort en kategorisering av menneskelige feil. De ulike gruppene; deteksjon av hendelse/situasjon, observasjon av viktige data, identifikasjon av systemets tilstand, tolkning av mulige konsekvenser og mål, evaluering av mulige mål og valg av disse, utførelse av prosedyre og resultat av tidligere feil, brukes til å kategorisere de ulike feil som kan oppstå. I det valgte scenarioet skal operatørene kun følge en prosedyre. Fordi operatørene dermed ikke skal komme frem til egne løsninger på situasjoner/hendelser vil ikke feil fra kategoriene 4 a-d og 5 a-c kunne oppstå. Nedenfor følger en liste over alle aktuelle menneskelige feil som kan oppstå under eksekveringen av operasjonsprosedyren. Nummereringene av feilen er forklart i Figur 13 nedenfor.



Figur 13 - Nummerering av feiltypene

4.5.1 - Ventilene er ikke i riktig posisjon i det steg 3 påbegynnes

Mulige årsaker:

- ✚ **Operatørene har ikke gjennomført steg 1 og/eller steg 2.**
 - (2b)Gjentatt observasjon av data. Antar ventilene er i korrekt tilstand.
 - En av operatørene velger å anta data fremfor å sjekke. (1.2B.1) (2.2B.1)
 - (3b)Misforstått identifikasjon av tilstand. Tror ventilene er i korrekt tilstand.
 - Feilaktig forståelse av data. (1.3B.1) (2.3B.1)
 - Kommunikasjonssvikt mellom operatørene. (1.3B.2) (2.3B.2)
 - (3c)Gjentatt identifasjon av tilstand. Antar ventilene er i korrekt tilstand.
 - En av operatørene velger å anta ventilens tilstand fremfor å sjekke. (1.3C.1) (2.3C.1)
 - (6a)Feil rekkefølge eller overhopp av trinn.
 - Kommunikasjonssvikt mellom operatørene. (1.6A.1) (2.6A.1)
 - Manglende kjennskap til sekvensieringen av operasjonsprosedyren. (1.6A.2) (2.6A.2)
 - En av operatørene glemte å gjennomføre et steg. (1.6A.3) (2.6A.3)
- ✚ **Operatørene har ikke mestret gjennomføringen av steg 1 og/eller steg 2.**
 - (6b) Feil ved utførelse av prosedyre.
 - Operatør blir avbrutt under handling. (1.6B.1) (2.6B.1)
 - Operatør mangler opplæring, og klarer ikke åpne/stenge ventil. (1.6B.2) (2.6B.2)
 - (6c) Dårlig utførelse av korrekt handling.
 - Operatøren mangler opptrening, og klarer ikke åpne/stenge ventil. (1.6C.1) (2.6C.1)
 - En av operatørene er uheldig under utføringen og gjør en feil. (1.6C.2) (2.6C.2)

Feil 1a, 2a og 3a med beregnes ikke her fordi det eneste elementet som skal detekteres/observeres/identifiseres er ventilenes status. Feil-scenariotet der operatørene ikke oppdager ventilene blir for dumt. Følgefeil, 7a, antas ikke som feilkilde til steg 1 og steg 2, fordi stegene ikke er avhengig av gjennomføringen av de andre stegene.

4.5.2 - Trykket er ikke høyt nok i det steg 4 påbegynnes

Mulig årsaker:

✚ Feltoperatøren avventer med gjennomføringen av steg 3.

- (1a) Mangelfull deteksjon av hendelse. Oppfatter ikke at steg 1 og 2 er gjennomført.
 - o Manglende oppmerksomhet til situasjonen. (3.1A.1)
 - o Kommunikasjonssvikt. (3.1A.2)
- (2a) Mangelfull observasjon av data. Forstår ikke at steg 1 og 2 er gjennomført.
 - o Manglende oppmerksomhet til data. (3.2A.1)
 - o Kommunikasjonssvikt. (3.2A.2)
- (3a) Mangelfull identifikasjon av tilstand. Identifiserer ikke tilstanden til 1 & 2.
 - o Manglende oppmerksomhet til systemets tilstand. (3.3A.1)
 - o Kommunikasjonssvikt. (3.3A.2)

✚ Feltoperatøren hopper over gjennomføringen av steg 3.

- (2b) Gjentatt observasjon av data. Antar trykket, P, er akseptabelt.
 - o Feltoperatøren antar at trykknivået er ok. (3.2B.1)
- (3b) Misforstått identifikasjon av tilstand. Tror at systemet tåler trykket, P.
 - o Feilaktig forståelse av trykket. (3.3B.1)
 - o Kommunikasjonssvikt mellom operatørene. (3.3B.2)
- (3c) Gjentatt identifikasjon av tilstand. Antar at systemet tåler trykket, P.
 - o Feltoperatøren antar at trykket er ok for systemet. (3.3C.1)
- (6a) Feil rekkefølge eller overhopp av trinn.
 - o Kommunikasjonssvikt mellom operatørene. (3.6A.1)
 - o Manglende kjennskap til sekvensieringen av operasjonsprosedyren. (3.6A.2)
 - o Feltoperatøren glemmer og tilordne trykket. (3.6A.3)

✚ Feltoperatøren har ikke mestret gjennomføringen av steg 3

- (6b) Feil ved utførelse av prosedyre.
 - o Feltoperatøren blir avbrutt under handling. (3.6B.1)
 - o Feltoperatøren mangler nok opplæring, og klarer ikke øke trykket til akseptabelt nivå. (3.6B.2)
- (6c) Dårlig utførelse av korrekt handling.
 - o Feltoperatøren mangler nok opptrening, og klarer ikke øke trykket til akseptabelt nivå. (3.6C.1)
 - o Feltoperatøren er uheldig og gjør en feil. (3.6C.2)

✚ Feil under steg 3 på grunn av følgefeil

- (7a) Følgefeil. Dersom situasjonen ikke oppdages.
 - o C har ikke blitt stengt under steg 1. Utførelse av steg 3 leder til tilstand E med alarm og mulig mekanisk svikt. (3.7A.1)

4.5.3 - ESV* er ikke blitt resatt i det steg 5 påbegynnes

Mulig årsaker:

✚ Feltoperatøren avventer med gjennomføringen av steg 4.

- (1a) Mangelfull deteksjon av hendelse/situasjon. Oppfatter ikke at steg 3 er gjennomført.
 - Manglende oppmerksomhet til situasjonen. (4.1A.1)
 - Kommunikasjonssvikt. (4.1A.2)
- (2a) Mangelfull observasjon av data. Forstår ikke at steg 3 er gjennomført.
 - Manglende oppmerksomhet til data. (4.2A.1)
 - Kommunikasjonssvikt. (4.2A.2)
- (3a) Mangelfull identifikasjon av tilstand. Identifiserer ikke at steg 3 er gjennomført.
 - Manglende oppmerksomhet til systemets tilstand. (4.3A.1)
 - Kommunikasjonssvikt. (4.3A.2)

✚ Feltoperatøren hopper over gjennomføringen av steg 4.

- (6a) Feil rekkefølge eller overhopp av trinn.
 - Kommunikasjonssvikt mellom operatørene. (4.6A.1)
 - Manglende kjennskap til sekvensieringen av operasjonsprosedyren. (4.6A.2)
 - Feltoperatøren glemmer og resette ESV*. (4.6A.3)

✚ Feltoperatøren har ikke mestret gjennomføringen av steg 4.

- (6b) Feil ved utførelse av prosedyre.
 - Feltoperatøren blir avbrutt under handling. (4.6B.1)
 - Feltoperatøren mangler opplæring, og klarer ikke resette ESV*. (4.6B.2)
- (6c) Dårlig utførelse av korrekt handling.
 - Feltoperatøren mangler opptrening, og klarer ikke resette ESV* korrekt. (4.6C.1)
 - Feltoperatøren er uheldig og gjør en feil. (4.6C.2)

✚ Feil under steg 4 på grunn av følgefeil

- (7a) Følgefeil. Dersom situasjonen ikke oppdages.
 - Feil og alarm fra steg 3 hindrer at ESV* kan resettes. (4.7A.1)

Under gjennomføringen av resettingen av ESV* er feilene 2 b og 3 b-c for uaktuelle å regne. Dette fordi resettingen av ESV* ikke er avhengig av systemets ulike tilstander. Ventilen skal resettes uansett i dette steget. Det er ingen data eller tilstander som kan misforståes eller feilaktig antas.

4.5.4 - ESV* er ikke blitt åpnet i det steg 6 påbegynnes

Mulig årsaker:

✚ **Kontrollromsoperatøren avventer med gjennomføringen av steg 5.**

- (1a) Mangelfull deteksjon av hendelse/situasjon. Oppfatter ikke at steg 4 er gjennomført.
 - Manglende oppmerksomhet til situasjonen. (5.1A.1)
 - Kommunikasjonssvikt. (5.1A.2)
- (2a) Mangelfull observasjon av data. Forstår ikke at steg 4 er gjennomført.
 - Manglende oppmerksomhet til data. (5.2A.1)
 - Kommunikasjonssvikt. (5.2A.2)
- (3a) Mangelfull identifikasjon av tilstand. Identifiserer ikke at steg 4 er gjennomført.
 - Manglende oppmerksomhet til systemets tilstand. (5.3A.1)
 - Kommunikasjonssvikt. (5.3A.2)

✚ **Kontrollromsoperatøren hopper over gjennomføringen av steg 5.**

- (6a) Feil rekkefølge eller overhopp av trinn.
 - Kommunikasjonssvikt mellom operatørene. (5.6A.1)
 - Manglende kjennskap til sekvensieringen av operasjonsprosedyren. (5.6A.2)
 - Kontrollromsoperatøren glemmer og åpne ESV*. (5.6A.3)

✚ **Kontrollromsoperatøren har ikke mestret gjennomføringen av steg 5.**

- (6b) Feil ved utførelse av prosedyre.
 - F Kontrollromsoperatøren blir avbrutt under handling. (5.6B.1)
 - Kontrollromsoperatøren mangler opplæring, og klarer ikke åpne ESV*. (5.6B.2)
- (6c) Dårlig utførelse av korrekt handling.
 - Kontrollromsoperatøren mangler opptrening, og klarer ikke åpne ESV* korrekt. (5.6C.1)
 - Kontrollromsoperatøren er uheldig og gjør en feil. (5.6C.2)

✚ **Feil under steg 5 på grunn av følgefeil**

- (7a) Følgefeil. Dersom situasjonen ikke oppdages.
 - Manglende reseting av ESV* i steg 4 gjør dette steget ikke gjennomførbart. (5.7A.1) Resulterer i tilstand F* eller E*
 - Manglende tilordning av trykk utløser en ekstremt farlig situasjon. Resulterer i tilstand B* eller D*. (5.7A.2)
 - Manglende tilordning av ventiler utløser en ekstremt farlig situasjon. Resulterer i tilstand D* eller vi får den latente situasjonen C*. (5.7A.3)

Igjen er feil 2 b og 3 b-c ikke medberegnet. Dette fordi det vil være totalt ulogisk å tro at ESV* allerede var åpnet på dette tidspunkt.

4.5.5 - C er ikke blitt åpnet under steg 6

Mulig årsaker:

✚ Feltoperatøren avventer med gjennomføringen av steg 6.

- (1a) Mangelfull deteksjon av hendelse/situasjon. Oppfatter ikke at steg 5 er gjennomført.
 - Manglende oppmerksomhet til situasjonen. (6.1A.1)
- (2a) Mangelfull observasjon av data. Forstår ikke at steg 5 er gjennomført.
 - Manglende oppmerksomhet til data. (6.2A.1)
- (3a) Mangelfull identifikasjon av tilstand. Identifiserer ikke at steg 5 er gjennomført.
 - Manglende oppmerksomhet til systemets tilstand. (6.3A.1)

✚ Feltoperatøren hopper over gjennomføringen av steg 6.

- (6a) Feil rekkefølge eller overhopp av trinn.
 - Kommunikasjonssvikt mellom operatørene. (6.6A.1)
 - Manglende kjennskap til sekvensieringen av operasjonsprosedyren. (6.6A.2)
 - Feltoperatøren glemmer og tilordne trykket. (6.6A.3)

✚ Feltoperatøren har ikke mestret gjennomføringen av steg 6

- (6b) Feil ved utførelse av prosedyre.
 - Feltoperatøren blir avbrutt under handling. (6.6B.1)
 - Feltoperatøren mangler nok opplæring, og klarer ikke åpne strupeventilen. (6.6B.2)
- (6c) Dårlig utførelse av korrekt handling.
 - Feltoperatøren mangler nok opptrening, og klarer ikke åpne stupeventilen. (6.6C.1)
 - Feltoperatøren er uheldig og gjør en feil. (6.6C.2)

✚ Feil under steg 6 på grunn av følgefeil

- (7a) Følgefeil. Dersom situasjonen ikke oppdages.
 - Er systemet i tilstand C* vil det her oppstå en krise situasjon med alarm, mulige mekaniske skader og automatisk nedstenging på grunn av menneskelige feil. (6.7A.1)

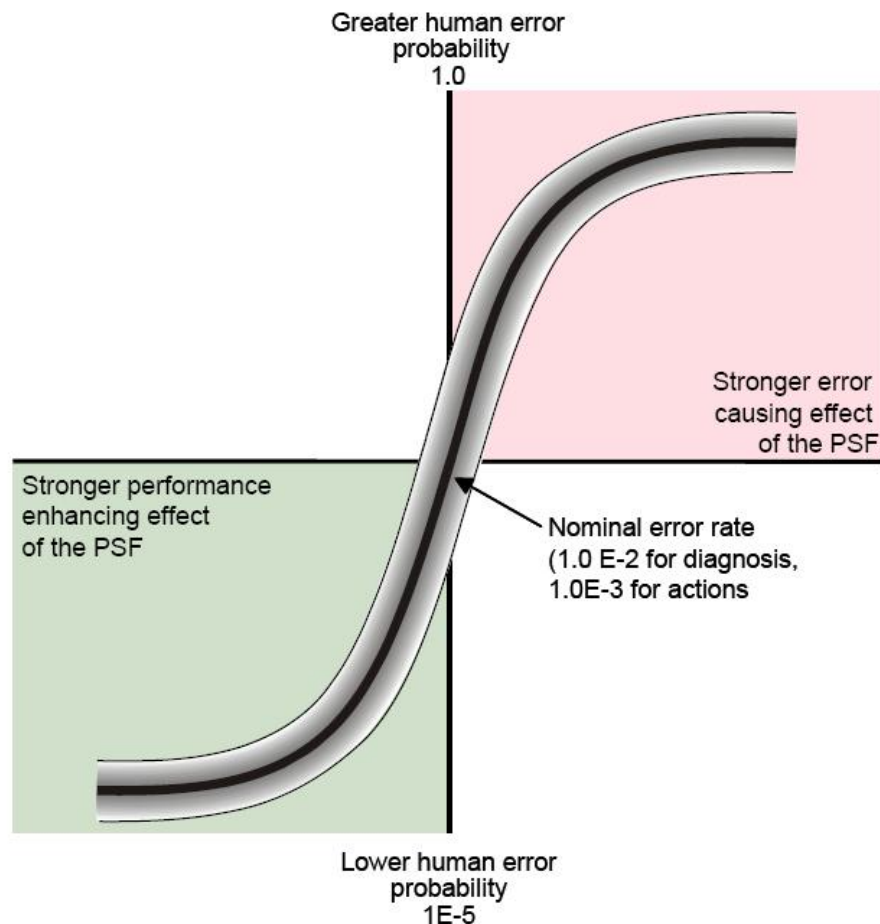
Nok engang er feil 2 b og 3 b-c ikke medberegnet. Dette fordi det vil være totalt ulogisk å tro at ESV* allerede var åpnet på dette tidspunkt.

5 - Estimering

I 4.5 - Mulige feil under scenarioet sine seks steg ble de mulige menneskelige feilene under scenarioet kartlagt. Dersom man kjenner sannsynligheten for at disse feilene oppstår kan man beregne sannsynligheten for ulike utfall av scenarioet, og på den måten beregne sikkerheten. Men å finne sannsynlighet for hver av de 84 ulike feilene presentert i scenarioanalysen er en svært utfordrende oppgave.

5.1 - Gjennomsnittlig hyppighet av feil

Flere anerkjente metoder for feilestimering (SPAR-H, HEART, CREAM m.fl.) tar utgangspunkt i en antakelse om at det gjennomsnittlige mennesket stiller feil diagnose på et problem i 1 av 100 tilfeller og gjør feil i 1 av 1000 tilfeller i mer handlingsorienterte oppgaver [4]. Forholdet 1:100 og 1:1000 gjelder for oppgaver der operatøren har grei tid, er lite stresset, har grei opplæring/erfaring, er i fin form og har en grei arbeidsprosess, mens oppgaven ikke er kompleks, prosedyren er kjent og brukergrensesnittet er greit. Disse tallene benyttes så som basis for å beregne påliteligheten til mennesket i situasjoner der for eksempel stresset økes, oppgaven mer kompleks, men opplæringen bedre. Figur 14 fra [4] viser fordelingen av den menneskelige feilfaktoren fra gode til vanskelige arbeidsforhold for operatøren. Tallene 1:100 og 1:1000 er et resultat av en serie ulike tester, der flere testobjekter skal løse forskjellige former for oppgaver under ulike forhold.

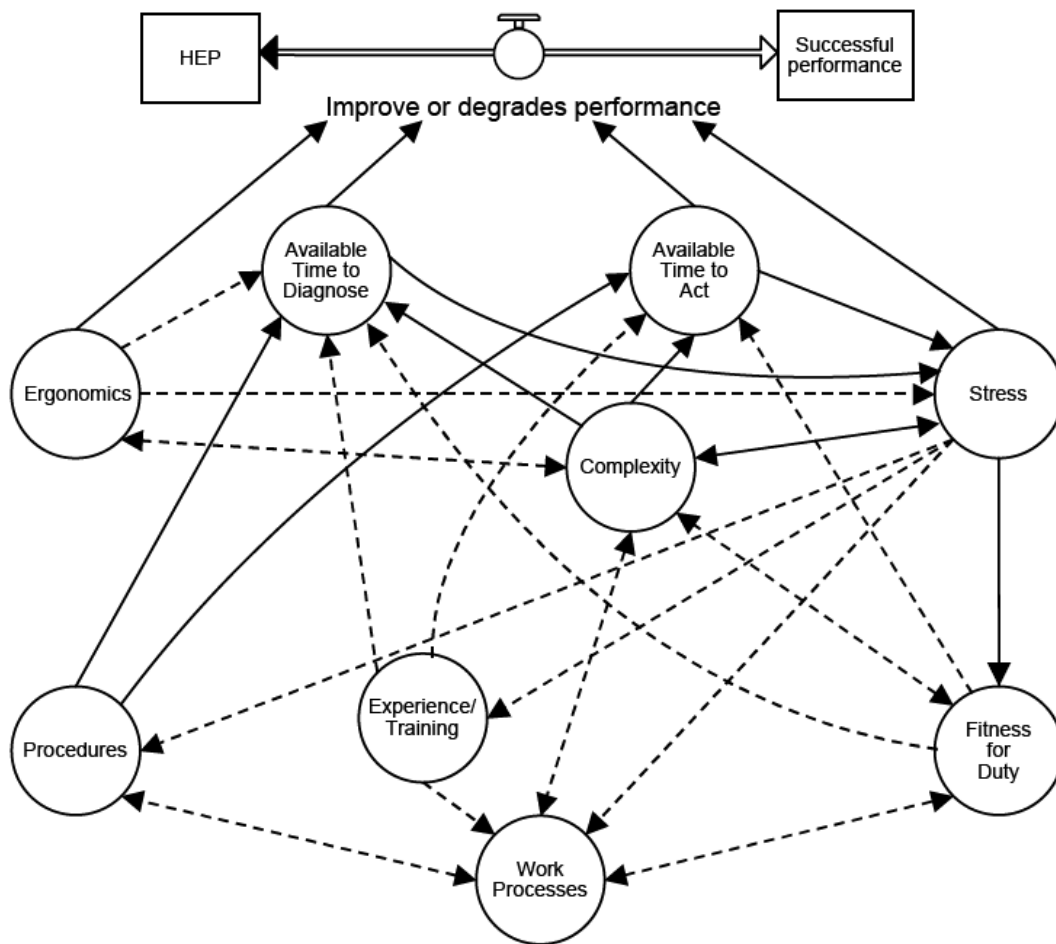


Figur 14 - Gjennomsnittlig hyppighet av menneskelige feil

5.2 - Paralleller mellom Endsleys teorier om systembevissthet og SPAR-H

5.2.1 - SPAR-H sine PSF faktorer

Figur 15 viser relasjonene mellom faktorer som påvirker kvaliteten på en operatørs handlinger. (PSF – Performance Shaping Factors, HEP – Human Error Probabilities) Figuren er hentet fra [4] en utdypende rapport om SPAR-H.



Figur 15 - Relasjoner mellom PSE-faktorer til SPAR-H

PSF-faktorene fritt oversatt til norsk slik de vil bli benyttet videre i denne rapporten:

<i>Available Time to Diagnose/Act</i>	-	<i>Tilgjengelig tid til å handle/stille diagnose</i>
<i>Stress</i>	-	<i>Stress</i>
<i>Experience/Training</i>	-	<i>Erfaring/Opplæring</i>
<i>Fitness for Duty</i>	-	<i>Egnethet for arbeid/form</i>
<i>Work processes</i>	-	<i>Arbeidsprosesser</i>
<i>Complexity</i>	-	<i>Kompleksitet</i>
<i>Procedures</i>	-	<i>Prosedyrer</i>
<i>Ergonomics</i>	-	<i>Ergonomiskeforhold</i>

5.2.2 - Faktorene som påvirker systembevisstheten

Det er klare paralleller mellom PSF-faktorene fra SPAR-H og faktorene funnet i 3.8 - Faktorer som påvirker situasjonsbevisstheten som ble funnet med utgangspunkt i Endsleys og Rasmussens teorier. Tabell 10 viser faktorene som påvirker systembevisstheten.

Inviduelle faktorer	Oppgave og systemfaktorer
Oppmerksomhet	Systemdesign
Mål	Brukergrensesnittets design
Oppfattelse	Stress
Prosessering i hjernen	Arbeidsmengde
Utvikling av mental modell	Kompleksitet
Hukommelse	Automasjon
Automatikk	
Evner	
Erfaring/Opplæring	
X-faktorene	

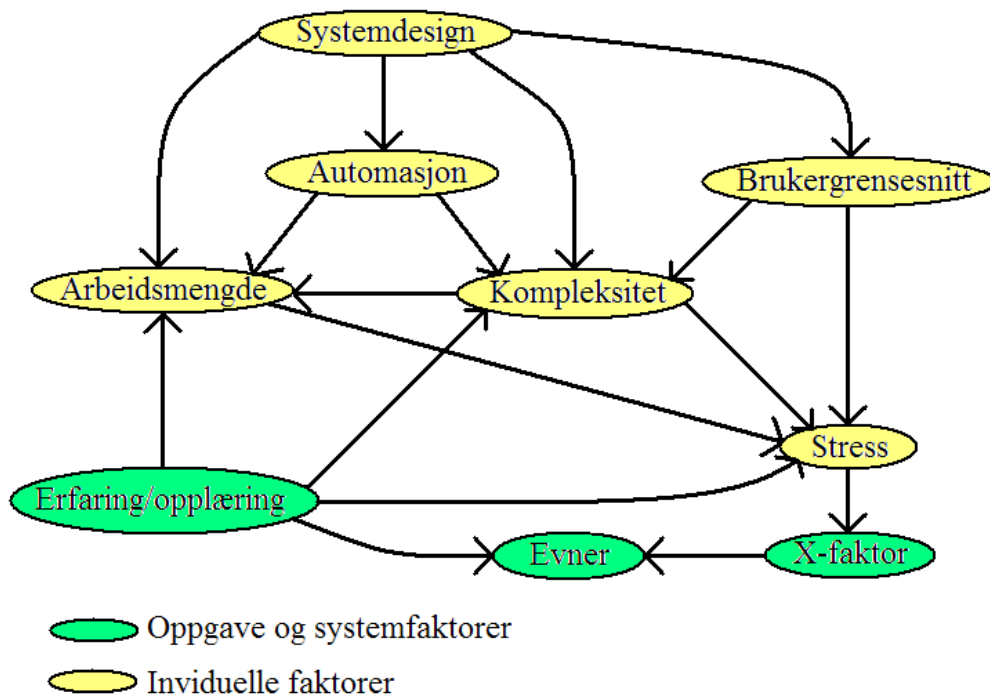
Tabell 10 - Faktorer som påvirker systembevisstheten

Oppmerksomhet, mål, oppfattelse, prosessering i hjernen, utvikling av mental modell, hukommelse og automatikk er alle "indre" faktorer som styres og er avhengige av erfaring, opplæring, evner og x-faktorene (selvtillit, humør og dagsform), se se Figur 6. Derfor vil det ikke fokuseres på disse i denne seksjonen. De ytre faktorene som styrer systembevisstheten er dermed:

Inviduelle faktorer	Oppgave og systemfaktorer
Evner	Systemdesign
Erfaring/Opplæring	Brukergrensesnittets design
X-faktorene	Stress
	Arbeidsmengde
	Kompleksitet
	Automasjon

Tabell 11 - Faktorer som påvirker systembevisstheten, redusert form

Disse faktorene er delt i to grupper. De inviduelle faktorene som er svært dynamiske og er i konstant fluks, med erfaring og opplæring som de mest stasjonære elementene. Den andre gruppen er oppgave- og systemfaktorer som kan regnes som statiske elementer. I tillegg til å påvirke selve systembevisstheten, påvirker disse faktorene også hverandre. Samspillet mellom de er svært komplekst og er vist i Figur 16.



Figur 16 - Samspillet mellom faktorer som påvirker systembevissthet

5.2.3 - Sammenlikning av faktorene

Både modellen utviklet utifra Endsleys teorier og SPAR-H har faktorene Stress, Kompleksitet, Erfaring/Opplæring representert.

Tilgjengelig tid til å handle/stille diagnose

Er direkte resultater av faktorene Systemdesign, Automasjon og Arbeidsmengde.

Egnethet for arbeid/form

Evner og X-factor avgjør sammen operatørens egnethet for arbeid og dagsform.

Arbeidsprosesser

Arbeidsprosessen til en operatør avgjøres i hovedsak faktorene Erfaring og Opplæring.

Prosedyrer

Prosedyrer avgjøres i likhet med Arbeidsprosesser av Erfaring og Opplæring.

Ergonomiskeforhold

En av de utvilsomt viktigste ergonomiske faktorene ved utførelse av en oppgave er Brukergrensesnitt.

Disse klare parallellene forsvarer at det kan benyttes en SPAR-H inspirert metode som hjelpemiddel for å estimere sannsynligheten for de ulike feilene i scenarioet.

5.3 - Sannsynligheten for de ulike feiltypene i scenarioet ved hjelp av SPAR-H

Det tas i likhet med SPAR-H utgangspunkt i gjennomsnittelig feilrate hos mennesker, 1 av 100 for stilling av diagnose og 1 av 1000 for utføring av handling. Disse tunes deretter av de ”ytre” faktorene som påvirker systembevisstheten. Tabellen som skal benyttes til å tune sannsynligheten for de forskjellige feiltypene er vist nedenfor, Tabell 12.

5.3.1 - Forsterkningsverdier

Faktor som påvirker systembevisstheten	Nivå	Forsterkning
Evner / X-faktorene	Fysisk og/eller psykisk ikke i stand til å utføre oppgave	P(feil) = 1,0
	Sterkt redusert psykisk og/eller fysisk	5
	Redusert psykisk og/eller fysisk	2
	I grei form og i greit humør	1
Erfaring/Opplæring	Feilaktig	P(feil) = 1,0
	Ikke eksisterende	50
	Ufullstendig	20
	Dårlig	5
	Normal	1
	Høy	0,5
	Utmerket	0.1
Brukergrensersnittet	Manglende/feilaktig	50
	Dårlig	10
	Normalt	1
	Godt	0,5
Stress	Ekstremt	5
	Høyt	1
	Normalt	0,5
	Veldig lavt	1
Kompleksitet	Ekstremt kompleks	5
	Høy grad av kompleksitet	2
	Normalt	1
	Veldig lavt	2
Arbeidsmengde	Mer enn operatøren makter å gjennomføre	P(feil) = 1
	Høyt	10
	Normalt	1
	Lavt	0.1
	Veldig lavt	2
Automasjon/ Systemdesign	Dårlig fordeling av oppgaver mellom menneske/maskin	5
	Ingen automatisering	2
	Delvis automatisert	1
	100% automatisering	P(feil) = 0

Tabell 12 - Forsterkningsnivå på faktorene

Denne tabellen er laget ved hjelp av en tilsvarende tabell i [4] (SPAR-H)(tabell 2-3 side 14-16). Men det er noen vesentlige forskjeller som resultat av at PSF-faktorene i SPAR-H, som forklart tidligere, ikke er helt like faktorene som påvirker systembevisstheten.

- ✚ Forsterkningen til Evner/X-Faktorene er hentet fra SPAR-H sin "fit for duty". Ingen endringer er blitt gjort.
- ✚ Erfaring/opplæring er basert på en fusjon av SPAR-Hs "Experience/training", "Procedures" og "Work processes." Her er det gjort forsiktige antakelser om hvordan forsterkningsverdiene påvirkes av ulik grad av Erfaring/Oplæring. Hvert og merke seg er at jeg har valgt å representere "Misleading Procedures" med feilaktig Erfaring/opplæring, og økt forsterkningen til 100% sannsynlighet for feil, fordi operatøren vil handle i god tro. "Missing Procedures" gir fremdeles bare en forsterkning på 50 representert med Ikke eksisterende Erfaring/Oplæring.
- ✚ Brukergrensesnittet sin forsterkning tilsvarer SPAR-Hs "Ergonomics"
- ✚ Stress og kompleksitet er bevart identisk som SPAR-Hs "Stress" og "Complexity." Med to små unntak. Veldig lavt stress er lagt til i tabellen, slik at verdiene blir i henhold til **Figur 7**. Og veldig lavt kompleksitetsnivå er også lagt til i henhold til **Figur 8**, som viser at slikt arbeid er lite verdig, og derfor også mindre motiverende og sløvende.
- ✚ Arbeidsmengde og Automasjon/Systemdesign er basert på SPAR-Hs "Available Time." Også her har det blitt gjort forsiktige antakelser om hvordan forsterkning fra "Available Time" skal fordeles mellom de to faktorene. Verdt og merke seg her er at veldig lav arbeidsmengde gir en forsterkning på 2, noe som skal representere risikoen for at operatøren blir sløvet. Her har jeg også valgt å gi dårlig funksjonsallokering mellom menneske og maskin en forsterkning på 5. Dette er gjort fordi det kan gi vanskelige situasjoner der operatør ikke klarer å henge med maskinens arbeidstempo (svakeste ledd), eller situasjoner der operatøren får sløvende eller tunge oppgaver. Se **Figur 8** eller se [2] for mer informasjon om dette. Dersom systemet er 100% automatisert, kan per definisjon ikke menneskelige feil oppstå. Men det er fremdeles rom for maskinelle feil og svikter.

I 4.2 - Rammevilkår for scenarioet ble det gjort visse antakelser for systemet og operatørene. Disse rammebetingelsene benyttes til å finne forsterkningen i steg 1-6. Eksempelvis er begge operatørene uthvilte og uten fysiske/psykiske plager, de får derfor forsterkning på "1" fra Evner/X-faktorer. I samtlige steg er operasjonen delvis automatisert, som også gir en forsterkning på "1."

5.3.1a - Forsterkning steg 1 – Stenge C

Feltoperatøren har med sitt ene år med erfaring og sin 3-årige utdanning oppnådd normalt nivå på erfaring og opplæring. Brukergrensesnittet til feltoperatøren er svært enkelt, men behovet er heller ikke tilstede, i og med at han ikke benytter datamaskin, men åpner ventilene manuelt. Dette gir derfor "Normalt" nivå på brukergrensesnittet. Feltoperatøren antas å være under normalt stress. Viktige kilder til stress er støy, vær og vind. Oppgaven er ikke kompleks, men fordi en åpning av stengt brønn ikke utføres for ofte, blir oppgaven ikke så enkel at den gir en sløvende effekt. Fordi systemet ikke stiller noen tidskrav til noen av stegene i denne prosedyren, kan feltoperatøren jobbe i eget tempo. Det gir en viktig "feil-reduserende" faktor på Arbeidsmengde.

Faktor	Nivå	Forsterkning
Evner / X-faktorene	I grei form og i greit humør	1
Erfaring/Opplæring	Normal	1
Brukergrensensnittet	Normalt	1
Stress	Normalt	0,5
Kompleksitet	Normalt	1
Arbeidsmengde	Lav	0,1
Autamasjon/ Systemdesign	Delvis automatisert	1
Total forsterkning		0,05

Tabell 13 - Forsterkning steg 1

5.3.1b - Forsterkning steg 2 – Åpne XV og ESV

Kontrollromsoperatøren har lang erfaring og høy utdanning og får derfor ”Utmerket” på Erfaring/utdanning. Brukergrensensnittet er egnet for oppgaven og gir bra score også her. Fordi flere parallelle oppgaver og medarbeidere krever oppmerksomhet er stressnivået satt til ”Høyt” og arbeidsmengden til ”Normal”. Dette steget har normal grad av kompleksitet.

Faktor	Nivå	Forsterkning
Evner / X-faktorene	I grei form og i greit humør	1
Erfaring/Opplæring	Utmerket	0,1
Brukergrensensnittet	Godt	0,5
Stress	Høyt	1
Kompleksitet	Normalt	1
Arbeidsmengde	Normal	1
Autamasjon/ Systemdesign	Delvis automatisert	1
Total forsterkning		0,05

Tabell 14 - Forsterkning steg 2

5.3.1c - Forsterkning steg 3 – Tilordne akseptabelt trykk

Feltoperatøren får omtrent samme forsterkning fra de ulike faktorene som i steg 1. Men det er et unntak. Denne oppgaven er litt mer utfordrende, da trykket må justeres til rett nivå, og det ikke bare er en åpne/lukke oppgave. Dette er representert med forsterkning ”2” fra kompleksitet.

Faktor	Nivå	Forsterkning
Evner / X-faktorene	I grei form og i greit humør	1
Erfaring/Opplæring	Normal	1
Brukergrensensnittet	Normalt	1
Stress	Normalt	0,5
Kompleksitet	Normalt	2
Arbeidsmengde	Normal	0,1
Autamasjon/ Systemdesign	Delvis automatisert	1
Total forsterkning		0,1

Tabell 15 - Forsterkning steg 3

5.3.1d - Forsterkning steg 4 – Resette ESV*

Resettingen av ESV* er i likhet med steg 1 en enkel rett frem oppgave under de samme forholdene. Steget får derfor den samme forsterkningen.

Faktor	Nivå	Forsterkning
Evner / X-faktorene	I grei form og i greit humør	1
Erfaring/Opplæring	Normal	1
Brukergrensersnittet	Normalt	1
Stress	Normalt	0,5
Kompleksitet	Normalt	1
Arbeidsmengde	Lav	0,1
Autamasjon/ Systemdesign	Delvis automatisert	1
Total forsterkning		0,05

Tabell 16 - Forsterkning steg 4

5.3.1e - Forsterkning steg 5 – Åpne ESV*

Veldig likt steg 2, der det også skal åpnes ventiler fra kontrollrommet. Men fordi ESV* egentlig er en sammensatt ventil, se **Figur 9** og **Figur 10**, må det regnes som en oppgave med høy grad av kompleksitet.

Faktor	Nivå	Forsterkning
Evner / X-faktorene	I grei form og i greit humør	1
Erfaring/Opplæring	Utmerket	0,1
Brukergrensersnittet	Godt	0,5
Stress	Høyt	1
Kompleksitet	Høy grad av kompleksitet	2
Arbeidsmengde	Normal	1
Autamasjon/ Systemdesign	Delvis automatisert	1
Total forsterkning		0,1

Tabell 17 - Forsterkning steg 5

5.3.1f - Forsterkning steg 6 – Åpne C

Dette steget er nesten identisk med steg 1 og får derfor også den samme forsterkningen fra faktorene som påvirker systembevisstheten.

Faktor	Nivå	Forsterkning
Evner / X-faktorene	I grei form og i greit humør	1
Erfaring/Opplæring	Normal	1
Brukergrensersnittet	Normalt	1
Stress	Normalt	0,5
Kompleksitet	Normalt	1
Arbeidsmengde	Lav	0,1
Autamasjon/ Systemdesign	Delvis automatisert	1
Total forsterkning		0,05

Tabell 18 - Forsterkning steg 6

5.4 - Sannsynligheten for de ulike feilene

Grunnpilaren for å beregne sannsynlighetene her er som nevnt ovenfor 1% for stilling av diagnose og 0,1% for utføring av handling. Dette kan sammen med forsterkningen benyttes direkte for å estimere sannsynligheten for at det oppstår en feil under et av de seks stegene.

$$P(\text{Feil steg 1}) = 1 - \text{Forsterkning1} * (1 - 0,01) * (1 - 0,001)$$

$$P(\text{Feil steg 1}) = 1 - 0,05 * (1 - 0,01) * (1 - 0,001)$$

$$P(\text{Feil steg 1}) \approx 5,5 * 10^{-4}$$

Men fordi det ønskes mer kontroll over hvilke typer feil som oppstår gjennomføres ikke estimeringen av sikkerheten til scenarioet slik.

Grunnpilaren med med 1% og 0,1% multiplisert med stegets forsterkning representerer sannsynligheten for at minst en feil oppstår på det aktuelle steget. Fordi det eksisterer flere ulike mulige typer feil på hvert enkelt steg, må denne sannsynligheten fordeles mellom de ulike feilene. Dette gjøres enklest med vekting.

I steg 1 er det en forsterkningsfaktor på 0,05. Dette gir 0,05% risiko for feil under diagnosen og 0,005% risiko for feil under handling. Fordi det er fire ulike typer feil som kan oppstå under stilling av diagnose og syv ulike typer feil som kan oppstå under utføring av handling under dette steget må feilene vektet etter hvor sannsynlige de antas å være. Denne vektingen gjøres best utifra historiske data som jeg ikke har tilgang på til dette fiktive scenarioet. Tabell II og tabell III i [14] gir en liten pekepin for forekomsten av de ulike typene feil. Men utover det er vektingen gjort mye utifra egen intuisjon.

5.4.1 - Vekting av mulige feil under stillingen av diagnose steg 1:

Feiltype	Vekting
(1.2B.1) En av operatørene velger å anta data fremfor å sjekke.	5
(1.3B.1) Feilaktig forståelse av data.	1
(1.3B.2) Kommunikasjonssvikt mellom operatørene.	5
(1.3C.1) En av operatørene velger å anta ventilens tilstand fremfor å sjekke.	5

5.4.2 - Vekting av mulige feil under handling steg 1:

Feiltype	Vekting
(1.6A.1) Kommunikasjonssvikt mellom operatørene.	5
(1.6A.2) Manglende kjennskap til sekvensieringen av operasjonsprosedyren.	1
(1.6A.3) En av operatørene glemte å gjennomføre et steg.	7
(1.6B.1) Operatør blir avbrutt under handling.	7
(1.6B.2) Operatør mangler opplæring, og klarer ikke åpne/stenge ventil.	1
(1.6C.1) Operatøren mangler opptrening, og klarer ikke åpne/stenge ventil.	1
(1.6C.2) En av operatørene er uheldig under utføringen og gjør en feil.	5

En vekting som ovenfor resulterer i sannsynlighetsfordeling vist i Tabell 19, for komplette beregninger se excel-fil på vedlagt CD. Sannsynligheten for minst en feil i steg 1 er fremdeles $5,5 * 10^{-4}$. Fordi sannsynlighetene på de enkelte feilene er funnet ved å gå baklengs. Så i første omgang tilfører ikke vektingen og den påfølgende beregningen av de ulike feilene noe nytt til estimeringen av den endelige sikkerheten til scenarioet. Men det gir en mye mer helhetlig forståelse av de ulike risikoene ved operasjonen. Den ideelle situasjonen villle selvsagt vært at historiske data, tester og statistikk ble benyttet direkte for å beregne sannsynlighetene for de ulike

feilene i Tabell 19. Men det ville også stille store krav til kjennskap til alle elementer i og rundt hvert enkelt steg.

Feiltype	Sannsynlighet
(1.2B.1) En av operatørene velger å anta data fremfor å sjekke.	1,56E-04
(1.3B.1) Feilaktig forståelse av data.	3,13E-05
(1.3B.2) Kommunikasjonssvikt mellom operatørene.	1,56E-04
(1.3C.1) En av operatørene velger å anta ventilens tilstand fremfor å sjekke.	1,56E-04
(1.6A.1) Kommunikasjonssvikt mellom operatørene.	9,26E-06
(1.6A.2) Manglende kjennskap til sekvenseringen av operasjonsprosedyren.	1,85E-06
(1.6A.3) En av operatørene glemte å gjennomføre et steg.	1,30E-05
(1.6B.1) Operatør blir avbrutt under handling.	1,30E-05
(1.6B.2) Operatør mangler opplæring, og klarer ikke åpne/stenge ventil.	1,85E-06
(1.6C.1) Operatøren mangler opptrening, og klarer ikke åpne/stenge ventil.	1,85E-06
(1.6C.2) En av operatørene er uheldig under utføringen og gjør en feil.	9,26E-06
Minst en feil i løpet av steg 1	5,50E-04

Tabell 19 - Sannsynlighet for ulike feil steg 1

5.4.3 - Vektingen av steg 1-6

Samtlige feil vektet etter samme prinsipp som ble brukt til feilene i steg 1. Dette resulterer i tabellene nedenfor.

Steg 1		Steg 2		Steg 3	
Diagnose	Vekting	Diagnose	Vekting	Diagnose	Vekting
-		-		3.1A.1	3
-		-		3.1A.2	5
-		-		3.2A.1	3
-		-		3.2A.2	5
-		-		3.3A.1	3
-		-		3.3A.2	5
1.2B.1	5	2.2B.1	5	3.2B.1	5
1.3B.1	1	2.3B.1	1	3.3B.1	1
1.3B.2	5	2.3B.2	5	3.3B.2	5
1.3C.1	5	2.3C.1	5	3.3C.1	5
Aksjon	Vekting	Aksjon	Vekting	Aksjon	Vekting
1.6A.1	5	2.6A.1	5	3.6A.1	5
1.6A.2	1	2.6A.2	1	3.6A.2	1
1.6A.3	7	2.6A.3	7	3.6A.3	7
1.6B.1	7	2.6B.1	7	3.6B.1	7
1.6B.2	1	2.6B.2	1	3.6B.2	1
1.6C.1	1	2.6C.1	1	3.6C.1	1
1.6C.2	5	2.6C.2	5	3.6C.2	5

Tabell 20 - Vekting av feil steg 1-3

Steg 4	
Diagnose	Vekting
4.1A.1	0
4.1A.2	0
4.2A.1	0
4.2A.2	0
4.3A.1	0
4.3A.2	0
-	
-	
-	
-	

Steg 5	
Diagnose	Vekting
5.1A.1	3
5.1A.2	5
5.2A.1	3
5.2A.2	5
5.3A.1	3
5.3A.2	5
-	
-	
-	
-	

Steg 6	
Diagnose	Vekting
6.1A.1	3
6.1A.2	5
6.2A.1	3
6.2A.2	5
6.3A.1	3
6.3A.2	5
-	
-	
-	
-	

Aksjon	Vekting
4.6A.1	5
4.6A.2	1
4.6A.3	7
4.6B.1	7
4.6B.2	1
4.6C.1	1
4.6C.2	5

Aksjon	Vekting
5.6A.1	5
5.6A.2	1
5.6A.3	7
5.6B.1	7
5.6B.2	1
5.6C.1	1
5.6C.2	5

Aksjon	Vekting
6.6A.1	5
6.6A.2	1
6.6A.3	7
6.6B.1	7
6.6B.2	1
6.6C.1	1
6.6C.2	5

Tabell 21 - Vekting av feil steg 4-6

I steg 4 vektes alle feilene til 0 fordi sannsynligheten for at feltoperatøren ikke forstår at det forrige steget er utført, når han selv er hovedansvarlig for det forrige steget, er tilnærmet lik 0.

5.4.4 - Sannsynligheten for de ulike feilene i steg 1-6

Tabell 22 viser sannsynligheten for alle feil under scenarioet. Følgefeilene er farget grått fordi de ikke representerer en ny feil av operatørene, men er et resultat av tidligere feil. Steg 2 inneholder to veldig like operasjoner, åpning av XV og åpning av ESV. Steg 2 i tabellen nedenfor gir sannsynligheten for de ulike feilene på hver av dem. Det betyr at steg 2 dermed må medberegnes to ganger under den totale feilestimeringen. Dette kommer tydelig frem på excel-ark på vedlagt CD og i neste seksjon.

Steg 1	Sanns.
-	
-	
-	
-	
-	
1.2B.1	1,56E-04
1.3B.1	3,13E-05
1.3B.2	1,56E-04
1.3C.1	1,56E-04
1.6A.1	9,26E-06
1.6A.2	1,85E-06
1.6A.3	1,30E-05
1.6B.1	1,30E-05
1.6B.2	1,85E-06
1.6C.1	1,85E-06
1.6C.2	9,26E-06
-	

Steg 2	Sanns.
-	
-	
-	
-	
-	
2.2B.1	1,56E-04
2.3B.1	3,13E-05
2.3B.2	1,56E-04
2.3C.1	1,56E-04
2.6A.1	9,26E-06
2.6A.2	1,85E-06
2.6A.3	1,30E-05
2.6B.1	1,30E-05
2.6B.2	1,85E-06
2.6C.1	1,85E-06
2.6C.2	9,26E-06
-	

Steg 3	Sanns.
3.1A.1	7,50E-05
3.1A.2	1,25E-04
3.2A.1	7,50E-05
3.2A.2	1,25E-04
3.3A.1	7,50E-05
3.3A.2	1,25E-04
3.2B.1	1,25E-04
3.3B.1	2,50E-05
3.3B.2	1,25E-04
3.3C.1	1,25E-04
3.6A.1	1,85E-05
3.6A.2	3,70E-06
3.6A.3	2,59E-05
3.6B.1	2,59E-05
3.6B.2	3,70E-06
3.6C.1	3,70E-06
3.6C.2	1,85E-05
3.7A.1	5,50E-04

Steg 4	Sanns.
4.1A.1	0
4.1A.2	0
4.2A.1	0
4.2A.2	0
4.3A.1	0
4.3A.2	0
-	
-	
-	
-	
4.6A.1	9,26E-06
4.6A.2	1,85E-06
4.6A.3	1,30E-05
4.6B.1	1,30E-05
4.6B.2	1,85E-06
4.6C.1	1,85E-06
4.6C.2	9,26E-06
4.7A.1	5,50E-04
-	
-	

Steg 5	Sanns.
5.1A.1	1,25E-04
5.1A.2	2,08E-04
5.2A.1	1,25E-04
5.2A.2	2,08E-04
5.3A.1	1,25E-04
5.3A.2	2,08E-04
-	
-	
-	
-	
5.6A.1	1,85E-05
5.6A.2	3,70E-06
5.6A.3	2,59E-05
5.6B.1	2,59E-05
5.6B.2	3,70E-06
5.6C.1	3,70E-06
5.6C.2	1,85E-05
5.7A.1	6,00E-04
5.7A.2	1,10E-03
5.7A.3	1,10E-03

Steg 6	Sanns.
6.1A.1	6,25E-05
6.1A.2	1,04E-04
6.2A.1	6,25E-05
6.2A.2	1,04E-04
6.3A.1	6,25E-05
6.3A.2	1,04E-04
-	
-	
-	
-	
6.6A.1	9,26E-06
6.6A.2	1,85E-06
6.6A.3	1,30E-05
6.6B.1	1,30E-05
6.6B.2	1,85E-06
6.6C.1	1,85E-06
6.6C.2	9,26E-06
6.7A.1	1,10E-03
-	
-	

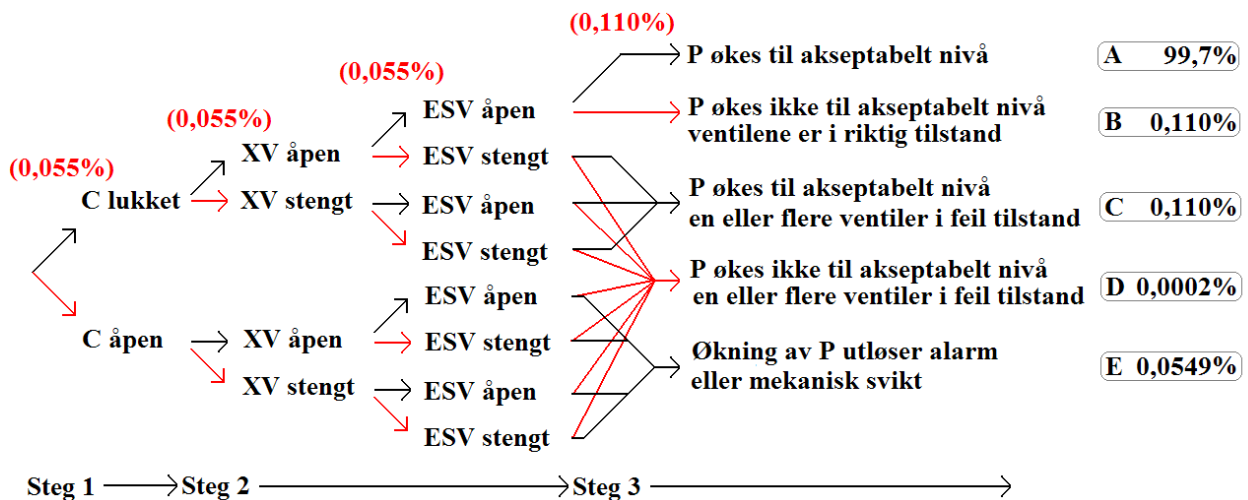
Tabell 22 - Sannsynligheten for de ulike feilene steg 1-6

5.5 - Sannsynligheten for ulike utfall

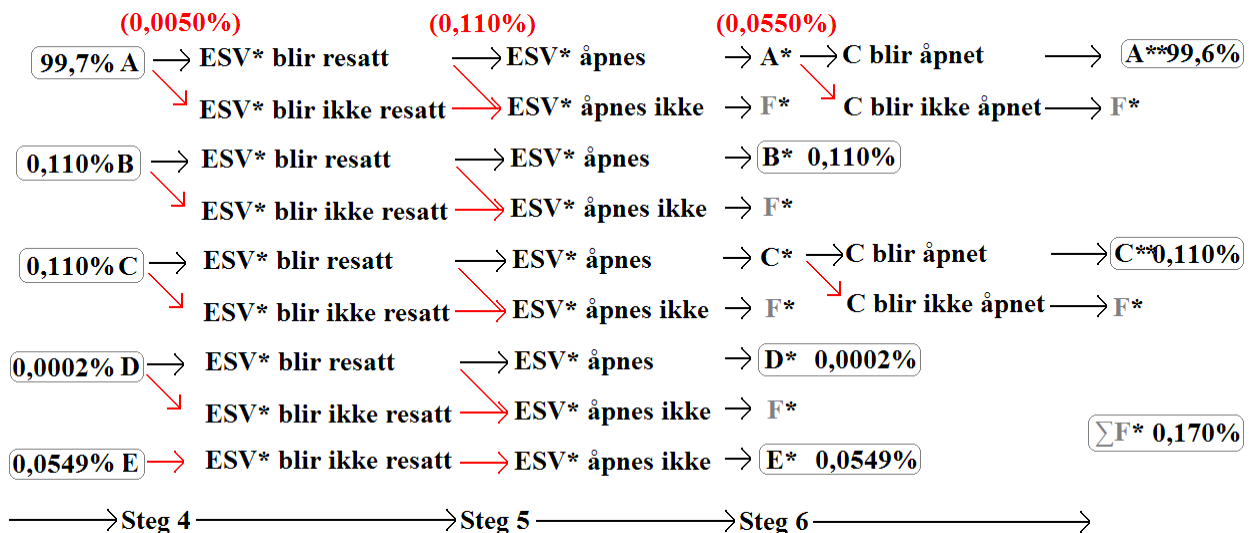
Sannsynligheten for at operatøren begår en feil som resulterer i at en av operasjonene ikke blir fullført er vist i Tabell 23. Ved hjelp av Figur 11 og Figur 12 fremgår det tydelig hvordan sannsynlighetene for de ulike utfallene av scenarioet lett kan beregnes ved hjelp av Tabell 23.

Sannsynligheten for at steg 1 ikke blir fullført av operatøren	P(1)	5,50E-04
Sannsynligheten for at steg 2(XV) ikke blir fullført av operatøren	P(2xv)	5,50E-04
Sannsynligheten for at steg 2(ESV) ikke blir fullført av operatøren	P(2esv)	5,50E-04
Sannsynligheten for at steg 2 ikke blir fullført av operatøren	P(2)	1,10E-03
Sannsynligheten for at steg 3 ikke blir fullført av operatøren	P(3)	1,10E-03
Sannsynligheten for at steg 4 ikke blir fullført av operatøren	P(4)	5,00E-05
Sannsynligheten for at steg 5 ikke blir fullført av operatøren	P(5)	1,10E-03
Sannsynligheten for at steg 6 ikke blir fullført av operatøren	P(6)	5,50E-04

Tabell 23 - Sannsynlighet for at de ulike stegene ikke blir fullført av operatørene



Figur 17 - Sannsynlighetsfordelingstre for steg 1-3



Figur 18 - Sannsynlighetsfordelingstre for steg 4-6

Som det fremgår av Figur 18 får scenarioet følgende sannsynlighetsfordeling av de ulike utfallene:

A - 99,6%**

Operasjonen er vellykket.

B* - 0,110%

Vi får et blowout-scenario som et resultat av menneskelige feil.

C - 0,110%**

Vi får en krise situasjon med alarm, mulige mekaniske skader og automatisk nedstenging på grunn av menneskelige feil.

D* - 0,0002%

Vi får et blowout-scenario som et resultat av menneskelige feil.

E* - 0,0549%

Vi får alarm og mulighet for mekanisk svikt som et resultat av menneskelige feil.

F* - 0,170%

Menneskelige feil har oppstått, men eneste konsekvens er at operasjonen ikke er blitt fullført av operatørene. Fordi utfallet av den siste aksjonen avviker fra ønsket utfall i operasjonsprosedyren, er sjansene store for at operatørene selv oppdager at de har begått en tabbe. Slik at nåværende latente feil i systemet ikke får konsekvenser.

Sannsynligheten for minst en menneskelig feil under scenarioet ender på 0,444%. Mens sannsynligheten for en menneskapt hendelse/ulykke ender på 0,274%, dette er inkludert en risiko på 0,110% for et blowout scenario.

5.6 - Sikkerheten til operasjonsprosedyren og systemet

Det er strenge sikkerhetskrav til de fleste systemene og prosedyrene på en oljeplattform på grunn av de enorme konsekvensene ved et eventuelt uhell eller ulykke. Kapitell 7 i [8] beskriver pålitelighets kravene til ulike sikkerhetsfunksjoner på en oljeplattform. Tabell 24 hentet fra [8] viser 4 ulike sikkerhetsnivåer. De mest kritiske sikkerhetsfunksjonene rundt produksjonsbrønnen med dens ventiler hadde i den rapporten SIL nivå 3.

Safety Integrity Level	Demand Mode of Operation (average probability of failure to perform its design function on demand - PFD)
4	$\geq 10^{-5}$ to $< 10^{-4}$
3	$\geq 10^{-4}$ to $< 10^{-3}$
2	$\geq 10^{-3}$ to $< 10^{-2}$
1	$\geq 10^{-2}$ to $< 10^{-1}$

Tabell 24 - Sikkerhetsnivå (SIL)

Sikkerhetsfunksjoner og mekaniske komponenter i scenarioet valgt i denne oppgaven antas å ligge mitt i SIL 3. Antakelsen er gjort på bakgrunn av [8]. Det gir en gjennomsnittelig risiko for mekanisk feil i løpet av operasjonsprosedyren på $5,0 * 10^{-4}$. Sannsynligheten for menneskelige feil som resulterer i ulykke/uhell under scenarioet kan oppsummeres som summen av B*, C**, D* og E*. Det gir en risiko på $2,74 * 10^{-3}$ for menneskeskapt hendelse/ulykke. Totalt får dermed scenarioet en risikofaktor på $3,24 * 10^{-3}$. Det virker ikke faretruende høyt, med hensyn på at denne operasjonen ikke utføres ofte, men det holder bare til SIL 2 i henhold til Tabell 24. Og sikkerhetskritiske operasjoner av denne typen bør ha en total risiko innenfor minst nivå 3. Sikkerhetsnivået på operasjonsprosedyren i scenarioet i denne oppgaven er derfor under ønsket nivå.

6 - Diskusjon

Valget av scenario var viktig i denne oppgaven. Det var behov for en sikkerhetskritisk operasjonsprosedyre på et mest mulig lukket system. Åpning av produksjonsbrønn inneholder klare enkle steg der operatørene har begrenset med valgmuligheter. For jo færre mulige valg operatørene innehar, jo lettere blir det å forutse deres handlinger. Scenarioet valgt i oppgaven er forenklet noe fra virkeligheten. Sammenslåingen av de 3 ventilene PWV, PMV og DHSV til ventilen ESV* forenklet operasjonsprosedyren, og dermed også scenarioet, betraktelig. Scenarioet ble derfor ikke lengre like virkelighetsnært, men var fremdeles mer enn realistisk nok for denne oppgaven. Fordi målet med oppgaven var å estimere påliteligheten til mennesket i en sikkerhetskritisk situasjon, ikke å beregne sikkerhetsnivået på oljeplattformer i nordsjøen.

Denne oppgaven tok utgangspunkt i Rasmussens teorier om menneskets beslutningsprosess og Endsleys teorier om systembevisstheten for å danne et bilde av hvilke faktorer som styrer menneskets valg. I avsnittet om systembevissthet ble det konkludert med at det finnes nesten 20 slike faktorer med vesentlig innflytelse på systembevisstheten. Disse faktorene ble redusert til 10 under estimeringsseksjonen. Dette vil ha en viss innvirkning på kvaliteten til estimeringene, men fordi faktorer som operatørens hukommelse, oppmerksomhet, mentale modell, mål og så videre alle inneholder fluktig og ikke observerbar informasjon, virker problematikken ved å ta de med videre større enn nytteverdien. Nyttverdien er begrenset nettopp fordi de er direkte avhengig av de ”ytre” faktorenes tilstand. Jeg anser derfor beslutningen om å gjennomføre denne forenklingen som god. Men det hadde vært spennende og forsøke å gjøre estimeringen med alle de nesten 20 faktorene, selv om det fort hadde blitt svært omfattende og komplekst.

Likheten mellom de resterende 10 faktorene og PSF (Performance Shaping Factors) til SPAR-H (Standardized Plant Analysis Risk-Human Reliability Analysis method) var slående. Dette vitner om at det ikke bare er jeg som ser flere utfordringer, enn nytteverdi, med de ”indre” faktorene. Og forsvarer mitt valg om å kun fokusere på de ”ytre” faktorene. Manglende tilgang på felldata fra operasjoner med likhetstrekk til denne oppgavens scenario, og de klare parallellene mellom de gjenværende faktorene som påvirker systembevisstheten og PSF til SPAR-H, var bakgrunnen for at jeg valgte en någenlunde lik framgangsmåte som SPAR-H for estimeringen. Dette resulterte i valget om å benytte sannsynlighetene, 1:100 for at operatøren gjør feil under stillingen av diagnose, og 1:1000 for at operatøren gjør feil under utføring av handling, som utgangspunkt for min estimering. Dette er to tall som kommer fra en serie feltundersøkelser gjort ved amerikanske atomreaktorer [4]. Det er svært vanskelig å bekrefte validiteten til disse to tallene, fordi størrelsen på tallene avhenger helt av hvordan testene er gjennomført. Bruken av disse verdiene er det svakeste leddet i estimeringsdelen i denne oppgaven.

I forsterkningstabellen vist i Tabell 12 ble det forsøkt å hente inn verdier fra PSF-tabellene presentert i SPAR-H [4], der det ikke var mulig å benytte tilegnet informasjon om faktorer som påvirker systembevisstheten til selv å velge gode verdier. Verdiene i denne tabellen er svært diskutabile, da tabellen krever at det settes et veldig svart-hvitt preg på faktorenes tilstand. Med svart-hvitt menes at operatøren, hans oppgaver og miljø kategoriseres i båser. Og det kan eksempelvis fort oppstå situasjoner der den kan være svært vanskelig å bedømme om en operatør har normal eller høy arbeids mengde. Noe som vil gi svært ulike utslag på den totale forsterkningen. Men bruken av en slik tabell til å beregne påliteligheten til forskjellige operatører under ulike forhold er en svært effektiv metode med høy grad av fleksibilitet. Jeg sitter igjen med

inntrykk av at nøkkeln til en god estimeringsmetode ligger i mye arbeid med forsterkningstabellen, slik at den stemmer godt overens med felldata..

Istedenfor å benytte elementer fra SPAR-H som hjelpemiddel for å estimere menneskets pålitelighet kunne jeg isteden sett mer på en av de andre store estimeringsmetodene, for eksempel CREAM [6]-[7]. Men fordi jeg ønsket å ta utgangspunkt i faktorer som påvirker systembevisstheten til mennesket og SPAR-H sine PSF liknet mest på disse, var valget både enkelt og naturlig.

De ulike feiltypene som kan oppstå under scenarioet og vekting av de er med på å gi et godt bilde av hvilke situasjoner som kan oppstå og hvorfor. Selvom arbeidet med disse feilene i seg selv ikke får noe direkte utslag på estimeringen av operasjonenes totale sikkerhet. Alle de mest aktuelle og mulige feilene er forsøkt presentert, men det er selvfølgelig en mulighet for at det finnes feil som jeg ikke har fått med. Jeg valgte å fokusere på feil som resulterer i at et steg ikke blir fullført. Og med feilklassifiseringen i Tabell 1 og god kjennskap til scenarioet sine 6 steg tillot meg å gå ganske systematisk tilverks. Noe som skal redusere muligheten for at essensielle feil har sluppet utenom.

Også under vektingen av feil var manglende felldata for denne typen scenario en stor utfordring. Vektingen var uansett et hjelpemiddel for å beregne sannsynlighetene for de ulike feilene baklengs, og har ingen effekt på den endelige påliteligheten til mennesket i dette scenarioet.

Som nevnt tidligere hadde det optimale utgangspunktet for beregningen av sikkerheten rundt dette scenarioet vært god tilgang til felldata, slik at sannsynligheten for de ulike feilene kunne bestemmes direkte. Men når slike data i mange situasjoner ikke eksisterer, er framgangsmåten/metoden vist i denne rapporten et godt alternativ for å få et bilde på sikkerheten til operasjonen. Det må selvfølgelig tas høyde for de mange og store feilkildene under estimeringen. Så inntil man har god tilgang på felldata gir en slik estimering kun en pekepin på sikkerheten, ingen fasit.

Fordi mennesket er så uberegnelig som det er vil det alltid være vanskelig og problematisk å finne gode verdier på ulike faktorer som er avgjørende i estimeringen av påliteligheten. Og verdiene man finner og betydningen av dem vil alltid være diskutabile. Det vil være umulig å vite om en estimeringsmetode virkelig er god før den er matchet med historiske og nye felldata. Når mennesket samtidig står for opp mot 80-90% av alle industri ulykker [6]. Blir denne typen forskning både utfordrende, spennende og ikke minst viktig.

7 - Konkusjon

Med utgangspunkt i Rasmussen sine teorier om beslutningsprosessen og Endsley sine teorier om systembevisstheten ble det utviklet et estimeringsrammeverk med flere sentrale elementer hentet fra SPAR-H. Det lyktes slik å estimere påliteligheten til mennesket under det valgte sikkerhetskritiske scenarioet. Estimeringen ga en risiko på $2,74 * 10^{-3}$ for at mennesket gjør en feil i løpet av operasjonsprosedyren som resulterer i en farlig situasjon. Men dette var bare en halv seier.

For å kunne gjennomføre estimeringen var det behov for å gjøre/ta en rekke forenklinger og antagelser. Dette reduserte kredibiliteten til estimeringen dramatisk. Dette kom som et resultat av manglende tilgang til felldata fra situasjoner nærliggende det valgte scenarioet. Kun dersom alle mulige sider ved operatørene, oppgavene og systemet er kjent er det mulig å gjøre en fullgod risikoestimering av scenarioet. Og med tanke på at mange av elementene bak operatørens beslutningsprosess er skjulte kan dette raskt bli svært problematisk.

Men det er som denne oppgaven viser mulig å gjøre et greit estimat av tallverdier på påliteligheten til mennesket, uten denne totale kjennskapen. Omfattende felldata fra atomanlegg har resultert i en estimering av gjennomsnittelig feilrate for operatører. Ved å identifisere elementer som er med på å øke eller redusere risikoen for menneskelige feil under et scenario, kan den gjennomsnittelige feilraten benyttes som base for å beregne påliteligheten til operatøren(e) i det aktuelle scenarioet.

8 - Etterord

Forskningsfeltet ”menneskelige feil” er i vinden og får stadig mer fokus fra bedrifter verden over. Det er et vanskelig, komplekst og til tider u håndterlig fagfelt. Men også utrolig viktig. Det er store økonomiske, miljømessige og sikkerhetsmessige gevinster ved god kunnskap på dette området. Denne oppgaven klarer ikke å nå målet om en nøyaktig estimering av påliteligheten til mennesket, men viser samtidig at det skal være mulig å nå dette målet i fremtiden.

Det har vært gøy og spennende å jobbe med menneskelige feil, men til tider også svært vanskelig og uoversiktlig. Det hadde vært mulig med en litt annen vinkling på oppgaven der målet er å redusere risikoen rundt operasjonsprosedyren mest mulig, istedenfor å finne tallet på sikkerheten. Det hadde gjort oppgaven vesentligere enklere, uten nødvendigvis å gå utover nytteverdien av resultatene. Men jeg er veldig fornøyd med mitt valg av oppgaven, og det spennede halvåret jeg har fått som et resultat av dette.

Benytter til slutt anledningen til å takke Stein Hauge, Ragnar Rosness og Stig Johnsen ved SINTEF for bistand til å finne god og egnet litteratur for denne oppgaven. En stor takk går også ut til min faglige veileder Tor Onshus ved NTNU for god veiledning under arbeidet med oppgaven.

9 - Appendix

9.1 - Liste over figurer

Figur 1 - Menneske-maskin ulykker der menneskelig svikt ansees som årsaken.....	11
Figur 2 - Operatøropførelse	17
Figur 3 – Beslutningsprosess	20
Figur 4 – Situasjonsbevissthet.....	21
Figur 5 - Systembevissthet i et team.....	23
Figur 6 - Faktorer som påvirker systembevisstheten.....	25
Figur 7 - Stressnivå.....	29
Figur 8 - Automatisering av arbeidsoppgaver.....	31
Figur 9 - Modell av systemet	33
Figur 10 - Forenklet modell av systemmodell	34
Figur 11 - Tilstander steg 1-3.....	36
Figur 12 - Tilstander steg 4-6.....	37
Figur 13 - Nummerering av feiltypene	41
Figur 14 - Gjennomsnittlig hyppighet av menneskelige feil	47
Figur 15 - Relasjoner mellom PSE-faktorer til SPAR-H.....	48
Figur 16 - Samspillet mellom faktorer som påvirker systembevissthet	50
Figur 17 - Sannsynlighetsfordelingstre for steg 1-3.....	59
Figur 18 - Sannsynlighetsfordelingstre for steg 4-6.....	59

9.2 - Liste over tabeller

Tabell 1 - Kategorisering av menneskelige feil	16
Tabell 2 - Operasjonsprosedyre	34
Tabell 3 - Systemelementer	35
Tabell 4 - Tilstander etter steg 1.....	37
Tabell 5 - Tilstander etter steg 1 og 2.....	37
Tabell 6 - Tilstander etter steg 1, 2 og 3.....	38
Tabell 7 - Tilstander etter steg 4.....	38
Tabell 8 - Tilstander etter steg 5.....	39
Tabell 9 - Tilstander etter steg 6.....	40
Tabell 10 - Faktorer som påvirker systembevisstheten	49
Tabell 11 - Faktorer som påvirker systembevisstheten, redusert form	49
Tabell 12 - Forsterkningsnivå på faktorene	51
Tabell 13 - Forsterkning steg 1	53
Tabell 14 - Forsterkning steg 2	53
Tabell 15 - Forsterkning steg 3	53
Tabell 16 - Forsterkning steg 4	54
Tabell 17 - Forsterkning steg 5	54
Tabell 18 - Forsterkning steg 6	54
Tabell 19 - Sannsynlighet for ulike feil steg 1	56
Tabell 20 - Vekting av feil steg 1-3.....	56
Tabell 21 - Vekting av feil steg 4-6.....	57
Tabell 22 - Sannsynligheten for de ulike feilene steg 1-6	58
Tabell 23 - Sannsynlighet for at de ulike stegene ikke blir fullført av operatørene	59
Tabell 24 - Sikkerhetsnivå (SIL).....	61

9.3 - Referanser

- [1] Arthur B. Aune, Brukerkommunikasjon i automatiserte anlegg, Institutt for teknisk Kybernetikk - NTNU, 2002-08-01
- [2] Bråthen K, Nordø E, Jensen A.C. Utvikling av Menneske-Maskin-Systemer, FFI rapport 2001/04234
- [3] Endsley R. Mica, Toward a theory of Situation Awareness in Dynamics Systems, Human Factors, 1995, 37(1), 32-64
- [4] Gertman D., Blackman H., Marble J., Byers J., Smith C. The SPAR-H Human Reliability Analysis Method. Division of Risk Analysis and Applications, Office of Nuclear Regulatory Research and U.S. Nuclear Regulatory Commission, August 2005
- [5] Heimdal, Jan . The Man - Technology – Organisation approach– Psychologist Institute for Energy Technology, Halden, Norway, 2006
- [6] Hollnagel, E. Cognitive Reliability and Error Analysis Method. Oxford: Elsevier Science Ltd. 1998, chapter 1
- [7] Hollnagel, E. Cognitive Reliability and Error Analysis Method. Oxford: Elsevier Science Ltd. 1998, chapter 9
- [8] Onshus, Tor and Hauge, Stein. Application of IEC 61508 and IEC 61511 in the Norwegian Petroleum Industry, Oljeindustriens Landsforening, 2004
- [9] Rasmussen, J. Information Processing and Human-Machine Interaction. An approach to Cognitive Engineering. North-Holland Series in System Science and Engineering vol. 12, New York: North-Holland, 1986
- [10] Rasmussen, J Skills, Rules, and Knowledge; Signals, Signs, and Symbols, and other Distinctions in Human Performance Models, IEEE Transaction On Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-13, No.3 May/June 1983
- [11] R. Rosness, A.B.M. Skjerve, B. Alteren, Ø. Berg, A. Bye, S. Hauge, L.Å. Seim, S. Sklet, C.K. Tveiten, K. Aase, Feiltoleranse, barrierer og sårbarhet, SINTEF rapport, Norges forskningsråd,2002
- [12] Sarter, N.B. and Woods, D.D, "How in the world did we ever get into that mode?" Mode Error and Awareness in Supervisory Control. Human Factors, 1995 37(1), 5-19.
- [13] Weick, K.E. & Sutcliffe, K.M. Managing the Unexpected. Assuring High Performance in an Age of Complexity. University of Michigan Business School Management School. Michigan: Jossey-Bass. 2001
- [14] William B. Johnson and William B. Rouse, Analysis and Classification of Human Errors in Troubleshooting Live Aircraft Power Plants, IEEE Transaction On Systems, Man, and Cybernetics, Vol. SMC-13, No.3 May/June 1982

9.4 Vedlegg

På vedlagt CD ligger alle sannsynlighetsberegninger gjennomført under estimeringen.